TRATADO

ELEMENTAL

DE FÍSICA

EXPERIMENTAL Y APLICADA

Y DE

METEOROLOGIA

CON UNA NUMEROSA COLECCION DE PROBLEMAS

ADORNADO

CON 572 PRECIOSOS GRABADOS EN MADERA INTERCALADOS EN EL TEXTO

POR A. GANOT

PROFESOR DE MATEMÁTICAS Y DE FÍSICA

Traducido al castellano

POR DON JOSE MONLAU.

2.ª edicion española

CORREGIDA, ANOTADA Y ADICIONADA SEGUN LA ULTIMA EDICION FRANCESA

POR D. J. M. PEREZ

Profesor de Física en varios establecimientos científicos, y antiguo sustituto de Física y Química en la Universidad central.

MADRID

CARLOS BAILLY-BAILLIERE

LIBRERO DE CÁMARA DE SS. MM. Y DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL

LIBRERIA ESTRANJERA Y NACIONAL

Calle del Príncipe, núm. 11.

Paris, J. B. BAILLIERE ET FILS. — *Londres y Nueva-York*, H BAILLIERE.

1859.

TRATADO

ELEMENTAL

DE FÍSICA.

LISTA DE LOS PRINCIPALES CORRESPONSALES

DE LA LIBRERÍA

DE D. CARLOS BAILLY-BAILLIERE

LIBRERO DE CAMARA DE SS. MM. Y DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL

Calle del Príncipe, núm. 11, Madrid.

España.

Adra, Perez Rivas.—*Albacete*, Ruiz.—*Alcoy*, Viuda de Martí é hijos.—*Aguilas*, Luis Aguiti, Patricio Gil.—*Alicante*, Basilio Planelles.—*Almeria*, Mariano Alvarez.—*Antequera*, Manuel Ortiz Tallante.—*Avila*, Francisco Garcés.—*Badajoz*, Gerónimo Orduña.—*Barbastro*, Puyol y España.—*Barcarrota*, Cuevas.—*Barcelona*, Salvador Manero.—*Bilbao*, Astuy.—*Búrgos*, Rodriguez Alonso.—*Carmona*, José Maria Moreno.—*Cáceres*, Concha.—*Cádiz*, Abelardo de Cárlos, *Revista médica*.—*Cartagena*, Juan.—*Ciudad-Real*, Malaguilla.—*Ciudad-Rodigo*, Salanova.—*Córdoba*, Francisco Lozano.—*Coruña*, Celestino Alvarez, Añino.—*Ecija*, Benitez.—*Ferrol*, Taxonera.—*Gerona*, Rich.—*Granada*, José Maria Zamora.—*Haro*, Sevilla.—*Huesca*, Viuda de Navarro.—*Igualada*, Abadal.—*Jaen*, Rodriguez de Galvez.—*Jerez de la Frontera*, Bueno, Fonfria.—*Leon*, Viuda de Miñon.—*Lérida*, Sol.—*Lugo*, Soto-Freyre, Pujol.—*Mahon*, Orfila.—*Málaga*, Moya.—*Mérida*, Gonzalez (D. Miguel).—*Moron*, Francisco Gil y Montes.—*Murcia*, Nogués, Galan, Cabello.—*Olot*, Antigas.—*Orense*, Ferreiro.—*Oviedo*, Alvarez.—*Palma de Mallorca*, Garcia, Gelabert.—*Pamplona*, Regino Bescansa.—*Pontevedra*, Antunes y Pazos.—*Puerto de Santa Maria*, José Valderrama.—*Quintanar de la Orden*, Vicente Fernandez.—*Requena*, Toribio Mislata.—*Ronda*, Gutierrez.—*Salamanca*, Vazquez.—*Santander*, V.ª de Soriano y compañia.—*Santiago*, Calleja, Escribano.—*San Sebastian*, Ignacio R. Baroja.—*Segovia*, Juan de Alba.—*Sevilla*, Geofrin, Fé.—*Tarragona*, Garcia.—*Toledo*, José Hernandez.—*Tuy*, Martinez de la Cruz, Rodriguez.—*Utrera*, Ramos.—*Valencia*, Mariana, Carbonell, Carboneres, Garin.—*Valladolid*, los hijos de Rodriguez.—*Valls*, Francisco Pellicer.—*Villanueva*, Beltran y Juba.—*Vitoria*, Robles.—*Zamora*, Ventura M. Ferrada.—*Zaragoza*, Vicente Andrés, Viuda de Heredia, Casañet.—*Santa Cruz de Tenerife*, Bonnet hermanos.—*Palma del Rio*, José Lopez y Rodriguez.

América.—*Lima*, José Masías.—*Méjico*, Morales y Buxó.—*Nueva-York*, H. Baillière.—*Puerto-Rico*, Eduardo Acosta.—*Valparaiso*, Pascual Ezquerra, Tornero de S. Tornero y compañia.

Estranjero.—*Madrid*, Cárlos Bailly-Bailliere, calle del Príncipe, 11. *Lóndres y Nueva-York*, H. Baillière.—*Paris*, J. B. Baillière et fils.

CHAMBERI : 1859. — Imp. de BAILLY-BAILLIERE.

TRATADO

ELEMENTAL

DE FÍSICA.

LIBRO PRIMERO

DE LA MATERIA, DE LAS FUERZAS Y DEL MOVIMIENTO.

CAPITULO PRIMERO.

NOCIONES GENERALES.

1. **Objeto de la física.**—La *física* tiene por objeto el estudio de los fenómenos que presentan los cuerpos, mientras la composicion de estos no sufre cambio alguno.

La *química*, por el contrario, trata en particular de los fenómenos que modifican mas ó menos profundamente la naturaleza de los cuerpos.

2. **Materia.**—Dáse el nombre de *materia* ó *sustancia* á todo cuanto cae inmediatamente bajo la jurisdiccion de nuestros sentidos [1].

Se conocen hoy dia sesenta y dos sustancias elementales ó *simples*, es decir, sustancias de las cuales el análisis químico no consigue estraer mas que una sola especie de materia. Pero es posible que mas adelante aumente ó disminuya el número de estas sustancias; porque así como tal vez lleguen á descubrirse otras nuevas, nada estraño fuera que se consiguiese descomponer algunas de las que ahora pasan por simples.

3. **Cuerpos, átomos, moléculas.**—Toda cantidad de materia limitada es un *cuerpo*. Las propiedades de los cuerpos revelan que ellos no están formados de una materia contínua, sino de elementos, por decirlo así, infinitamente pequeños, que no se pueden dividir de un modo físico, y que se hallan yustapuestos simplemente sin tocarse, manteniéndose á distancia en virtud de recíprocas atracciones y repulsiones, que se designan con el nombre de *fuerzas moleculares*.

Estos elementos de los cuerpos se llaman *átomos*. Un grupo de átomos forma una *molécula*. Los cuerpos no son mas que unos agregados ó conjuntos de moléculas.

4. **Masa.**—Se llama *masa* de un cuerpo á la cantidad de materia que este contiene. No se puede determinar la *masa absoluta* de un cuerpo, sino simplemente su *masa relativa*, es decir, la relacion de su masa absoluta con la de otro cuerpo, tomada por unidad.

---

[1] Esencialmente del tacto. (*N. de J. P.*)

5. **Estados de los cuerpos.**—Se distinguen tres estados de los cuerpos.

1.° El *estado sólido*, que se observa á las temperaturas ordinarias en las maderas, las piedras y los metales [1]. Caracteriza á este estado una adherencia tal entre las moléculas, que no es posible separarlas sino mediante un esfuerzo mas ó menos considerable. En virtud de esta adherencia conservan los cuerpos sólidos su forma primera.

2.° El *estado líquido* que presentan el agua, el alcohol y los aceites. El carácter distintivo de los líquidos es una adherencia tan débil entre sus moléculas, que pueden resbalar ó deslizarse con suma facilidad las unas sobre las otras, de lo cual resulta que estos cuerpos no afectan ninguna forma particular, tomando siempre la de las vasijas que les contienen.

3.° El *estado gaseoso*, propio del aire y de otros muchos cuerpos denominados *gases ó fluidos aeriformes*. En los gases es aun mayor que en los líquidos la movilidad de las moléculas; pero su carácter distintivo reside sobre todo en una tendencia á adquirir de contínuo un volúmen mas considerable. Tal es la propiedad que los físicos llaman *espansibilidad*, y que mas adelante demostrarémos por medio de varios esperimentos.

Los líquidos y los gases se designan con el nombre genérico de *fluidos*.

La mayor parte de los cuerpos simples y muchísimos de los compuestos pueden presentarse sucesivamente en los tres estados, sólido, líquido y gaseoso, segun sean las variaciones de temperatura. Como ejemplo bien conocido puede servir el agua.

A medida que se avance en el estudio de la física, se reconocerá que los tres estados de los cuerpos dependen principalmente de la relacion entre las atracciones y las repulsiones moleculares.

6. **Fenómenos físicos.**—Todo cambio en el estado de un cuerpo, fin alteracion en su composicion, es un *fenómeno físico*. La caida de un cuerpo, la produccion de un sonido, la congelacion del agua, son senómenos.

7. **Leyes y teorías físicas.**—Llámase *ley física* la relacion constante que hay entre un fenómeno y su causa. Por ejemplo, se demuestra que un volúmen dado de gas, se hace dos, tres veces menor, cuando sufre una presion dos, tres veces mayor: hé ahí una ley física que se espresa diciendo, que los volúmenes de los gases están en razon inversa de las presiones.

Una *teoría física* es el conjunto de leyes referentes á una misma clase de fenómenos. En tal concepto se dice: la teoría de la luz, la teoría de la electricidad. Sin embargo, esta denominacion se aplica tambien en un sentido mas limitado á la esplicacion de ciertos fenómenos particulares; por ejemplo, cuando se dice: la teoría del rocío, la teoría del espejismo.

---

(1) Esceptuando el mercurio. (*N. de J. P.*)

8. Agentes físicos.—Como causas de los fenómenos que presentan los cuerpos, se admite la existencia de *agentes físicos* ó de *fuerzas naturales* que rigen la materia.

Estos agentes son la *atraccion universal*, el *calórico*, la *luz*, el *magnetismo* y la *electricidad*.

Los agentes físicos no se nos manifiestan mas que por sus efectos, pues desconocemos por completo su naturaleza. En el estado actual de la ciencia no se puede decir si son propiedades inherentes á la materia, ó bien materias sutiles, impalpables, difundidas por todo el universo, y que dén por resultado los movimientos particulares comunicados á su masa. Esta última hipótesis es la que generalmente se admite; pero en tal caso, ¿son distintas unas de otras esas materias, ó hay que referirlas á un solo orígen ó manantial? Esta última opinion es la que, por lo visto, tiende á prevalecer á medida que van ensanchando sus límites las ciencias físicas.

En la hipótesis de que los agentes físicos son materias sutiles, se les dá el nombre de *fluidos imponderables* (1), porque su peso no es apreciable ni siquiera con las balanzas mas sensibles. De ahí proviene la distincion de *materia ponderable*, ó materia propiamente dicha, y *materia imponderable ó agentes físicos*.

CAPITULO II.

PROPIEDADES GENERALES DE LOS CUERPOS.

9. Diversas especies de propiedades.—Entiéndese por *propiedades* de los cuerpos ó de la materia sus diversos modos de presentarse á nuestros sentidos. Se dividen en *generales y particulares*. Las primeras son las que convienen á todos los cuerpos, sea cual fuese el estado bajo el cual los consideremos. Las que interesa conocer desde ahora son: la *impenetrabilidad*, la *estension*, la *divisibilidad*, la *porosidad*, la *compresibilidad*, la *elasticidad*, la *movilidad* y la *inercia*.

Las propiedades particulares son las que solo se observan en ciertos cuerpos ó en determinados estados de los mismos; v. gr., la *solidez*, la *fluidez*, la *tenacidad*, la *ductilidad*, la *maleabilidad*, la *dureza*, la *trasparencia*, la *coloracion*, etc.

Por ahora no tratarémos mas que de las propiedades generales arriba enunciadas; si bien debemos observar que la *impenetrabilidad* y la *estension*, no tanto son propiedades generales de la materia, como atributos esenciales que bastarian para definirla. Notemos tambien que la divisibilidad, la porosidad, la compresibilidad y la elasticidad no se aplican á los átomos, sino á los cuerpos considerados como masas ó conjuntos de moléculas.

10. Impenetrabilidad.—La *impenetrabilidad* es la propiedad en vir-

---

(1) O mas bien, *imponderados*. (*N. de J. P.*)

tud de la cual dos elementos materiales no pueden ocupar simultáneamente un mismo lugar en el espacio.

Esta propiedad solo se observa realmente en los átomos. Los cuerpos se penetran, al parecer, en muchísimos fenómenos. Por ejemplo, en varias aleaciones el volúmen es menor que la suma de los volúmenes de los metales aleados. Cuando se mezcla agua con ácido sulfúrico ó con alcohol, se nota una contraccion en el volúmen total. Todas estas penetraciones no son mas que aparentes, pues dependen tan solo de que, no tocándose las partes materiales de que están formados los cuerpos, hay entre ellas intervalos que pueden ser ocupados por otras materias, conforme se verá en el artículo *Porosidad*.

11. Estension.—La *estension* es la propiedad que tiene todo cuerpo de ocupar una porcion limitada del espacio.

Muchísimos son los instrumentos que se han construido para medir la estension; pero nos limitarémos á dar á conocer aquí el vernier y el tornillo micrométrico.

12. Vernier.—El *vernier* (¹) toma su nombre del apellido de su inventor, que fué un matemático francés que murió en 1637. Este instrumento forma parte de muchos aparatos de física, tales como los barómetros y los catetómetros. Consta de dos reglas, de las cuales la mayor, AB (fig. 1), está fija y dividida en partes iguales, y la menor *ab*, móvil, es propiamente el vernier. Para graduarla, se la dá una

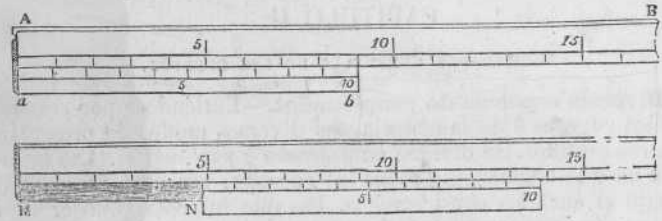


Fig. 1.

longitud igual á nueve de las divisiones de la regla mayor, dividiéndola luego en diez partes iguales. Resulta de aquí que cada division de la regla *ab* es un décimo mas pequeña que cada una de la regla AB.

Esto sentado, supóngase que hay que medir la longitud de un objeto MN. Se le coloca, conforme se vé en la figura, á lo largo de la regla mayor, encontrándose así que dicho objeto tiene, por ejemplo, una longitud igual á 4 unidades mas una fraccion. Para evaluar esta fraccion sirve el vernier. Al efecto, se le hace resbalar sobre la regla fija hasta que llega á situarse en la estremidad del objeto MN, y en seguida se busca el punto en el cual tiene lugar la coincidencia entre las divisiones de las dos reglas. En nuestro dibujo se verifica en la octava division del vernier, á contar del punto N. Esto indica que la

(¹) Llamado en español *nonius* por haberlo inventado el matemático Nuñez, que murió en 1577. (*N. de J. P.*)

fraccion que quedaba por medir es igual á 8 décimas. En efecto, por ser las divisiones del vernier un décimo mas pequeñas que las de la regla, es claro que, á partir del punto de coincidencia, corriendo de derecha á izquierda, van sucesivamente retrasándose con respecto á las de la regla, uno, dos, tres.... décimos. Desde la estremidad N del vernier á la cuarta division de la regla se cuentan 8 décimos; es decir, que MN es igual á 4 divisiones de AB mas 8 décimos. Por consiguiente, si las divisiones de la regla mayor son milímetros, se tendrá la longitud de MN con una aproximacion de menos de un décimo de milímetro. Si quisiésemos llevar esta aproximacion á menos de un vigésimo ó de un trigésimo de milímetro, deberíamos dividir AB en milímetros, hacer de 19 ó 29 el vernier, y en seguida dividir este en 20 ó 30 partes iguales. Mas, para distinguir entonces la coincidencia, deberíamos servirnos de un lente. En la medida de los arcos se hace uso tambien del vernier para evaluar en minutos y en segundos las fracciones de grado.

13. Tornillo micrométrico, máquina de dividir.—Por *tornillo micrométrico* se entiende todo tornillo que sirve para medir con precision la longitud ó el grosor de los cuerpos. Cuando un tornillo está

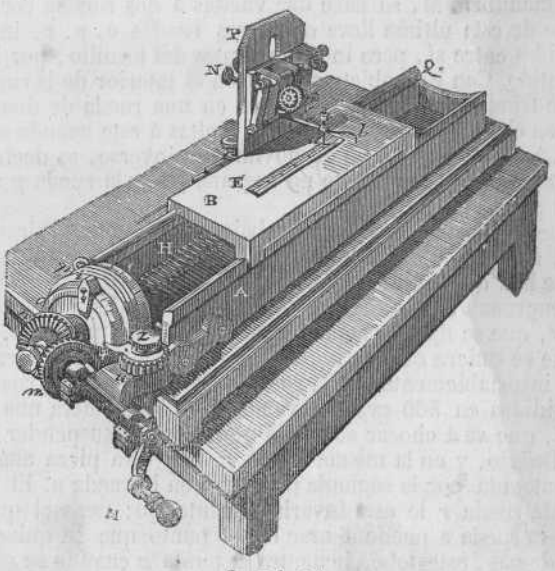


fig. 2 (l=65).

bien construido, su *paso*, es decir, el intervalo de dos filetes consecutivos, debe ser el mismo en todos sus puntos; de donde resulta que, si el tornillo gira en una tuerca fija, avanza en cada vuelta una longitud igual á la del paso; y para cada fraccion de vuelta $^1/_{10}$ por ejemplo, no avanza mas que $^1/_{10}$ del paso. De consiguiente, si el paso mide

un milímetro, y si en la estremidad del tornillo hay un círculo graduado y dividido en 360º que gira con él, haciendo que recorra este círculo no mas que una division, avanzará el tornillo $^1/_{360}$ de milímetro. En vez de una tuerca fija y de un tornillo movible, se puede adoptar el principio inverso, es decir, que el tornillo esté fijo, sea la tuerca móvil y avance una cantidad tan pequeña como se quiera. En este principio se funda la máquina para dividir, representada en la fig. 2, y construida en los talleres de M. Duboscq. Se compone de un banco de fundicion AQ, sobre el cual está montado un largo tornillo H, cuyo filete debe ser perfectamente regular. Este tornillo gira por sus dos estremidades en dos centros de acero fijos en el banco A, pero no visibles en el grabado. El tornillo en cuestion es fijo, es decir, que gira simplemente sobre sí mismo; mas no avanza en el sentido de su longitud. Al girar hace que avance una tuerca fija debajo de un carreton B, y este, arrastrado por la tuerca, resbala con rozamiento suave desde Q hasta H, sobre el banco A. La pieza P, que lleva un buril *a* regulador de su curso, se halla fija en el banco de fundicion, sin mudar jamás de sitio.

El movimiento del tornillo H se produce del modo siguiente: merced á un manubrio M, se hace dar vueltas á dos ruedas coronadas *m* y *n*; el eje de esta última lleva otras tres ruedas *o*, *p*, *r*, invariablemente unidas entre sí, pero independientes del tornillo, por lo menos en un sentido. Con este objeto se pone en el interior de la rueda *p* una especie de trinquetaje (1), que engrana en una rueda de dientes agudos, fija en el tornillo, haciéndole dar vueltas á este cuando se gira de izquierda á derecha; pero en el movimiento inverso, es decir, de derecha á izquierda, el trinquete no engrana ya, y la rueda *p* se mueve sin hacer girar el tornillo.

Hay que regular ahora el ángulo bajo el cual deben girar las ruedas *o*, *p*, *r*, y con ellas el tornillo H. Para esto; en el contorno de la rueda *p* se han construido tres filetes, que, obrando como un tornillo sin fin, engranan en los dientes de otra rueda *u*. Esta lleva una punta saliente *x*, que se fija por medio de un tornillo de presion *z*, á la distancia que se quiere de otra segunda punta oculta en el tornillo *z*, y enlazada invariablemente con la rueda *u*. Por fin, las dos ruedas *o* y *r* están divididas en 360 grados, viéndose en la primera una piececita saliente *i*, que va á chocar contra la punta *x* para suspender su movimiento. Debajo, y en la misma rueda *r*, hay otra pieza análoga que queda contenida por la segunda punta fija en la rueda *u*. El tope ó la pieza de la rueda *r* le está invariablemente fijo; pero el que llamamos *i* de la rueda *o* puede fijarse en el punto que se quiera de esta rueda. Además, este tope encuentra la punta *x* cuando se gira de izquierda á derecha, mientras que el de la rueda *r* dá con la suya cuando se vuelve de derecha á izquierda.

Ahora bien; si se trata de hacer girar el tornillo un décimo de vuel-

---

(1) Combinacion de rueda dentada, que los relojeros llaman *rochete* con el muelle llamado *trinquete*. (*N. de J. P.*)

conoce en todo el universo cuerpo alguno que se halle en este estado.

El *movimiento absoluto* seria su cambio de lugar con respecto á otro cuerpo que se encontrara en el estado de reposo absoluto.

El *reposo relativo*, ó aparente, es el estado de un cuerpo que parece fijo con relacion á los cuerpos que le rodean; pero que en realidad participa con ellos de un movimiento comun. Por ejemplo, un cuerpo que permanece en el mismo sitio en un buque que se mueve, está en reposo con respecto al buque; pero realmente en movimiento con relacion á la costa ó á la orilla: hé ahí un reposo simplemente relativo.

El *movimiento relativo* no es mas que su movimiento aparente, es decir, el que se mide con relacion á otros cuerpos que se suponen fijos, por mas que estos mismos estén mudando de lugar. Tal es el movimiento de un buque con respecto á las orillas de un rio, porque estas participan con él del doble movimiento de rotacion y de traslacion de la tierra en el espacio.

En la naturaleza no se observan mas que estados de reposo y de movimiento relativos.

21. **Inercia.** — La *inercia* es una propiedad puramente negativa: es la ineptitud de la materia para pasar por sí misma del estado de reposo al de movimiento, ó para modificar el movimiento de que está animada.

Si caen los cuerpos cuando se les abandona á sí mismos, es porque hay una fuerza atractiva que les dirige hácia el centro de la tierra, y no porque lo hagan en virtud de su propia espontaneidad; si disminuye gradualmente la velocidad de una bola en una mesa de billar, es á consecuencia de la resistencia del aire que desaloja y del roce sobre el tapete. No hay que deducir, pues, que esta bola tenga mas bien tendencia al reposo que al movimiento, segun decian ciertos filósofos de la antigüedad, comparando la materia con una persona perezosa. Donde quiera que falte la resistencia, no sufre alteracion alguna el movimiento, conforme nos dan buena prueba de ello los astros en su revolucion alrededor del sol.

22. **Aplicaciones.** — Muchos fenómenos se esplican por la inercia de la materia. Por ejemplo, cuando, para salvar un foso, tomamos una carrera, es con objeto de que, en el momento del salto, el movimiento que nos anima añada su efecto al esfuerzo muscular que hacemos para saltar.

Toda persona al bajar de un carruaje que continúa andando, participa del movimiento del mismo, y así es que, si no imprime á su cuerpo un movimiento en sentido contrario, en el instante en que toque al suelo, caerá en la direccion que sigue el carruaje.

La inercia es la causa de que sean tan terribles los accidentes en los caminos de hierro. En efecto, si de improviso se para la locomotora, todo el tren continúa su marcha, en virtud de la velocidad adquirida, y los coches se destrozan unos contra otros.

Por fin, los martillos, manos de mortero y martinetes no son mas que aplicaciones de la inercia. Lo propio sucede con esas enormes rue-

das de fundicion llamadas *volantes*, y que sirven para regularizar los movimientos de las máquinas de vapor.

CAPITULO III.

NOCIONES SOBRE LAS FUERZAS Y LOS MOVIMIENTOS.

23. **Fuerzas.** — Dáse el nombre de *fuerza* á toda causa capaz de producir el movimiento ó de modificarle.

La accion de los músculos en los animales, la gravedad, las atracciones y las repulsiones magnéticas ó eléctricas, la tension de los vapores, etc., son fuerzas.

En general, se denominan *potencias* las fuerzas que tienden á producir un cierto efecto, y *resistencias* las fuerzas que se oponen á este efecto. Las primeras, tendiendo á acelerar á cada instante el movimiento, se llaman *aceleratrices*, y las últimas son *retardatrices*.

Las fuerzas pueden no obrar sobre los cuerpos mas que durante un tiempo muy corto, como sucede en los choques, en la esplosion de la pólvora; ó bien durante toda la duracion del movimiento. Se espresa el primer efecto diciendo que las fuerzas son *instantáneas*, y el segundo diciendo que son *continuas;* pero conviene observar que con estas espresiones se dan á entender, no dos especies de fuerzas, sino simplemente dos modos de accion de las fuerzas.

24. **Equilibrio.** — Cuando muchas fuerzas se aplican á un mismo cuerpo, puede suceder que se neutralicen mútuamente sin modificar el estado de reposo ó de movimiento del cuerpo. Este estado particular de los cuerpos ha recibido el nombre de *equilibrio*. Preciso es no confundir el estado de equilibrio con el de reposo, pues en el primero se halla sometido un cuerpo á la accion de muchas fuerzas que se destruyen, y en el segundo no se halla solicitado por fuerza alguna.

25. **Caractéres, unidad y representacion de las fuerzas.** — Toda fuerza está caracterizada: 1.° por su *punto de aplicacion*, esto es, el punto en que la fuerza actúa inmediatamente; 2.° por su *direccion*, es decir, la línea recta que la fuerza tiende á hacer recorrer á su punto de aplicacion, y 3.° por su *intensidad*, á saber, su valor con relacion á otra fuerza tomada por unidad.

La fuerza que se elige para unidad es completamente arbitraria; pero, sea cual fuere el efecto de traccion ó de presion producido por una fuerza, un determinado peso puede siempre producir el mismo efecto, y por eso se comparan en general las fuerzas con los pesos, tomando por unidad de fuerza el quilógramo [1]. Una fuerza es igual á 20 quilógramos, por ejemplo, si puede ser reemplazada por la accion de un peso de 20 quilógramos.

---

[1] Por *unidad de fuerza* debe entenderse, en rigor, aquella fuerza que en la unidad de tiempo es capaz de elevar á la unidad de altura la unidad de peso. Aunque estas unidades pueden ser arbitrarias, rigen generalmente el *segundo*, el *metro* y el *quilógramo*. *(N. de J. P.)*

En vista de los caractéres que determinan una fuerza, se halla esta completamente conocida, cuando se dan su punto de aplicacion, su direccion y su intensidad. Para representar estos diversos elementos de una fuerza, se tira por su punto de aplicacion y en el sentido de su direccion, una línea recta indefinida; y luego, sobre esta línea, á partir del punto de aplicacion, y en el sentido de la fuerza, se señala una unidad de longitud arbitraria, el centímetro, por ejemplo, tantas cuantas veces la fuerza dada contiene á su vez la unidad de fuerza. De esta suerte se tiene una línea recta que determina por completo la fuerza. En fin, para distinguir las fuerzas entre sí, se las designa con las letras P, Q, R..., escritas en sus respectivas direcciones.

Para la inteligencia de muchos fenómenos físicos, es indispensable recordar ahora los siguientes principios, que se demuestran en los cursos de mecánica.

26. **Resultantes y componentes.** — Siempre que muchas fuerzas S, P, Q, aplicadas á un mismo punto material A (fig. 4), se equilibran, una de ellas cualquiera, S, por ejemplo, resiste por sí sola la accion de todas las demás [1]. La fuerza S, si estuviese dirigida en sentido contrario, segun la prolongacion AR de SA, producirá, pues, por sí sola el mismo efecto que el sistema de las fuerzas P y Q.

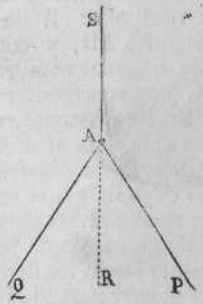


fig. 4.

Toda fuerza que puede producir así el mismo efecto que muchas fuerzas combinadas, se llama su *resultante*, y las demás fuerzas, con relacion á la resultante, son sus *componentes*.

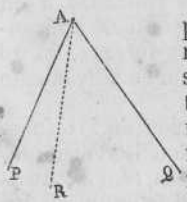


fig. 5.

Cuando un cuerpo, solicitado por muchas fuerzas, entra en movimiento, se demuestra que sigue siempre la resultante de todas aquellas. Por ejemmplo, si un punto material A (fig. 5) está solicitado á un tiempo por dos fuerzas P y Q, como no puede moverse simultáneamente siguiendo las rectas AP y AQ, toma una direccion intermedia AR, que es precisamente la de la resultante de las dos fuerzas P y Q.

Todos los problemas sobre la *composicion* y la *descomposicion* de las fuerzas se apoyan en los siguientes teoremas, para cuya demostracion remitimos á los tratados especiales de estática.

27. **Composicion y descomposicion de las fuerzas concurrentes.** — Denomínanse fuerzas *concurrentes* aquellas cuyas direcciones se encuentran en un mismo punto, al cual podemos suponerlas aplicadas todas. Por ejemplo, cuando muchos hombres para dar vueltas á una

---

[1] Esta proposicion suele enunciarse, en general, diciendo: que, *cuando muchas fuerzas producen equilibrio en un cuerpo, cada una es igual y directamente opuesta á la resultante de todas las demás.* (*N. de J. P.*)

campana tiran de las cuerdas fijas á un mismo nudo de la cuerda de esta campana, las fuerzas de esos hombres son concurrentes.

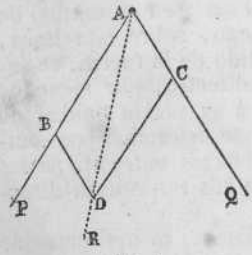


Fig. 6.

Sean, en primer lugar, dos fuerzas concurrentes P y Q (fig. 6), y A su punto de aplicacion. Si se toman en sus direcciones dos longitudes AB y AC proporcionales á sus intensidades (25), y si, desde los puntos B y C, se tiran rectas respectivamente paralelas á las direcciones de las fuerzas, se obtiene un paralelógramo ABCD llamado *paralelógramo de las fuerzas*, y que da á conocer fácilmente la resultante de las fuerzas P y Q, por medio del teorema siguiente, conocido á su vez con el nombre de teorema del *paralelógramo de las fuerzas*.

28. **Paralelógramo de las fuerzas.**—*La resultante de dos fuerzas concurrentes está representada, en magnitud y en direccion, por la diagonal del paralelógramo construido sobre estas fuerzas.* Es decir, que en la fig. 6, la resultante R de las fuerzas P y Q sigue la misma línea que la diagonal AD, y contiene la unidad de fuerza tantas veces cuantas esta diagonal comprende á su vez la unidad lineal marcada en AB y AC para representar las fuerzas P y Q.

Recíprocamente, una fuerza única se puede descomponer en otras dos aplicadas al mismo punto que la primera y dirigidas segun rectas dadas. Basta construir, para esto, sobre dichas rectas un paralelógramo cuya diagonal sea la fuerza dada, pues la longitud de los lados representará las componentes que se buscan.

Dado caso que hubiera cierto número de fuerzas aplicadas á un mismo punto en diversas direcciones, la resultante se obtiene aplicando sucesivamente el teorema anterior, primero á dos fuerzas, luego á la resultante obtenida y á la tercera fuerza, y así sucesivamente hasta la última.

Los efectos de la composicion ó de la descomposicion de las fuerzas se presentan constantemente á nuestra observacion. Por ejemplo, cuando un barquichuelo, movido por la accion de los remos, atraviesa un rio, no avanza en la direccion hácia la cual le impulsan los remos, ni sigue tampoco la de la corriente, sino que recorre con exactitud la línea que corresponde á la resultante de las dos impulsiones á que está sometido.

29.—P. Para completar estas nociones sobre la composicion de fuerzas, darémos una demostracion sencilla de la resultante de dos fuerzas concurrentes y de dos paralelas, pues el uso contínuo que de ambas se hace, exige que el principiante esté bien convencido de la verdad de los enunciados anteriores.—Mas como hemos de tener necesidad de trasladar una fuerza á otro punto que aquel en que esté aplicada, sin que por esto altere la condicion de equilibrio ó movimiento en que estuviera el cuerpo, principiarémos por dar á conocer que, *el punto de aplicacion de una fuerza puede ser trasladado á cualquiera*

otro que esté invariablemente unido con el primero en la prolongacion rectilínea de la misma, sin que por esto se alteren las condiciones de equilibrio ó movimiento en que estuviese el cuerpo. En efecto, si consideramos la fuerza Q′ (fig. 7) aplicada en el punto *b*, y queremos trasladarla al punto *a*, supondríamos introducidas en este punto dos fuerzas *P* y *Q* iguales y contrarias, pero de magnitud igual á la de la fuerza *Q′*: estas nuevas fuerzas no alterarán el movimiento que produce la fuerza Q′, pues ellas mismas se destruyen. Pero si consideramos ahora que tambien las dos fuerzas *P* y *Q′* son iguales y contrarias, y por consiguiente que pueden considerarse como destruidas, el movimiento que el cuerpo tiene podrá atribuirse á la fuerza *Q*, como si en su lugar se hubiese puesto la fuerza *Q′*.

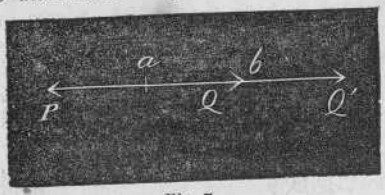


Fig. 7.

29′—P. Consideremos ahora las dos fuerzas concurrentes *P* y *Q* (fig. 6) y vamos á demostrar: 1.° que la direccion de la resultante nos está dada por la de la diagonal *AD* del paralelógramo *ABCD*, construido sobre las direcciones é intensidades de las dos fuerzas; 2.° que la longitud de esta diagonal nos representa asimismo la intensidad de dicha resultante.

Para resolver la primera parte de esta proposicion, supondremos descompuesto el paralelógramo ABCD (fig. 8.) en otros dos AB *o′ o*

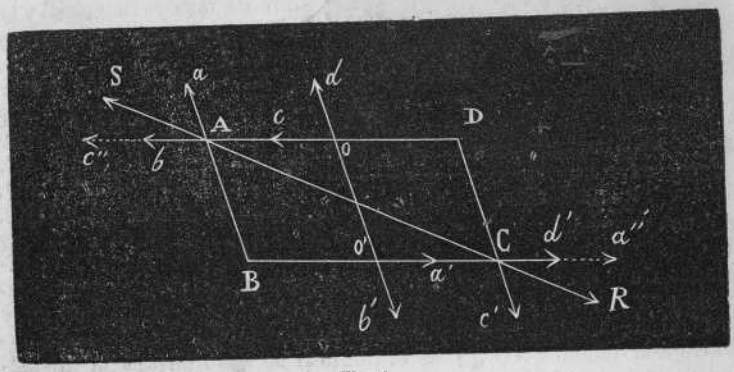


Fig. 8

y *o′* CD *o* iguales entre sí. Si en los ángulos opuestos A y *o* del primer paralelógramo parcial suponemos aplicadas en la prolongacion de sus lados las cuatro fuerzas *a*, *b*, *a′*, *b′* iguales entre sí, este paralelógramo quedará en equilibrio por la simetría é igualdad de las fuerzas. Haciendo igual suposicion para el segundo paralelógramo, de modo que las fuerzas *c*, *d*, *c′*, *d′*, sobre ser iguales entre sí, lo sean

tambien á las primeras, encontrarémos tambien que este paralelógramo está en equilibrio; y por consiguiente, lo está el paralelógramo total. Ahora, como las fuerzas d y b' son iguales y contrarias, se destruyen, y quedan solo las fuerzas a, b, c, a', c', d', que, segun lo dicho en el número anterior y representa la figura, pueden considerarse aplicadas en los puntos A y C, sin que por esto se altere el equilibrio; pero la fuerza binaria d' a'' con la c' producen una resultante tal como R aplicada necesariamente en el punto C; y del mismo modo la b c'' con la al producen la resultante S aplicada necesariamente al punto A. Pero si estas dos resultantes han de producir equilibrio como sus componentes, solo pueden verificarlo siendo iguales y obrando en la prolongacion de la recta AC que une sus puntos de aplicacion; y como la recta AC es la *diagonal del paralelógramo construido sobre las intensidades y direcciones de las fuerzas concurrentes*, queda demostrada la primera parte de la proposicion. La generalizacion de esta demostracion proviene de que igual resolucion permiten dos fuerzas cualesquiera que estén entre sí en la misma relacion que los números enteros.

Para demostrar que la longitud de la diagonal nos representa asimismo la intensidad de la resultante, supondremos que en la fig. 9 hemos introducido una fuerza AS de longitud indeterminada, pero en direccion contraria á la diagonal AR que nos representa la direccion de la resultante de las dos fuerzas P y Q. Supongamos conocida la magnitud de la fuerza AS, y que sea tal, que produzca equilibrio con la resultante AR. En este caso tambien lo producirá cuando, en vez de AR, actúen sus componentes P y Q; pero segun lo demostrado (26), AQ′ nos representará la resultante de AS y AP, que ya sabemos que ha de ser diagonal del paralelógramo construido sobre las intensidades de estas fuerzas. Concluyamos, pues, el paralelógramo tirando una paralela PQ′ á la AS, desde el punto determinado P, y otra Q′S á la AP desde el punto Q′ en que la primera paralela encontró á la diagonal AQ′, y en el punto S se nos limitará la intensidad de la fuerza AS. Ahora bien, como las fuerzas P, Q y S hemos supuesto que producen equilibrio, la fuerza S será igual y contraria á la resultante de las fuerzas P y Q, lo cual vemos que nos lo dice la misma figura, pues las rectas AR y á AS son iguales á la recta PQ′ por lados opuestos de sus respectivos paralelógramos. Luego *la diagonal AR nos representa la direccion é intensidad de la resultante de las dos fuerzas P y Q*, que es lo que queriamos demostrar.

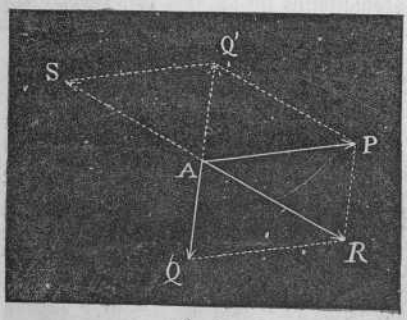


fig. 9.

29. Composicion y descomposicion de las fuerzas paralelas. —

1.° *Cuando dos fuerzas paralelas están aplicadas á un mismo punto* (1) *tienen una resultante igual á su suma, si siguen la misma direccion, y á su diferencia, si toman una direccion contraria.* Por ejemplo, si dos hombres tiran de un fardo en direcciones paralelas, con los esfuerzos respectivos é iguales á 20 y á 15, el esfuerzo resultante será 35, ó 5, segun tiren en un mismo sentido ó en un sentido opuesto. De igual manera, cuando muchos caballos de tiro están enganchados á un carruaje, este avanza cual si estuviese solicitado por una fuerza única equivalente á la suma de las fuerzas de cada caballo.

2.° *Siempre que dos fuerzas paralelas y que siguen una misma direccion se aplican á las estremidades de una recta* AB (fig. 10) *su resultante* R *es igual á su suma, les es paralela, y divide la recta* AB *en dos partes inversamente proporcionales á las fuerzas* P *y* Q. En otros términos, siendo C el punto de aplicacion de la resultante, si la fuerza P es dos, tres veces mayor que la fuerza Q, la distancia AC es dos, tres veces menor que CB. De donde resulta que cuando las fuerzas P y Q son iguales, la direccion de su resultante divide la línea AB en dos partes iguales.

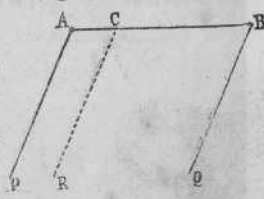


Fig. 10.

Recíprocamente, una fuerza única R aplicada en C, puede ser sustituida por el sistema de dos fuerzas P y Q, cuya suma representa, si le son paralelas, y si, estando en línea recta los puntos A, B, C, se hallan estas nuevas fuerzas en razon inversa de las longitudes AC y CB.

Para obtener la resultante de muchas fuerzas paralelas y dirigidas en el mismo sentido, se busca primero, conforme digimos mas arriba, la resultante de dos de estas fuerzas, luego la de la resultante encontrada y de una tercera fuerza, y así sucesivamente hasta la última, obteniendo asi por resultante final una fuerza igual á la suma de las fuerzas dadas y de idéntica direccion.

29.—P. Despues de la demostracion del paralelógramo de las fuerzas, podemos entrar en la resolucion de la *resultante de dos fuerzas paralelas que van en un mismo sentido;* y vamos á demostrar que dicha resultante *es paralela á las componentes, igual en intensidad á la suma de las mismas, y que su punto de aplicacion divide á la recta que une los de las componentes en partes inversamente proporcionales á las intensidades de estas.*

Supongamos para esto las dos fuerzas P y Q (fig. 11) paralelas y aplicadas á los puntos A y B. El movimiento que dichas fuerzas determinen no quedará alterado porque introduzcamos dos nuevas fuerzas F y F′, iguales y contrarias entre sí; mas por la composicion de las cuatro fuerzas obtenemos las dos únicas AS y BS′, que siendo concurrentes, y por lo dicho (29 P.), podemos aplicarlas en el punto *o*, de modo que si la *os* y *os′* las descomponemos en fuerzas iguales y paralelas á las primitivas, tendremos por un lado la *f* y *f′* que se

(1) Mas bien *á una misma recta.* (*N. de J. P.*)

destruirán, y por otro la *op*, mas *pq* que nos dan por su suma la intensidad de la resultante R igual á P+Q. Esta resultante, en virtud del párrafo citado, se la puede aplicar en el punto C, y por la semejanza de los triángulos SAP y *AoC* resulta : SP : AP :: AC : oC ; ó bien, F : P :: AC : *o*C (*a*). Por la misma razon, los triángulos B*o*C y S'BQ nos dan : QS' : BQ :: CB : *o*C; ó bien F' : Q :: CB : *o*C. Pero como esta proporcion y la (a) tienen iguales los estremos, resulta que P×AC =Q×CB; y por consiguiente : P : Q :: CB : AC, que es lo que nos proponíamos demostrar.

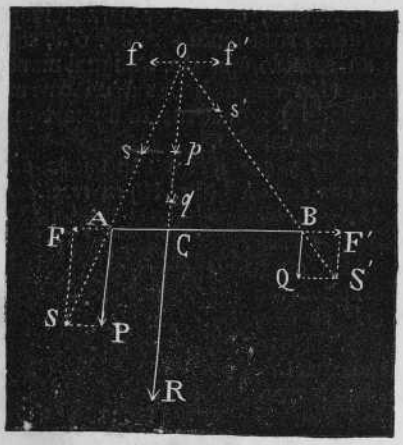


Fig. 11.

Ahora podemos pasar al caso en que las dos fuerzas paralelas van en sentidos contrarios.

29.—P'. Sean las dos fuerzas P y Q que obran en sentidos contrarios y están aplicadas en los puntos A y B. Si suponemos una nueva fuerza S igual á Q—P, paralela á las primitivas, y en sentido de la menor, de modo que la distancia BC de su punto de aplicacion sea á la AB como P : S, estas dos fuerzas, segun el caso anterior nos darian la resultante F, que será igual y contraria á la fuerza Q : de modo que si solo obrasen las fuerzas P, Q y S, tendríamos un caso de equilibrio entre estas tres fuerzas, y segun (26 *nota*) la fuerza S será igual y contraria á la resultante R de P y Q. De donde sacamos por consecuencia que *la resultante de dos fuerzas paralelas que van en sentidos contrarios es igual á la diferencia de las componentes, y actúa en sentido de la mayor*. En cuanto al punto de aplicacion, lo podemos deducir del caso anterior que nos dió : S : P :: AB : BC; ó bien : R : P :: AB : BC; y por consiguiente $BC=\frac{P\times AB}{R}=\frac{P\times AB}{Q-P}$.

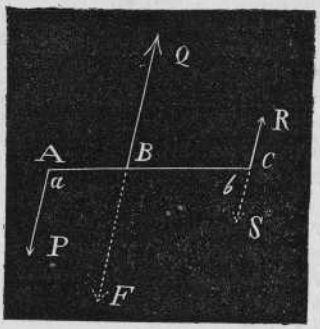


Fig. 12.

Haciendo en la última ecuacion P=Q, resulta BC=∞ : lo cual nos dice que no existe resultante única. El cuerpo en este caso toma un movimiento de rotacion alrededor del punto medio de la recta

AB, en tanto que los ángulos *a* y BCR queden invariables durante toda la accion de las fuerzas. A este caso particular se le conoce con el nombre de *par de fuerzas.*

NOCIONES SOBRE LOS MOVIMIENTOS.

30. Diferentes géneros de movimientos.—Se ha visto ya (20) que el *movimiento* es el estado de un cuerpo que pasa de un lugar á otro. El movimiento es *rectilíneo* ó *curvilíneo*, segun el camino recorrido por el móvil es una línea recta ó bien una curva, y cada uno de estos movimientos puede ser á su vez *uniforme* ó *variado.*

31. Movimiento uniforme.—El *movimiento uniforme*, que es el mas sencillo de todos, es aquel en el cual recorre un móvil espacios iguales en tiempos iguales.

Toda fuerza instantánea produce un movimiente rectilíneo y uniforme, cuando no está sometido el móvil á ninguna otra fuerza, ni encuentra tampoco resistencia. En efecto, como la fuerza no actúa mas que durante un tiempo muy corto, el móvil, una vez abandonado á sí mismo, conserva, en virtud de su inercia, la direccion y la velocidad que le comunicó la fuerza. No obstante, las fuerzas contínuas pueden dar orígen tambien á movimientos uniformes. Tal es lo que sucede cuando se presentan resistencias que, renovándose sin cesar, destruyen el aumento de velocidad que estas fuerzas tienden á imprimir al móvil. Por ejemplo, un tren que, en un ferro-carril, está solicitado por una fuerza contínua, á pesar de esto corre con movimiento uniforme; porque, creciendo con la velocidad las pérdidas de fuerza ocasionadas por la resistencia del aire y por el roce, llega un momento en que se establece el equilibrio entre la fuerza motriz y las resistencias.

32. Velocidad y ley del movimiento uniforme.—En el movimiento uniforme se entiende por *velocidad* el camino recorrido en la unidad de tiempo. Esta unidad, completamente arbitraria, es, por punto general, el segundo. Dedúcese de la definicion del movimiento uniforme, que la velocidad es constante. En tiempos dos, tres, cuatro veces mayores, los caminos recorridos son, pues, dobles, triples, cuádruples. Esta ley se espresa diciendo, que *los espacios recorridos son proporcionales á los tiempos, esto es, crecen como los tiempos.*

Esta ley puede representarse por medio de una fórmula muy sencilla. Para esto, sean v la velocidad, t el tiempo y e el espacio recorrido. Supuesto que v representa el espacio recorrido en la unidad de tiempo, es claro que el que se recorra en 2, 3.... unidades de tiempo, será $2v$, $3v$....; y por último, en el tiempo t, será t veces v: se tiene, de consiguiente, $e = vt$.

De esta fórmula se deduce $v = \frac{e}{t}$; y por lo tanto, puede decirse que en el movimiento uniforme, *la velocidad es la relacion entre el camino recorrido y el tiempo empleado en recorrerle.*

33. Movimiento variado.—*Movimiento variado* es aquel en el cual un móvil recorre en tiempos iguales espacios desiguales. Este movimiento puede variar al infinito; pero solo conviene tratar aquí del uniformemente variado.

Dáse el nombre de *movimiento uniformemente variado* á aquel cuyos espacios recorridos, en tiempos iguales, aumentan ó disminuyen constantemente en una misma cantidad (52, 2.ª *ley, consecuencia*). En el primer caso, el movimiento es *uniformemente acelerado*, tal, por ejemplo, como el de un cuerpo que cae, prescindiendo de la resistencia del aire. En el segundo, es *uniformemente retardado*, como el de una piedra arrojada en sentido vertical de abajo arriba.

El movimiento uniformemente variado reconoce siempre por causa una fuerza contínua constante, que se comporta como potencia ó como resistencia, segun sea aquel acelerado ó retardado.

34. **Velocidad y ley del movimiento uniformemente acelerado.**—En el movimiento uniformemente acelerado, no siendo iguales los espacios recorridos en tiempos iguales, ya no es la velocidad el camino recorrido en la unidad de tiempo, como en el movimiento uniforme. En el caso presente se llama velocidad, en un instante dado, el espacio que, á partir desde este instante, recorreria uniformemente en cada segundo, si cesara de improviso la fuerza aceleratriz; es decir, si se volviese uniforme el movimiento. Por ejemplo, si se dice de un móvil que tiene una velocidad de 60 metros á los 10 segundos de un movimiento uniformemente acelerado, se dá á entender que, si en aquel instante cesara la fuerza que hasta entonces habia obrado, el móvil, en virtud de su inercia, continuaria moviéndose, recorriendo uniformemente 60 metros por segundo.

Admitido esto, todo movimiento uniformemente acelerado, sea cual fuere su aumento de velocidad, se halla sometido á las dos leyes siguientes:

1.ª *Las velocidades crecen proporcionalmente á los tiempos.* Es decir, que despues de un tiempo doble, triple, cuádruple, la velocidad adquirida es dos, tres, cuatro veces mayor.

En efecto, puede compararse la fuerza contínua, que es la causa del movimiento acelerado, á una série de impulsiones iguales que se suceden á intervalos de tiempos iguales é infinitamente pequeños. Como cada una de estas impulsiones produce en cada intervalo una velocidad constante, que se agrega á la que ya poseia el móvil en el intervalo anterior, resulta que la velocidad va creciendo constantemente cantidades iguales en tiempos iguales.

2.ª *Los espacios recorridos son proporcionales á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.* Es decir, que si se representa por 1 el camino recorrido en 1 segundo, los caminos recorridos en 2, 3, 4, 5... segundos estarán representados por 4, 9, 16, 25..., que son los cuadrados de los primeros números.

Estas dos leyes se demuestran por medio del cálculo; y cuando se trate de la gravedad, se verá cómo los esperimentos las comprueban.

35. **Cantidad de movimiento, medida de las fuerzas.**—*Cantidad de movimiento* de un cuerpo es el producto de su masa por la velocidad que le anima. Cuando una fuerza comunica á una masa cierta velocidad, puede tomarse por medida de esta fuerza la cantidad de movimiento que trasmitió al cuerpo.

En efecto, admítese como evidente en mecánica, que, á igualdad de masa, las fuerzas

son proporcionales á las velocidades que imprimen, y que, á igual velocidad, son proporcionales á las masas: es decir, que una fuerza doble de otra comunica á una misma masa una velocidad doble, ó bien una velocidad igual á una masa doble.

Admitidos estos dos principios, sean F y f dos fuerzas que obran sobre las masas M y m, comunicándoles respectivamente las velocidades V y v. Si se supone una tercera fuerza P, tal que imprima á la masa M la velocidad v, en virtud de lo que precede, las razones $\frac{F}{P}$ y $\frac{V}{v}$ son iguales, lo mismo que las $\frac{P}{f}$ y $\frac{M}{m}$.

Se tienen, pues, las igualdades $\frac{F}{P} = \frac{V}{v}$ y $\frac{P}{f} = \frac{M}{m}$. Multiplicándolas ahora entre sí miembro á miembro, resulta $\frac{F}{f} = \frac{VM}{vm}$.

Es decir, que dos fuerzas cualesquiera son entre sí como las cantidades de movimiento que comunican á dos masas distintas. Por consiguiente, si sirve de unidad de fuerza la que imprimiria á la unidad de masa la unidad de velocidad, es claro que las fuerzas pueden medirse por su cantidad de movimiento. Este género de medida se aplica igualmente á las fuerzas instantáneas y á las contínuas. No hay mas sino que, para estas últimas, la velocidad adoptada es la que comunica la fuerza en un segundo.

De ser proporcionales las fuerzas á sus cantidades de movimiento, se deduce, que el producto MV es constante para una misma fuerza; es decir que, siendo la masa dos, tres veces mayor, la velocidad es dos, tres veces menor. Este resultado se deduce de la última igualdad que antes hemos indicado, pues haciendo en ella $F = f$, se obtiene $MV = mv$, ó $\frac{M}{m} = \frac{v}{V}$, esto es, que las velocidades comunicadas por una misma fuerza á dos masas desiguales, están en razon inversa de estas masas.

Los efectos del choque dependen de la cantidad de movimiento del cuerpo chocante, y como esta cantidad es directamente proporcional á la masa y á la velocidad, resulta que con una pequeña masa, un cuerpo puede poseer, no obstante, una considerable cantidad de movimiento, si está dotado de gran velocidad: tal es el efecto de la bala de fusil. De igual manera, con una débil velocidad posee tambien un cuerpo enorme cantidad de movimiento, si su masa es suficientemente grande: véase si no el efecto de las manos de mortero, martillos, martinetes y de las mazas que sirven para clavar estacas debajo del agua. Por último, si el cuerpo posee á la vez una gran velocidad y una gran masa, su cantidad de movimiento alcanzará una espantosa potencia; de aquí los estragos que causan las balas de cañon y los terribles accidentes de los caminos de hierro.

En las cargas de caballería, el máximum de efecto corresponde al escuadron que posee mayor cantidad de movimiento. En tal caso, el peso de los caballos, de los arneses, de los hombres y de las armas, tiene su efecto útil, con tal, sin embargo, de que haya mayor ó menor velocidad; porque si esta última fuese nula, lo propio le sucederia á la cantidad de movimiento. Tambien acerca de este punto ha demostrado siempre la esperiencia, que la caballería compuesta de los caballos y de los hombres mas macizos y mas robustos, no puede sostener á pie firme el choque de la caballería ligera.

LIBRO SEGUNDO.

GRAVEDAD Y ATRACCION MOLECULAR.

CAPITULO PRIMERO.

EFECTOS GENERALES DE LA GRAVEDAD.

36. **Atraccion universal; sus leyes.**—La *atraccion universal* es una fuerza en cuya virtud todas las partes materiales de los cuerpos tienden sin cesar las unas hácia las otras.

Considérase esta fuerza como una propiedad general inherente á la materia, pues obra sobre todos los cuerpos, ora estén en reposo, ora en movimiento. Es siempre recíproca entre ellos, y se ejerce á todas las distancias y al través de todas las materias.

La atraccion universal toma el nombre de *gravitacion* cuando se ejerce entre los astros; el de *gravedad* cuando se considera la atraccion de la tierra sobre los cuerpos para hacerlos caer, y el de *atraccion molecular*, si se trata de la fuerza que une entre sí las moléculas de los cuerpos.

Los filósofos de la antigüedad, como Demócrito y Epicuro, habian adoptado la hipótesis de una tendencia de la materia hácia centros comunes sobre la tierra y sobre los astros. Képlero admitió una atraccion recíproca entre el sol, la tierra y los demás planetas. Bacon, Galileo y Hook reconocieron igualmente una atraccion universal, pero Newton fué el primero que dedujo de las leyes de Képler (1) sobre el movimiento de los planetas, que la gravitacion es una ley general de la naturaleza, y que *su intensidad es directamente proporcional á las masas, y está en razon inversa del cuadrado de las distancias.*

Despues de Newton, la atraccion de la materia por la materia ha sido demostrada esperimentalmente por Cavendish, célebre químico y físico inglés, muerto á principios de este siglo. Aquel sabio, por medio

---

(1) Las leyes de Kepler son tres:

1.ª *Las órbitas de los planetas son curvas planas, y las áreas descritas alrededor del centro del sol por los radios vectores, son proporcionales á los tiempos.*

2.ª *Los planetas describen elipses, de las cuales el centro del sol es uno de sus focos.*

3.ª *Los cuadrados de los tiempos de revolucion de dos planetas son entre sí como los cubos de sus distancias medias al centro del sol.*

Traduciendo esta última ley al lenguage algébrico, tenemos: $T^2 : T'^2 :: R^3 : R'^3$, ó bien $T'^2 : T^2 :: R'^3 : R^3$. Si multiplicamos ordenadamente esta proporcion por la correspondiente á las fuerzas centrífugas $= F : F' :: \frac{MR}{T^2} \cdot \frac{M'R'}{T'^2}$, y simplificamos, nos resultará: $F : F' :: \frac{M}{R^2} \cdot \frac{M'}{R'^2}$, la cual nos representa la ley de la gravitacion universal deducida por Newton.

(*N. de J. P.*)

de un aparato llamado *balanza de Cavendish*, y que no es mas que una balanza de torsion, consiguió hacer sensible la atraccion que una gruesa esfera de plomo ejerce sobre una esferita de cobre.

37. **Gravedad.**—La *gravedad* es la fuerza en virtud de la cual los cuerpos abandonados á sí mismos *caen*, esto es, se dirigen hácia el centro de la tierra. Esta fuerza, que no es mas que un caso particular de la atraccion universal, depende de la recíproca atraccion que se ejerce entre la masa de la tierra y la de los cuerpos.

La gravedad, lo mismo que la gravitacion universal, obra en razon inversa del cuadrado de la distancia y directa de la masa. Ella se ejerce sobre todos los cuerpos, sean cuales fueren las condiciones en que estos se encuentren; y si algunos, como las nubes y el humo, se sustraen al parecer de ella, elevándose por la atmósfera, ya verémos muy pronto que la causa reside en la propia gravedad.

38. **Direccion de la gravedad, vertical y horizontal.**—Cuando las moléculas de una esfera material obran por atraccion, en razon inversa del cuadrado de la distancia, sobre una molécula situada fuera de esta esfera, se demuestra, en mecánica racional, que la resultante de todas estas atracciones es la misma que si todas las moléculas de la esfera estuviesen reunidas en su centro. De este principio resulta que en cada punto de la superficie del globo la atraccion de la tierra es dirigida hácia su centro. Con todo, el aplanamiento de la tierra en los polos, la no homogeneidad de sus partes y las desigualdades de su superficie son otras tantas causas que pueden desviar la direccion de la gravedad, si bien en una cantidad poco sensible.

Llámase *vertical* la direccion de la gravedad, es decir, la línea recta que siguen los cuerpos al caer. Como en todos los puntos del globo convergen sensiblemente las verticales hácia el centro, su direccion cambia para cada lugar; mas para puntos poco distantes entre sí, tales como las moléculas de un mismo cuerpo ó de cuerpos próximos, se consideran como rigurosamente paralelas las verticales; porque, siendo de 6.367,400 metros el radio medio de la tierra, es decir, el que corresponde á la latitud de 45 grados, son insensibles entre sí los ángulos de estas verticales. Con todo, para dos puntos distantes el uno del otro, no es despreciable el ángulo, pues llega á 2º 12′ entre las verticales de Paris y de Dunkerque, y á 7º 28′ entre las de Paris y de Barcelona. En cuanto á la determinacion del ángulo formado por las verticales de dos lugares diferentes, se consigue observando, de cada uno de estos lugares, una misma estrella, y midiendo el ángulo que el rayo visual hace con la vertical. La diferencia de los ángulos hallados es el ángulo que las dos verticales forman entre sí.

Entiéndese por *línea horizontal*, ó por *plano horizontal*, una línea ó un plano perpendiculares á la vertical.

39. **Plomada.**—La vertical en un sitio cualquiera se determina por medio de la *plomada*. Dáse este nombre á un hilo del cual pende una bala de plomo (fig. 13). Estando fijo este hilo por su estremidad superior, y abandonado á sí mismo, toma naturalmente la direccion de la vertical; pues luego se verá que un cuerpo que solo tiene un punto de

apoyo no puede estar en equilibrio, sino en tanto que su centro de gravedad y el punto de apoyo se hallan situados en una misma vertical (45).

La plomada no puede indicar si la direccion de la gravedad en un punto es constante. En efecto, si se observase que la plomada, que era en un principio paralela á la pared de un edificio, por ejemplo, dejaba de serlo, no podria decirse si era la gravedad que habria mudado de direccion, ó si la pared se habria inclinado. Pero cuando tratemos de las propiedades de los líquidos, verémos que su superficie no puede permanecer horizontal, ó *estar á nivel*, mientras no sea perpendicular á la direccion de la gravedad; por consiguiente, si esta variase, otro tanto sucederia al nivel de los mares. La estabilidad de este nivel es, pues, una prueba de que la direccion de la gravedad es constante.

Fig. 13.

La plomada, sin embargo, es desviada en la aproximacion de grandes moles, como, por ejemplo, una montaña. Lacondamine y Bouguer han demostrado que la montaña llamada el Chimborazo produce una desviacion en la plomada de 7″,5.

CAPITULO II.

DENSIDAD, PESO, CENTRO DE GRAVEDAD, BALANZAS.

40. **Densidad absoluta y densidad relativa.**—Se entiende por *densidad* de un cuerpo su masa bajo la unidad de volúmen (4). No puede decirse cuál sea la *densidad absoluta*, es decir, la cantidad real de materia que un cuerpo contiene; no se puede determinar mas que su *densidad relativa*, esto es, la cantidad de materia que contiene un cuerpo en igualdad de volúmen, con relacion á otro cuerpo que se toma por término de comparacion. Este cuerpo, para los sólidos y los líquidos, es el agua destilada á 4° sobre 0, y para los gases es el aire. Por consiguiente, cuando se dice que la densidad del zinc es 7, se significa con esto que, bajo el mismo volúmen, contiene este metal siete veces mas materia que el agua.

Si representamos por V el volúmen de un cuerpo, por M su masa absoluta y por D su cantidad de materia bajo la unidad de volúmen, es decir, su densidad absoluta, claro está que la cantidad de materia contenida en el volúmen V es V veces D; de donde $M = VD$. De esta igualdad se deduce $D = \frac{M}{V}$; por lo que puede decirse tambien que *la densidad de un cuerpo es la relacion de su masa con su volúmen.*

41. **Peso.**—Se distingue en todo cuerpo el *peso absoluto*, el *peso relativo* y el *peso específico*.

El *peso absoluto* de un cuerpo es la presion que ejerce sobre el obstáculo que se opone á su caida. Esta presion no es mas que la resultante de las acciones de la gravedad sobre cada una de las moléculas

del cuerpo; de donde resulta que ella es tanto mayor, cuanta mas materia contiene el cuerpo: lo cual se espresa diciendo que el peso de un cuerpo es proporcional á su masa.

El *peso relativo* de un cuerpo es el que se determina por medio de la balanza; este es la relacion del peso absoluto del cuerpo con otro peso determinado que se ha elegido por unidad. En el sistema métrico, esta unidad es el gramo. Así, cuando se encuentra que un cuerpo pesa 58 gramos, 58 es su peso relativo. Adoptando otra unidad, variaría el peso relativo, pero el absoluto quedaria el mismo.

Por último, el *peso específico* de un cuerpo es la relacion de su peso relativo, bajo cierto volúmen, con el de un volúmen igual de agua destilada y á 4º sobre 0. Por ejemplo, si se dice que el peso específico del zinc es 7, se dá á entender que, á volúmenes iguales, el zinc pesa siete veces mas que el agua destilada.

Siendo proporcional el peso de los cuerpos, en igualdad de volúmen, á su masa, resulta que si un cuerpo contiene dos, tres veces mas materia que el agua, debe ser dos, tres veces mas pesado; por consiguiente, la relacion entre los pesos, ó el peso específico, debe ser la misma que la relacion entre las masas, ó la densidad relativa. Por eso se miran generalmente como equivalentes las expresiones *densidad relativa* y *peso específico*. Sin embargo, dado caso que desapareciera la gravedad, no habria ya peso absoluto, ni peso relativo, mientras que siempre habria lugar de considerar las densidades. Estas no podrian determinarse entonces por la balanza; pero ya se ha visto (35) que la relacion de las masas es la misma que la de las fuerzas que imprimirian á estas masas una misma velocidad en igual tiempo, lo cual nos permitiria aun determinar las densidades.

Siendo proporcional el peso P de un cuerpo á su masa M y á la intensidad de la gravedad que se representa por g, puede tomarse para medida del peso el producto Mg, es decir, sentar que $P = Mg$. De aquí se obtiene $M = \frac{P}{g}$, fórmula que nos dá la masa cuando es conocido el peso. Reemplazando M por su valor VD (40), se tiene $P = VDg$, cuya fórmula es una segunda expresion del peso. Con otro cuerpo cuyo peso, densidad y volúmen fuesen P′, V′ y D′, tendriamos igualmente $P' = V'D'g$. Si $D = D'$, será $\frac{P}{P'} = \frac{V}{V'}$; y si $P = P'$ resulta que $VD = V'D'$, de donde $\frac{V}{V'} = \frac{D'}{D}$ (1). De la primera igualdad se deduce que, siendo igual la densidad, los pesos son proporcionales á los volúmenes; y de la última, que, á igualdad de peso, los volúmenes están en razon inversa de las densidades.

Muy pronto se verá cuáles son los procedimientos que sirven para determinar los pesos específicos de los sólidos y de los líquidos. Por lo que toca á los gases, sus pesos específicos se aprecian con relacion al aire, y exigen para su cálculo nociones acerca del calor, que no darémos hasta mas adelante.

42. Centro de gravedad, su determinacion esperimental. — El *centro de gravedad* de un cuerpo es un punto por el cual pasa cons-

---

(1) Y si $V = V'$, se tendrá $P : P' :: D : D'$; cuya proporcion es la que sirve de base para la determinacion de los pesos específicos. (*N. de J. P.*)

tantemente la resultante de las acciones de la gravedad sobre las moléculas de este cuerpo, en todas sus posiciones.

Todo cuerpo tiene un centro único de gravedad. En efecto, sea una masa cualquiera (fig. 14), y m, m', m'', m'''.... sus moléculas. Solicitadas todas por la gravedad en direcciones verticales, producen un sistema de fuerzas paralelas, cuya resultante se obtiene buscando primero la de las fuerzas que solicitan dos moléculas cualesquiera m y m' (27), luego la resultante de la fuerza así obtenida y de la que solicita una tercera molécula m'', y así sucesivamente hasta que se llegue á una resultante final P, aplicada en G y que representa el peso del cuerpo. Si se dá al cuerpo otra posicion, conforme lo indica la figura 15, solicitadas las moléculas m, m', m''..., todavía por las mismas

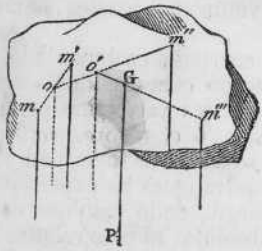


Fig. 14.

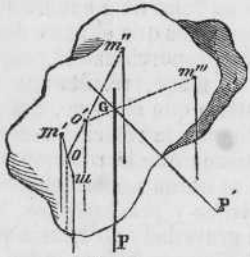


Fig. 15.

fuerzas que cuando el cuerpo se encontraba en la posicion que representa la figura 14, la resultante de las fuerzas que solicitan á m y m' continúa pasando por o, luego la resultante que sigue, por o', y así sucesivamente hasta la resultante P, que pasa tambien por G, en donde corta la direccion GP', que tenia la misma resultante en la primera posicion. Como lo propio sucede en todas las posiciones que se dén al cuerpo, el punto G, por donde pasa constantemente la direccion del peso, es el centro de gravedad.

La investigacion del centro de gravedad de un cuerpo cualquiera pertenece al dominio de la geometría; pero en muchos casos se le puede determinar inmediatamente. Por ejemplo, en una línea recta homogénea, el centro de gravedad se encuentra en medio de la recta; en un círculo, en el centro; lo mismo que en una esfera; y en los cilindros, en medio del eje. En estática se hace ver que, en un triángulo, el centro de gravedad se halla en la línea que junta uno de los vértices con el medio del lado opuesto, y en los dos tercios de esta línea á partir del vértice. En las pirámides ocupa la recta que enlaza el vértice con el centro de gravedad de la base, á los tres cuartos de esta recta á partir del vértice. Lo mismo sucede en los conos.

En muchos casos es posible determinar el centro de gravedad por la esperiencia. Suspéndese para esto el cuerpo de un cordon, sucesivamente en dos distintas posiciones, conforme lo demuestran las figuras 16 y 17; luego se busca el punto en que el cordon CD, en la segunda posicion, corta la direccion AB que tenia en la primera: este

punto es el centro de gravedad. En efecto, como en cada posicion no puede establecerse el equilibrio sino en tanto que viene á situarse el centro de gravedad debajo del punto de suspension del cordon y en su misma direccion (43), es claro que el centro de gravedad debe es-

Fig. 16.

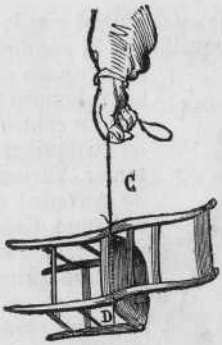


Fig. 17.

tar colocado á la vez en las dos direcciones del cordon, y por lo mismo, en su punto de encuentro.

En los cuerpos de forma y de homogeneidad invariables, es constante la posicion del centro de gravedad; pero en el caso contrario varía la posicion de este punto. Esto es lo que sucede en los animales que dan al centro de gravedad posiciones diversas segun las actitudes.

43. Equilibrio de los cuerpos pesados. — Reducida la accion de la gravedad á una fuerza única, vertical, dirigida de arriba abajo, y aplicada al centro de gravedad, basta para que haya equilibrio, que quede destruida esta fuerza por la resistencia de un punto fijo por donde aquella pase.

Preséntanse aquí dos casos, segun esté sostenido el cuerpo pesado por un solo punto de apoyo, ó por muchos. En el primer caso, el centro de gravedad debe coincidir con el punto de apoyo, ó encontrarse en la vertical que pasa por este punto. En el segundo, basta que la vertical tirada por el centro de gravedad pase por el interior de la *base*, es decir, del polígono que se obtiene uniendo entre sí los puntos de apoyo.

En las torres de Pisa y de Bolonia, que de tal modo se hallan inclinadas sobre el horizonte, que parece que amenacen con su caida á los transeuntes, persiste el equilibrio, porque el centro de gravedad se encuentra en una vertical que pasa por el interior de la base.

Un hombre se presenta tanto mas firme sobre sus piés, cuanto mayor es la base que estos ofrecen, porque él puede dar entonces mas amplitud á sus movimientos, sin que salga de dicha base la vertical tirada por su centro de gravedad. Si se apoya no mas que sobre un pié, la base disminuye; y todavía mas cuando se levanta sobre la

punta del mismo. En tal posicion, bastaria un débil balanceo para que el centro de gravedad saliera de la base y rompiese el equilibrio.

44. Diversos estados de equilibrio. — Atendiendo á la posicion del centro de gravedad relativamente al punto de apoyo, se presentan tres estados de equilibrio, á saber: el *estable*, el *inestable* y el *indiferente*.

El *equilibrio estable* es el estado de un cuerpo que, desviado de su posicion de equilibrio, la recobra por sí mismo tan luego como á ello no se opone obstáculo alguno. Obsérvase este estado siempre que un cuerpo tiene una posicion tal, que su centro de gravedad se halla mas bajo que en cualquiera de las demás posiciones que pueda tomar. Variando la situacion del cuerpo, su centro de gravedad no puede menos de subir, y como de contínuo tiende á bajarle la gravedad, esta lo vuelve, despues de una série de oscilaciones, á su posicion primera, restableciéndose el equilibrio. Tal es el caso de un péndulo, ó el de un huevo sobre un plano horizontal, cuando su eje mayor es sensiblemente paralelo á este plano.

Fig. 18 (a=24).

Como ejemplo de equilibrio estable se construyen unas figuritas de marfil, que se hacen tener sobre un pié cargándolas con dos esferas de plomo situadas bastante bajas para que, en todas las posiciones, el centro de gravedad *g* de las esferas y de la figurita corresponda debajo del punto de apoyo (figura 18).

El *equilibrio inestable* es el estado de un cuerpo que, separado de su posicion de equilibrio, no tiende mas que á separarse mas de ella.

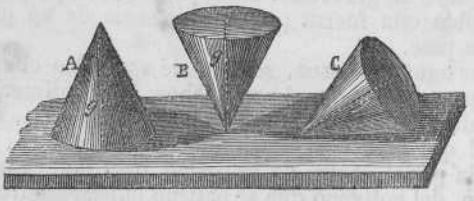


Fig. 19.

Preséntase este estado siempre que un cuerpo tiene una posicion tal, que su centro de gravedad está mas alto que en cualquiera otra posicion, porque, bajando mediante una desviacion cualquiera el centro de gravedad, esta solo tiende á hacerle bajar mas y mas. Tal es el caso de un huevo que se apoya sobre un plano horizontal, suponiendo que sea vertical su eje mayor; y tal es tambien el de un baston que procuramos mantener en equilibrio en la punta de un dedo.

Por fin, llámase *equilibrio indiferente* el que persiste en todas las posiciones que toma el cuerpo. Este género de equilibrio se observa

siempre que, en las diversas posiciones del cuerpo, no sube ni baja su centro de gravedad, conforme acontece en una rueda de carruage sostenida por su eje, ó en una esfera que se apoya sobre un plano horizontal.

La figura 19 representa tres conos, A, B, C, colocados respectivamente en las posiciones de equilibrio estable, inestable é indiferente. En todas tres, la letra *g* designa la posicion del centro de gravedad.

45. **Palancas.** — Antes de dar á conocer la teoría de las balanzas, recordarémos aquí otra que corresponde al curso de mecánica, esto es, la de la palanca, sin la cual no puede comprenderse bien cuanto se diga de las balanzas.

Dáse el nombre de *palanca* á toda barra AB (fig. 20), recta ó curva, que se apoya sobre un punto fijo *c*, á cuyo alrededor tienden á ha-

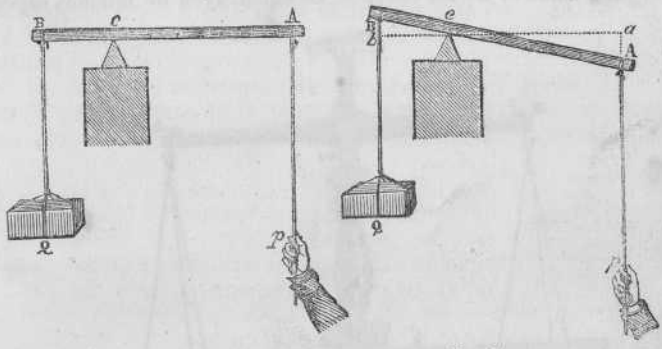


Fig. 20. Fig. 21.

cerla girar en sentido contrario dos fuerzas paralelas ó concurrentes. Una de estas fuerzas, la que obra como motor, es la *potencia*, y la otra es la *resistencia*. Atendida la posicion del punto de apoyo respecto de los puntos de aplicacion de la potencia y de la resistencia, se distinguen tres géneros de palancas, á saber: 1.° la *palanca de primer género*, cuando el punto de apoyo está situado entre la potencia y la resistencia; 2.° la *palanca de segundo género*, cuando la resistencia está entre el punto de apoyo y la potencia, y 3.° la *palanca de tercer género*, cuando la potencia se encuentra entre el punto de apoyo y la resistencia.

En los tres géneros de palancas, las distancias respectivas de la potencia y de la resistencia al punto de apoyo se llaman *brazos de palanca*. Si esta es recta y perpendicular á las direcciones de dichas dos fuerzas, como en la figura 20, las dos partes A*c* y B*c* de la palanca son sus brazos; pero si está inclinada relativamente á la direccion de las fuerzas (fig. 21), los brazos de palanca son las perpendiculares *ca* y *cb*, bajadas desde el punto fijo, siguiendo tales direcciones.

Esto supuesto, se demuestra en mecánica que una fuerza que tiende á hacer girar una palanca alrededor de su punto de apoyo, produce tanto mayor efecto, cuanto mas lejos pasa su direccion de este

punto de apoyo, ó lo que es lo mismo, cuanto mayor es el brazo de palanca sobre que obra. Dedúcese de aquí que cuando la potencia y la resistencia tienen igual intensidad, y obran sobre brazos iguales de palanca, producen el mismo efecto, aunque en sentido contrario, equilibrándose desde aquel momento; pero si actúan sobre brazos desiguales de palanca, si, por ejemplo, el de la potencia es dos, tres veces mayor que el de la resistencia, claro está que los efectos no serán iguales sino en el supuesto de que la potencia sea dos, tres veces menor que la resistencia, lo cual se espresa diciendo que *para que dos fuerzas se equilibren por medio de una palanca, sus intensidades han de estar en razon inversa de los brazos de palanca á que se aplican.*

Dadas estas nociones, pasemos á la teoría de las balanzas.

46. **Balanzas.** — Llámanse *balanzas* los aparatos que sirven para medir el peso relativo de los cuerpos. Se construyen de muchas especies.

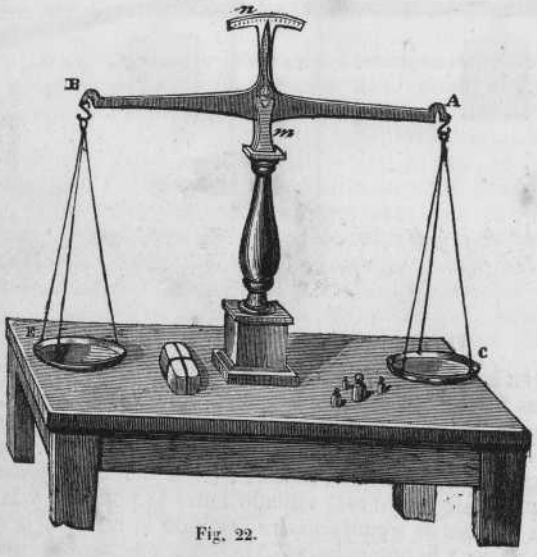


Fig. 22.

La balanza ordinaria (fig. 22) consiste en una palanca de primer género, llamada *fiel* (1), cuyo punto de apoyo está en el medio; á las dos estremidades del fiel están suspendidos los *platillos*, sostenidos por cordones ó cadenas, y destinados á recibir, el uno, los objetos que se quieren pesar, y el otro, las pesas. El fiel está atravesado, en su parte media, por un prisma de acero *a* que se llama *cuchilla*, y que descansa, por un corte agudo, sobre una *chapa* de ágata ó acero bruñido, para disminuir el rozamiento. Por último, en el fiel hay fija una

(1) El nombre de *fiel* se aplica en España á la aguja que sirve para indicar la horizontalidad de la palanca, mientras que á esta se la llama *cruz de la balanza*. *(N. de J. P.)*

aguja que oscila delante de un arco graduado *n*; cuando el fiel está bien horizontal, la aguja corresponde al cero de la graduacion.

Como se ha visto anteriormente (45), que dos fuerzas iguales no pueden equilibrarse, en la palanca de primer género, mas que en tanto que ellas obran sobre brazos de palanca iguales, es menester que la longitud de los brazos de palanca *a*A y *a*B no cambie mientras dure la pesada. Para conseguir este resultado, se tiene cuidado de suspender los platillos de un ganchito cuya parte corva está construida en arista fina, y se hace descansar este ganchito sobre una arista semejante que termina los dos brazos de la palanca. De esta manera los platillos solo están sostenidos por un solo punto, y este queda siempre invariable á pesar de las oscilaciones de la balanza. Este es el género de suspension que está representado en la figura adjunta.

47. **Condiciones á que debe satisfacer una balanza.** — Una balanza, para dar pesadas exactas, debe satisfacer á las condiciones siguientes:

1.ª *Los dos brazos de palanca deben ser rigurosamente iguales;* de lo contrario, segun la teoría de la palanca, serian necesarios, en los platillos, pesos desiguales para hacerse equilibrio. Para reconocer si los

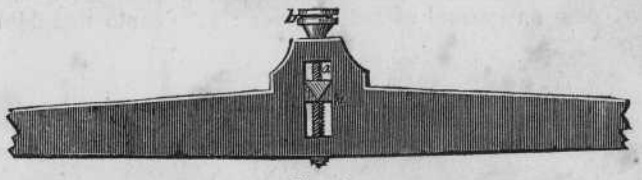


Fig. 23.

dos brazos de palanca son iguales, se colocan pesos en los dos platillos, de manera que el fiel tome una posicion horizontal. Trasponiendo entonces los pesos de cada platillo en el otro, el fiel quedará horizontal, si los brazos son iguales, porque, en este caso, los pesos tambien lo son; de lo contrario, se inclinará del lado del brazo mas largo.

2.ª *La balanza debe permanecer en equilibrio cuando los platillos están vacíos;* porque, en este caso [1], seria necesario poner pesos desiguales en los dos platillos para obtener el equilibrio. Sin embargo, es menester no creer que los brazos son iguales por el solo hecho de que, estando vacíos los platillos, el fiel quede horizontal; pues bastaria dar al brazo mas largo un platillo mas ligero para que así sucediese.

3.ª *Estando horizontal el fiel, su centro de gravedad debe hallarse en la vertical que pase por la arista de la cuchilla y un poco debajo de esta arista;* de lo contrario, no podria tomar un estado de equilibrio estable (44). En efecto, si el centro de gravedad correspondiese á la arista de la cuchilla, se encontraria la balanza en el estado de equilibrio indiferente (44); y si aun estuviera mas alto, el equilibrio seria inestable, diciéndose entonces que es *loca* la balanza.

---

[1] Porque, en el caso contrario. *(N. de J. P.)*

En los cursos de física se ponen en evidencia los tres casos que presenta la posicion del centro de gravedad con relacion á la cuchilla, por medio de una palanca en que puede subir ó bajar la cuchilla, sirviendo para el intento un tornillo *a* que gira en una tuerca abierta en la masa misma de la cuchilla (fig. 23). Cuando se halla esta en la parte mas alta de la muesca *c*, en la cual sube y baja, se encuentra debajo de su arista el centro de gravedad, y el fiel permanece en equilibrio estable, y oscila libremente sobre los puntos de apoyo que sostienen á la cuchilla. Pero, luego que, dando vueltas al tornillo, se baja lentamente la cuchilla, llega un momento en que coincide su arista con el centro de gravedad del fiel, y en tal caso no oscila ya este, conservando el equilibrio, sea cual fuere la posicion que se le dé. Por último, si se continúa bajando la cuchilla, el centro de gravedad pasa por encima de los puntos de apoyo, y desde entonces la balanza es loca.

48. **Condiciones de sensibilidad.** — Se dice que una balanza es sensible cuando su fiel oscila fácilmente por una pequeñísima diferencia de pesos en los dos platillos; si no oscila mas que por una diferencia algo considerable, la balanza se llama *perezosa*.

Muchas son las causas que concurren á la sensibilidad de una balanza, pero en general es tanto mayor : 1.° cuanto mas débil es el

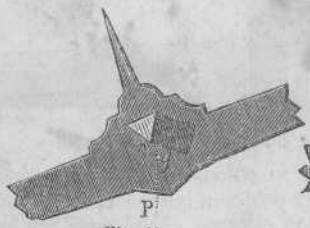


Fig. 23.

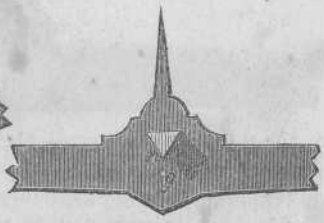


Fig. 24.

roce de la cuchilla sobre sus puntos de apoyo; y por eso se procura que descanse sobre dos chapas de ágata ó de acero bien templado; 2.° cuanto mas ligero es el fiel y menos cargados están los platillos, porque entonces disminuye el rozamiento; 3.° cuanto mas largos son los brazos del fiel, porque la diferencia de peso que determina la oscilacion actúa sobre un brazo mayor de palanca; 4.° cuanto mas larga es la aguja que marca las oscilaciones, porque estas se vuelven mas visibles, y 5.° cuanto mas cerca de su arista se encuentra el centro de gravedad del fiel, sin dejar de hallarse por esto debajo de la cuchilla.

Para darse cuenta de esta última condicion, basta considerar la figura 24, en la cual el centro de gravedad *g* está notablemente debajo de la arista *n* de la cuchilla. En tal caso, cuando oscila el fiel, conforme lo indica la fig. 25, como la fuerza aplicada en *g* pasa lejos del punto de apoyo *n*, ejerce, por lo dicho mas arriba acerca de la palanca (45), un efecto tanto mas poderoso, para oponerse á las oscila-

ciones, cuanto mayor es la distancia *on*. Por el contrario, si la distancia *gn* es pequeña, le sucede lo propio á la *on*, y la fuerza *p* que obra sobre un brazo menor de palanca, no opone mas que una débil resistencia á las oscilaciones del fiel.

Hay todavía una condicion que contribuye á la sensibilidad de la balanza, cual es la posicion, relativamente á la cuchilla central, de las dos cuchillas estremas que sostienen á los platillos. La recta que une las aristas de estas dos últimas, debe cortar la del primero, segun lo muestra la fig. 28. En efecto, representando los pesos de los platillos que cargan sobre las cuchillas *m* y *n* dos fuerzas iguales y paralelas; la resultante de estas se encuentra aplicada en el punto *o*, que es la parte media de *mn* (27). Ahora bien; si la arista de la cuchilla central se halla encima de la recta *mn* (fig. 26), otro tanto le pasará en general al centro de gravedad del fiel; porque este punto debe estar siempre muy cerca de la arista de la cuchilla. De consiguiente, componiéndose la fuerza aplicada en *g* con la aplicada en *o*, la fuerza única resultante tiene su punto de aplicacion entre *o* y *g*, es decir, debajo

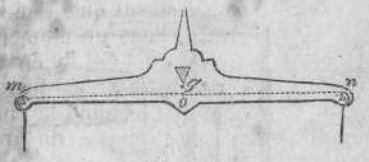


Fig. 26.

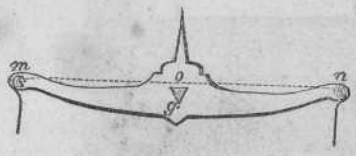


Fig. 27.

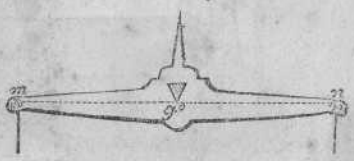


Fig. 28.

de este último punto, y por lo tanto, mas lejos del de apoyo; de donde se deduce que tiende mas y mas á oponerse á las oscilaciones del fiel. Si la línea *mn* pasa por encima de la arista de la cuchilla, como en la fig. 27, las dos fuerzas aplicadas en *o* y en *g* se reducen tambien á una fuerza única cuyo punto de aplicacion se encuentra situado entre *o* y *g*. Pero, en este caso, pudiendo pasar por encima del punto de apoyo el de aplicacion de esta resultante, tiende la balanza á quedar loca. Ultimamente, si las tres aristas de las cuchillas están en línea recta (fig. 28), como la resultante de las fuerzas aplicadas en *o* y en *g* pasa por entre estos dos puntos, el suyo de aplicacion está mas cerca de la cuchilla que el *g*, y por lo mismo oscila la balanza con mas facilidad. Esta última disposicion es pues la mejor.

49. **Balanza de precision.** — La balanza representada en la figura 22 es la que se emplea en el comercio, al cual ofrece bastante precision; pero en física, y sobre todo en química, para los análisis, se debe hacer uso de balanzas mas exactas.

La fig. 29 representa una balanza de precision construida por M. Deleuil, y de tal modo sensible, que ella se inclina por un esceso

de peso de una milígrama, aunque ella esté cargada de un quilógramo en cada platillo.

A fin de preservar á semejante balanza de los movimientos del aire, se la cubre con una especie de fanal de cristal, que la preserva á la vez del polvo y de la humedad. La cara anterior de dicho fanal puede elevarse para introducir los objetos que se traten de pesar.

A fin de no cansar el corte de la cuchilla mientras no funciona la balanza, se levanta el fiel por medio de una pieza móvil llamada

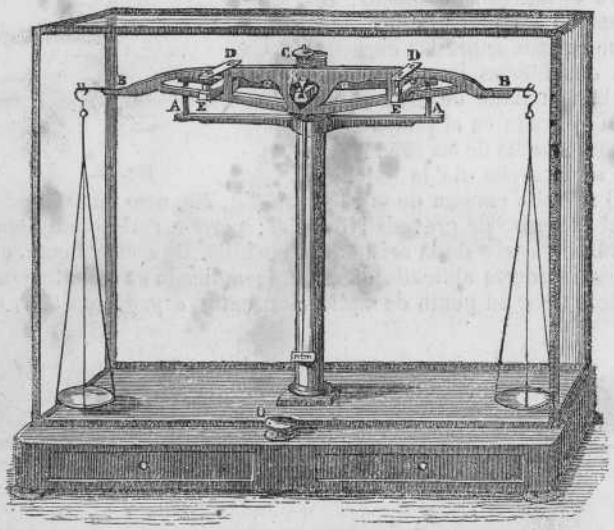


Fig. 29 (a=52).

horquilla. Con objeto de que se comprenda su mecanismo, principiemos por observar que la pieza AA está fija, lo mismo que los dos vástagos verticales que se notan en sus estremidades. Dos piezas DD adaptadas al fiel reciben el esfuerzo de la horquilla. Esta consiste en una barra *aa*, que lleva fijos dos travesaños horizontales EE que suben con la horquilla y van á levantar las dos piezas DD, y con ellas el fiel. Guian á la horquilla en su movimiento los vástagos AA que la atraviesan á rozamiento suave en sus estremidades. Por loque toca al movimiento de la horquilla, se obtiene por medio de un boton O, que se hace correr con la mano y que trasmite su movimiento á un tornillo situado en el interior de la columna. Este tornillo es el que, al girar, levanta la horquilla, y con ella las dos piezas EE, las cuales á su vez alzan el fiel BB.

Se juzga de la horizontalidad del fiel por medio de una larga aguja que le está fija por su parte superior, y cuya estremidad inferior corresponde á un arco de círculo graduado, que está colocado en el pié de la balanza.

Finalmente, un tornillo terminado en forma de boton C, dispuesto sobre el fiel, sirve para aumentar la sensibilidad de la balanza; ascendiendo este tornillo, se eleva el centro de gravedad del fiel, lo cual, segun se ha visto anteriormente (48), hace mas sensible á la balanza.

50. **Balanzas de suspension inferior.** — En las balanzas ya descritas, los puntos de suspension están sobre los platillos. Pero, desde hace algunos años, se fabrican balanzas cuyos puntos de suspension están debajo, y el uso las vá esparciendo mas en el comercio. Estas balanzas, representadas en la fig. 30, son de hermosa forma: ellas no embarazan los mostradores como las balanzas de columna, y sobre todo son cómodas para pesar objetos voluminosos, lo cual no se puede hacer sin embarazo con las balanzas ordinarias, á causa de

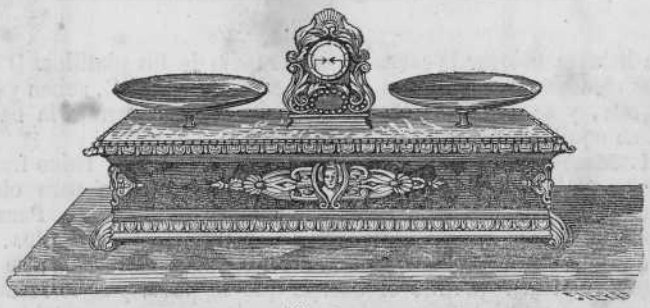


Fig. 30.

los cordones ó cadenas que sostienen los platillos. Sin embargo, las balanzas de suspension inferior no son balanzas de precision; ellas tienen demasiado rozamiento para este objeto; pero pueden dar pesadas con la aproximacion de algunas decígramas, lo cual es suficiente para el comercio.

Las primeras balanzas de suspension inferior han aparecido bajo el nombre de *balanzas inglesas*, y tambien bajo el de *balanzas de Roberval*, porque ellas eran, en efecto, una aplicacion de un principio de las palancas dado por este geómetra, profesor de matemáticas en Paris en el siglo XVII. La balanza que vamos á describir (fig. 30 y 31) es una combinacion de la balanza de Roberval y de la de Quintenz, debida á Béranger, fabricante en Lyon. Su construccion está basada: 1.° en que el movimiento de los platillos se verifique exactamente en línea recta; 2.° en que el estado de equilibrio de la balanza sea independiente de la posicion de la carga de los platillos, condicion que existe teóricamente en la balanza de Roberval, pero que no se consigue rigurosamente en la práctica á causa de los rozamientos.

El mecanismo adoptado por M. Béranger se compone, para cada platillo, de tres palancas, AB, EF y DC (fig. 31). La palanca DC, que sostiene al platillo P, se baja ó eleva al mismo tiempo, de cantidades iguales en sus dos estremos, cuando la estremidad B baja ó sube,

como es fácil de darse razon por solo la inspeccion de la figura. Esta palanca DC se mueve, pues, paralelamente á sí misma, y por consiguiente, la varilla *a* permanece siempre en la posicion vertical. En cuanto á la posicion de la carga en los platillos, ella no tiene la misma influencia que en la balanza de Roberval, á consecuencia de la combinacion de las tres palancas. No obstante, es preferible en

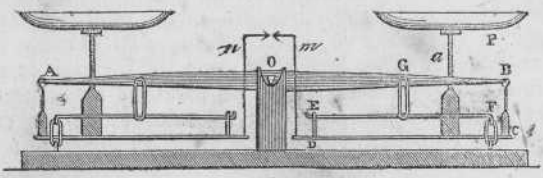


Fig. 31.

toda balanza colocar la carga hácia el medio de los platillos. Dos varillas recurvas *m* y *n*, fijas á la palanca horizontal DC, suben y bajan con ella, y se colocan frente la una de la otra cuando la balanza está en equilibrio.

51. **Método de las dobles pesadas.**—Á Borda, físico francés, muerto en Paris en 1799, se debe un procedimiento para obtener pesadas exactas con una balanza de brazos desiguales. Para esto se pone el cuerpo que se quiere pesar en uno de los platillos, y se le equilibra en el otro con granalla de plomo ó con arena; se quita luego del primer platillo el cuerpo que se pesa, y se le reemplaza por gramos y subdivisiones de gramo, hasta que se restablezca el equilibrio. El peso así obtenido es exactamente el del cuerpo; porque, en esta doble pesada, el cuerpo y los gramos obran sucesivamente sobre el mismo brazo del fiel para equilibrar una misma resistencia.

CAPITULO III.

LEYES DE LA CAIDA DE LOS CUERPOS, INTENSIDAD DE LA GRAVEDAD, PENDULO.

52. **Leyes de la caida de los cuerpos.**—Despreciando la resistencia del aire, es decir, suponiendo que los cuerpos caen en el vacío, el descenso de estos presenta las tres leyes siguientes:

1.ª LEY. — *Todos los cuerpos, en el vacío, caen con igual velocidad.* Esta ley se demuestra esperimentalmente por medio de un tubo de vidrio de unos dos metros de longitud, cerrado por una de sus estremidades, y terminado en la otra por una llave de cobre. Introdúcense en él cuerpos de diferentes densidades; por ejemplo, plomo, corcho, papel, y se hace luego el vacío con la máquina neumática. Volviendo en seguida bruscamente el tubo, se vé que todos los cuerpos que contiene caen con igual velocidad (fig. 32). Pero si, despues de haber

dejado entrar un poco de aire, se invierte de nuevo el tubo, se nota un débil retraso para los cuerpos mas ligeros, retraso que es muy sensible luego que se ha dejado entrar todo el aire que el tubo admite. Dedúcese de esto que, si en las condiciones ordinarias, caen con desigual rapidez los cuerpos, proviene únicamente de la resistencia del aire, y no de que se ejerza la gravedad de un modo mas intenso en unas sustancias que en otras. Un cuerpo que posee dos veces mas masa que otro, es realmente atraido hácia la tierra por una fuerza dupla; pero como esta fuerza dupla ha de poner en movimiento una cantidad doble de materia, claro está (35) que solo puede comunicarle el mismo grado de velocidad que recibe el otro cuerpo de una fuerza dos veces menor.

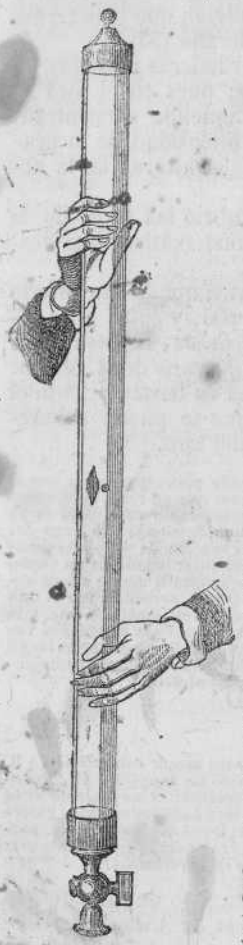


Fig. 32 (a=2m).

La resistencia que el aire opone á la caida de los cuerpos es sobre todo sensible en los líquidos. En el aire se dividen y caen bajo la forma de gotitas, siendo así que en el vacio bajan sin dividirse, conforme lo haria una masa sólida. Este fenómeno se demuestra con el *martillo de agua*. Tal es el nombre que se dá á un tubo de vidrio un poco grueso, de 30 á 40 centímetros de largo, lleno de agua hasta la mitad, y cerrado á la lámpara despues de espulsado el aire por la ebullicion. Al dar una vuelta brusca á este tubo, el agua, al caer, hiere la estremidad inferior, produciendo un sonido seco, cual si fuera resultado del choque de dos cuerpos sólidos.

2.ª LEY. — *Los espacios recorridos por un cuerpo que, partiendo del estado de reposo, cae en el vacio, son proporcionales á los cuadrados de los tiempos que tarda en recorrerlos.* En otros términos, en tiempos representados por 1, 2, 3, 4,.... los espacios recorridos lo están respectivamente por 1, 4, 9, 16, ...

3.ª LEY. — *La velocidad adquirida por un cuerpo que cae en el vacio, es proporcional al tiempo que emplea en su descenso.* Es decir, que trascurrido un tiempo, dos, tres, cuatro veces mayor, la velocidad adquirida es á la vez dos, tres, cuatro veces mayor.

Consecuencia.—Supuesto que, en virtud de la segunda ley, siendo 1 el espacio recorrido en el primer segundo, los espacios recorridos en 2, 3, 4, 5... segundos son 4, 9, 16, 25,.... es claro que el espacio que recorre en el segundo segundo es 4 menos 1, ó 3; en el tercer segundo es 9 menos 4, ó 5; en el cuarto 16 menos 9, ó 7, y así su-

cesivamente; es decir, que los espacios recorridos sucesivamente en el primero, segundo, tercero, cuarto.... segundos son entre sí como la série natural de los números impares 1, 3, 5, 7.... Dedúcese de aquí que los espacios recorridos crecen en tiempos iguales cantidades tambien iguales, lo cual está acorde con la definicion que mas arriba hemos dado del movimiento uniformemente acelerado (33).

Las leyes de la caida de los cuerpos no son verdaderas mas que en el vacío y para alturas de poca consideracion; pues en el aire se modifican en atencion á las resistencias que aquellos encuentran; además de que, segun verémos muy pronto, la intensidad de la gravedad no es rigurosamente la misma á desiguales alturas en la atmósfera (56).

Galileo fué quien, á fines del siglo XVI, descubrió las leyes de la gravedad, y las dió á conocer en la cátedra de matemáticas que desempeñaba en la universidad de Pisa.

53. **Plano inclinado.**—Muchos son los aparatos que se han ideado para demostrar las leyes de la caida de los cuerpos, y entre ellos citarémos el *plano inclinado*, la *máquina de Atwood* y el *cilindro giratorio* de M. Morin. En los dos primeros es bastante lento el movimiento para que se pueda despreciar la resistencia del aire.

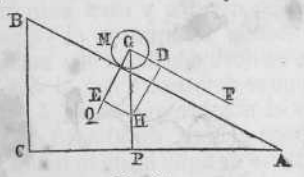


Fig. 33.

Plano inclinado es todo plano que forma con el horizonte un ángulo menor que un recto (¹). Cuanto mas agudo es este ángulo, tanto mas débil es la velocidad de un cuerpo que desciende á lo largo del plano inclinado. En efecto, representemos por AB (fig. 33) la seccion de un plano inclinado, por AC la de un plano horizontal, y por BC una perpendicular bajada de un punto B del plano inclinado al horizontal. El peso P de un cuerpo cualquiera M que se apoye sobre un plano inclinado, puede ser descompuesto en dos fuerzas Q y F, perpendicular la una y paralela la otra al mismo plano. La primera será destruida por la resistencia de este, y la fuerza F será la única que obre sobre la masa M para hacerla bajar. Para calcular el valor de F, se marca en GP una longitud GH que represente el peso P, terminando luego el paralelógramo DGEH (29), y en tal caso DG es el valor de la fuerza F. Siendo semejantes los triángulos DGH y ABC, por tener iguales los ángulos, se obtiene

$$\frac{DG}{GH}=\frac{BC}{AB}, \quad ó \quad \frac{F}{P}=\frac{BC}{AB}.$$

De esta última igualdad resulta, que la fuerza F es tantas veces menor con relacion á P, cuanto mas corta es la *altura* BC del plano inclinado respecto de su *longitud* AB. Podemos hacer, pues, tan pequeña como queramos la fuerza F, y debilitar el movimiento de la masa M, de manera que nos sea posible contar sobre el plano inclinado los caminos recorridos en uno, dos, tres .. segundos; y esto sin alteracion de las leyes del movimiento, porque la fuerza F es continua y constante. Practicando estas operaciones, llegó á descubrir Galileo que los espacios recorridos crecen como los cuadrados de los tiempos.

54. **Máquina de Atwood.**—Las leyes del descenso de los cuerpos se demuestran tambien por medio de la *máquina de Atwood*, así llamada del apellido de su inventor, catedrático que era de química en Cambridge á fines del siglo pasado. Esta máquina se compone de una columna de madera (figura 34), de unos $2^m,50$ de altura. En su parte

(¹) Esta definicion solo se refiere á la fuerza de la gravedad; pero si decimos que por *plano inclinado* se entiende *todo plano que forme ángulo agudo con la direccion de la fuerza que se considere*, tendrémos una definicion general. (*N. de J. P.*)

superior, debajo de un fanal de vidrio, se ve una polea de laton, en la cual se arrolla un hilo de seda suficientemente fino, á fin de que pueda despreciarse su peso, y que sostiene en sus estremos dos pesos iguales M y M′. El eje de la polea, en vez de descansar sobre dos coginetes ó almohadillas fijas, se apoya sobre las convexidades cruzadas de cuatro ruedas móviles. En virtud de esta disposicion, el rozamiento del eje de la polea, que trasmite su movimiento á las cuatro ruedas, es de rotacion, que es mucho mas suave que el que resulta cuando un cuerpo resbala sobre otro.

En la columna está fijo un movimiento de relojería H, regularizado por un péndulo de segundos P, merced á un escape de áncora. Este último se halla representado en el cuadrante encima de la rueda de encuentro que ocupa el centro. Dicho escape oscila con el péndulo, y al inclinarse, ora á derecha, ora á izquierda, dá paso, á cada oscilacion, á un diente de la rueda de encuentro. El eje de esta lleva en su estremidad anterior una aguja que marca los segundos, y en la posterior, detrás del cuadrante, un escéntrico figurado en E á la izquierda de la columna. Este escéntrico, que gira al mismo tiempo que la aguja, se apoya sobre una palanca D, que al desviarla hace vascular un platillo *i*, sostenido por esta palanca y destinado á su vez á sostener la masa M.

En fin, paralelamente á la columna hay una escala de madera Q, dividida en centímetros, con objeto de medir los espacios que recorren los cuerpos al caer. En dicha escala se encuentran dos *topes*, ó sean dos piezas móviles que, por medio de un tornillo, se pueden fijar á la altura que se quiera. Representamos estos topes en diferentes posiciones, á la derecha de la máquina, en A, A′, B, C, B′ y C′. Uno de ellos tiene la forma de un platillo, y sirve para detener la masa M; el otro, que es anular, permite que le atraviese esta masa, pero no un pequeño peso adicional que sobre ella se coloca, y que consiste en una lámina de laton mas larga que el diámetro del anillo.

La máquina de Atwood sirve para disminuir la velocidad del descenso, y para sustituir, á voluntad, un momovimiento uniforme á otro acelerado.

A fin de que pueda apreciarse el modo cómo retarda el movimiento esta máquina, supongamos que la plaquita de laton m, que en nuestro dibujo está representada en m, en m' y en m'', cae sola, y representemos por g su velocidad al cabo de un segundo; su cantidad de movimiento será mg (35). Si colocamos esta placa m sobre la masa M, no podrá ya caer sino comunicando parte de su velocidad á las dos masas M y M′. Efectivamente, haciéndose equilibrio estas dos masas, queda en ellas sin efecto la gravedad; por lo tanto, la misma fuerza que hacia caer al peso m, cuando estaba solo, será la que mueva ahora á este peso y á las dos masas M y M′. La cantidad de movimiento será, pues, la misma (35). Ahora bien, si se representa por x la velocidad al cabo de un segundo, la cantidad de movimiento será $(m+2M)\,x$; igualándola con la que adquiere el peso m cuando cae solo, se tiene $(m+2M)\,x = gm$, de donde $x = \frac{gm}{m+2M}$. Si se supone, por ejemplo, que las masas M y M′ valgan cada una 16, siendo 1 la masa m, se encuentra $x = \frac{g}{33}$; es decir, que la velocidad será 33 veces menor que si cayese el cuerpo libremente en la atmósfera, lo cual es suficiente para que se pueda seguir al cuerpo en su caida, y para hacer apenas sensible la resistencia del aire.

Conocidas ya las diversas piezas de la máquina, pasemos al esperimento, y propongámonos demostrar primero, que los espacios recorridos crecen como los cuadrados de los tiempos. Para esto, parado el péndulo P, y sin que marque cero la aguja del cuadrante, se coloca el peso adicional *m* sobre la masa M, y así cargada esta, se la coloca sobre el platillo *i*, mantenido horizontalmente por la estremidad de la palanca D, y correspondiendo al cero de la escala. No sirviéndonos por de pronto mas que del tope lleno, se le fija por tanteo á una distancia tal del cero de la escala, que las dos masas *m* y M tarden un segundo en caer de O á A, descenso que principia en el momento en que, entrando en oscilacion el péndulo, llega la aguja al cero del cuadrante; porque en este punto es espulsada la palanca D por el escéntrico y se inclina el platillo *i*.

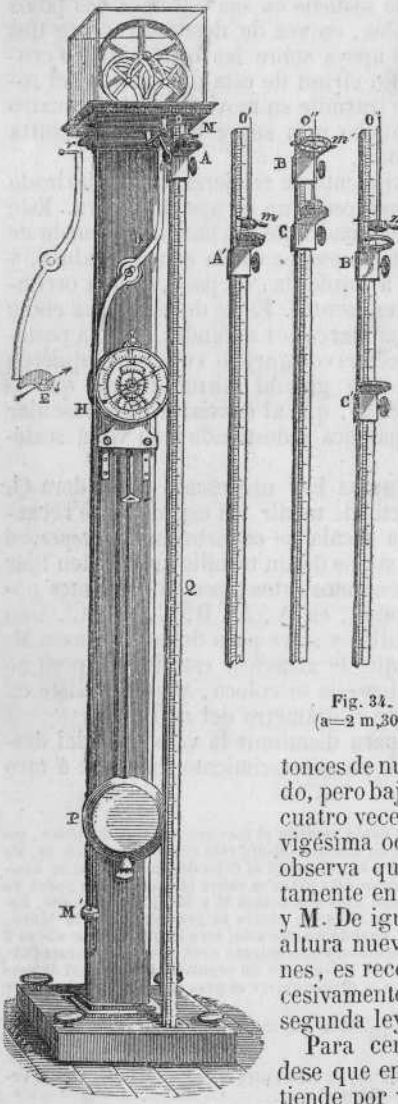


Fig. 34. (a=2 m,30).

Admitamos que se haya encontrado de esta suerte que la altura de descenso en un segundo es 7. Se principia entonces de nuevo el esperimento del mismo modo, pero bajando el tope á una distancia O'A' cuatro veces mayor que OA, es decir, á la vigésima octava division de la escala, y se observa que este espacio es recorrido exactamente en dos segundos por las masas *m* y M. De igual manera se encuentra que una altura nueve veces mayor, ó de 63 divisiones, es recorrida en tres segundos, y así sucesivamente. Queda comprobada, pues, la segunda ley.

Para cerciorarse de la tercera, recuérdese que en el movimiento acelerado se entiende por velocidad, en un momento dado, la del movimiento uniforme que sucede al acelerado (34). De consiguiente, para comprobar la ley que sigue en su variacion la velocidad

de un cuerpo que está cayendo, basta medir la velocidad del movimiento uniforme que reemplaza al acelerado, sucesivamente despues de uno, dos, tres.... segundos de descenso.

La sustitucion del movimiento uniforme al acelerado se obtiene por medio del tope anular B. Para esto se principia colocando este á una distancia tal, que las dos masas *m* y M reunidas empleen en llegar á B un segundo, como en el primer esperimento; detenida entonces la masa adicional *m* por el anillo B, y continuando sola su descenso la masa M, se coloca el platillo en C, debajo de B, mediando un intervalo conveniente para que la masa M tarde un segundo en pasar de uno á otro tope. De O″ á B el movimiento es uniformemente acelerado, y de B á C es uniforme; porque, detenido el peso *m* por el anillo B, ya no obra la gravedad desde B á C, y el movimiento solo continúa en virtud de la inercia. El número de las divisiones de la escala recorridas por la masa M, de uno á otro tope, representa pues la velocidad adquirida por las dos masas *m* y M al cabo de un segundo (34).

Principiando entonces de nuevo el esperimento, se baja el anillo B á B′, á una distancia tal, que las dos masas M y *m* tarden dos segundos en caer de O‴ á B′, y luego se fija el segundo tope C′ á una distancia del primero doble de la que los separaba en un principio, es decir, doble de BC. Al caer las dos masas durante dos segundos, con movimiento uniformemente acelerado, del punto O‴ al B′, se encuentra que la masa M recorre sola en un segundo el intervalo B′C′ que separa los dos topes. La velocidad adquirida al cabo de dos segundos es, por consiguiente, doble de la que se adquiere despues de uno. De igual manera se comprueba que despues de tres, cuatro segundos, la velocidad es tres, cuatro veces mayor.

54 *. **Aparato de indicaciones continuas.**—M. Morin, director del Conservatorio de Artes y Oficios de Paris, mandó construir hace algunos años, para demostrar las leyes del descenso de los cuerpos, un aparato en el cual el movimiento uniforme de rotacion de un cilindro de papel se halla combinado con el de un cuerpo que cae, de manera que este, por medio de un pincelito mojado en tinta de China, describe sobre el papel una curva que representa la ley del movimiento. Este aparato, cuya idea primera se debe á M. Poncelet, se compone de un cilindro móvil A (fig. 35), recubierto de papel, y que tiene unos 40 centímetros de diámetro por 2m,90 de altura. Este cilindro está movido por un peso P, el cual, mediante una cuerda, trasmite el movimiento á un tambor B, y este último, merced á dos ruedas coronadas, lo comunica en seguida á un eje H y á dos rueda dentadas I y O que hacen dar vuelta al cilindro A.

Como el movimiento del peso P tiende á acelerarse durante su descenso, M. Wagner, constructor del aparato en cuestion, adoptó para regular el movimiento del tambor B un regulador, cuyos pormenores no aparecen en nuestro dibujo. Este sistema, conocido en mecánica con el nombre de *movimiento diferencial*, depende á la vez de un péndulo C y de un volante de aspas K animado por un rápido movimiento de rotacion. Este volante, envuelto por un tambor T, sube ó baja al compás de la velocidad del aparato. Cuando se acelera el movimiento y oscila el péndulo con demasiada rapidez, sube el tambor, y encontrando entonces las alas ó aspas del volante mas resistencia en el aire, disminuye el movimiento; y al contrario, si decrece la velocidad, el tambor baja, y el volante aspado acelera su velocidad por encontrar menos resistencia. De esta suerte se obtiene muy pronto un movimiento sensiblemente uniforme, bastando para esto que el peso P haya descendido 50 centímetros.

La rueda N, fija en el eje del cilindro, sirve para numerar ó marcar una larga regla de madera que se aplica contra el papel y que tiene por objeto trazar en su superficie dos sistemas de lineas equidistantes, unas en planos perpendiculares al eje del cilindro, y otras verticales.

En fin, una masa M, de fundicion, guiada en su caida por dos alambres F y G perfectamente tensos, se encuentra fija primero en una pinza D que se abre á voluntad, tirando de otro alambre L. A esta masa se fija, en R, el pincel que, durante el descenso, describe la

curva SR sobre el cilindro giratorio. De la forma de esta curva se deducen las leyes del movimiento.

En efecto, el camino recorrido por el pincel, al cabo de un tiempo cualquiera, en un punto *m* de la curva, es igual á la parte *am* de la vertical trazada sobre la superficie del cilindro; pero siendo uniforme el movimiento de este, puede tomarse por duracion del descenso, cuando el móvil llegó á *m*, el arco *hm* contado á partir de la vertical que corresponde al orígen del movimiento del pincel. De igual manera, en otra posicion *m'* del pin-

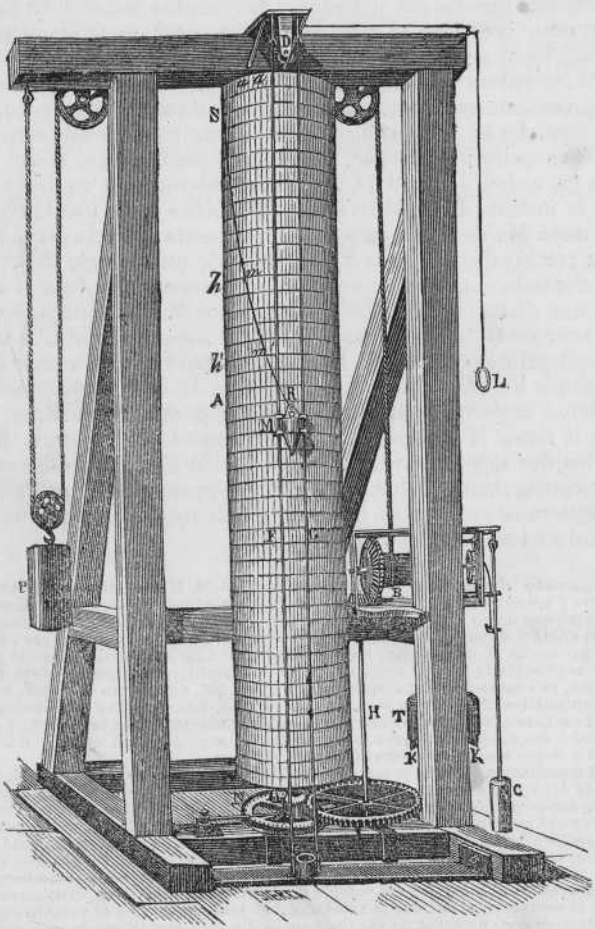


Fig. 35. (a=3m.)

cel, el camino recorrido está representado por *a'm'*, y el tiempo por *h'm'*. Comparando las longitudes *am* y *a'm'* con los arcos *hm* y *h'm'*, se encuentra que son entre sí como los cuadrados de estos arcos, y de aquí se deduce que cuando un cuerpo cae, su movimiento es uniformemente acelerado (34, 2.°).

La relacion que hay entre los arcos *hm* y las verticales *am*, hace ver que la curva SR es una parábola con el eje paralelo á las generatrices del cilindro, lo cual se comprueba desplegando sobre un plano el pliego de papel en que se halla trazada esta curva.

Los señores Lerebours y Secretan han simplificado recientemente la máquina de M. Morin, suprimiendo el regulador de M. Wagner y obteniendo el movimiento uniforme en virtud del mismo principio que en la máquina de Atwood. Para esto, equilibrada la masa P por un contrapeso casi igual, se le carga con otra masa adicional. Cuando el peso P, asi cargado, ha caido de cierta altura, un anillo que le deja pasar, detiene á esta masa adicional. Hecha ya entonces uniforme la velocidad, termina el experimento conforme se ha dicho mas arriba. Se procura que la masa P pese algo mas que el contrapeso, á fin de vencer los rozamientos.

55. **Formulas relativas al descenso de los cuerpos.**—La tercera ley del descenso de los graves (52) se puede representar por la fórmula $v=gt$, y la segunda por $e=\frac{1}{2}gt^2$. En efecto, sean g la velocidad adquirida, al cabo de un segundo, por un cuerpo que cae en el vacio, y v su velocidad despues de t segundos; como las velocidades son proporcionales á los tiempos, resulta $\frac{v}{g}=\frac{t}{1}$, de donde $v=gt$ [1].

Para obtener la fórmula $e=\frac{1}{2}gt^2$, obsérvese que un cuerpo que está cayendo durante t segundos, con movimiento uniformemente acelerado, cuya velocidad inicial es nula, y la final $v=gt$, recorre necesariamente el mismo espacio que si estuviese descendiendo durante el mismo tiempo, con movimiento uniforme y una velocidad media entre las velocidades cero y gt, es decir, con la velocidad $\frac{1}{2}gt$; pues sabido es que la media entre dos cantidades no es otra cosa mas que su semi-suma. Siendo uniforme el movimiento en este último caso, el espacio recorrido es igual al producto de la velocidad por el tiempo (32); y representando por e este espacio, se tiene, pues,

$$e=\frac{1}{2}gt\times t, \text{ ó } e=\frac{1}{2}gt^2 \text{ [2].}$$

Si en la fórmula [2] se hace $t=1$, resulta $e=\frac{1}{2}g$, de donde $g=2e$; es decir, que *la velocidad adquirida al cabo de la unidad de tiempo es doble del espacio recorrido en el mismo tiempo.*

En la fórmula [1] la velocidad v está espresada en funcion del tiempo; pero se puede espresar tambien en funcion del espacio recorrido, eliminando t entre las fórmulas [1] y [2]. Con este objeto, se deduce de la primera $t=\frac{v}{g}$, de donde $t^2=\frac{v^2}{g^2}$. Sustituyendo este valor de t^2 en la fórmula [2], se tiene $e=\frac{1}{2}g\times\frac{v^2}{g^2}$, ó bien $e=\frac{v^2}{2g}$, suprimiendo el factor comun g. Multiplicando por $2g$ los dos miembros de esta igualdad, resulta $v^2=2ge$, y estrayendo por último la raiz cuadrada, $v=\sqrt{2ge}$ [3].

De esta última fórmula se deduce que *cuando un cuerpo cae en el vacio, la velocidad adquirida en un instante dado, es proporcional á la raiz cuadrada de la altura del descenso.*

Obtenidas las fórmulas $v=gt$ y $e=\frac{1}{2}gt^2$, considerando la gravedad como una fuerza aceleratriz constante, y por consiguiente, en el caso en que el movimiento es uniformemente acelerado, se las puede considerar como las fórmulas generales de este género de movimiento. No hay mas sino que siendo g el aumento de velocidad comunicado en cada segundo por la fuerza aceleratriz, varia el valor de esta cantidad g con la intensidad de la fuerza.

56. **Causas que modifican la intensidad de la gravedad.**—Tres son las causas que hacen variar la intensidad de la gravedad, á saber: la elevacion sobre el nivel del suelo, el achatamiento de la tierra y la fuerza centrífuga.

1.° Como la atraccion terrestre se ejerce cual si toda la masa del globo estuviese reunida en su centro, y como esta atraccion actúa en razon inversa del cuadrado de la distancia (37 y 38), claro es que la intensidad de la gravedad ha de crecer ó disminuir, segun se acer-

quen ó se alejen los cuerpos de la superficie de la tierra. Con todo, esta variacion no es sensible en los fenómenos que se observan en la superficie de nuestro globo, porque siendo su radio medio de 6.367,400 metros, queda sensiblemente la misma intensidad de la gravedad, cuando un cuerpo sube ó baja algunos centenares de metros. Mas para alturas de caida mas considerable, ya no puede mirarse como constante la gravedad. Conviene, pues, observar que las leyes de la caida de los graves enunciadas en el número 52 no deben de ser admitidas sino para los cuerpos que caen de corta altura.

2.° La intensidad de la gravedad se modifica tambien por el aplanamiento de la tierra en sus dos polos; porque hácia aquellas regiones, los cuerpos se hallan mas próximos al centro del esferoide, y por consiguiente, están mas atraidos.

3.° La tercera causa que modifica la intensidad de la gravedad, es la *fuerza centrífuga*. Tal es el nombre que se dá á la fuerza que se desarrolla por el movimiento curvilíneo, y en virtud de la cual las masas animadas de este movimiento tienden á alejarse del eje de rotacion. Demuéstrase en mecánica que la fuerza centrífuga es proporcional al cuadrado de la velocidad de rotacion, de donde resulta que, bajo un mismo meridiano, crece esta fuerza á medida que nos aproximamos al Ecuador, en cuyo sitio llega á su máximum, porque allí es donde hay tambien mayor velocidad. En el polo, la fuerza centrífuga es nula.

En el Ecuador, la fuerza centrífuga es directamente opuesta á la gravedad, é igual á 1/289 de su intensidad. Como 289 es el cuadrado de 17; se deduce de aquí que si el movimiento de rotacion de la tierra fuese 17 veces mas rápido, la fuerza centrífuga, que es proporcional al cuadrado de la velocidad, llegaria á ser en el Ecuador 289 veces mas intensa de lo que es, es decir, igual á la gravedad, y de consiguiente, los cuerpos no pesarian. Si aun fuera mas veloz el movimiento de rotacion, aquellos serian lanzados al espacio por efecto de la fuerza centrífuga.

Cuando se avanza del Ecuador á los polos, la gravedad está cada vez menos debilitada por efecto de la fuerza centrífuga; en primer lugar, porque esta última fuerza decrece en el mismo sentido; y además, porque en el Ecuador es directamente opuesta á la gravedad, mientras que, avanzando hácia los polos, su direccion se inclina cada vez mas con relacion á la de la gravedad. Tal es lo que demuestra la figura 36, en la que PP′ representa el eje de rotacion de la tierra, y EE′ el Ecuador terrestre. En un punto cualquiera E′ de este círculo, la fuerza centrífuga sigue la direccion CE′, y no tiene mas objeto que disminuir la intensidad de la gravedad, pero en un punto *a*, mas cercano al polo, estando representada la fuerza centrífuga por una recta *ab* perpendicular al eje PP′, mientras que la gravedad obra siguiendo la línea *a*C, se nota que esta última fuerza no es ya directamente opuesta á la cen-

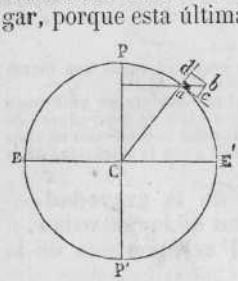


Fig. 36.

trífuga, sino tan solo á su componente *ad*, que es tanto menor con relacion á *ab*, cuanto mas cerca del polo se encuentra el punto *a*.

56—P. Vamos ahora á demostrar la relacion que hay entre la fuerza centrífuga y la masa, velocidad, radio y tiempo que la determinan.

Supongamos (fig. 37) una molécula material *m*, sujeta á la estremidad de un cordon inestensible C*m*, fijo en el punto C, alrededor del cual puede girar solicitada por la fuerza instantánea *md*. Esta molécula no puede obedecer libremente á la fuerza *md* á causa de la resistencia del cordon, que podremos representar por *ma*, sino que sigue la diagonal *mb* del paralelógramo *abdm* construido sobre las intensidades de las fuerzas. Pero en virtud de la fórmula del movimiento uniforme (32), tenemos que $mb = vt$, y por consiguiente, $\overline{mb}^2 = v^2t^2$ [1]; ahora, por la construccion de la figura, resulta que: $am : mb :: mb : pm$, ó bien $\overline{mb}^2 = am \,.\, pm$, y por consiguiente, $\overline{mb}^2 = am \,.\, 2R$; cuyo valor, sustituido en la fórmula [1], nos dá: $am \,.\, 2R = v^2t^2$, ó bien $am = \frac{v^2t^2}{2R}$ [2]. Si la molécula *m* tan solo estuviese solicitada por la fuerza constante *am*, recorreria este espacio con movimiento uniformemente acelerado, y tendríamos (55) $am = \frac{1}{2}ft^2$, llamando *f* á la fuerza constante, igual y contraria á la *mh*, que es la fuerza centrífuga que se desarrolla en este movimiento circular, tendiendo á romper el cordon. Sustituyendo ahora el valor de *am* en la fórmula [2], resulta: $\frac{1}{2}ft^2 = \frac{v^2t^2}{2R}$, y simplificando, $f = \frac{v^2}{R}$ [3], que es el valor de la fuerza centrífuga.

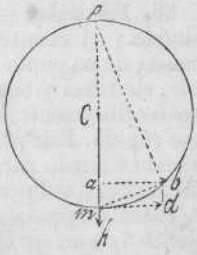


Fig. 37.

Si el espacio recorrido por la molécula *m* fuese la circunferencia *mpb*, segun las fórmulas citadas del movimiento uniforme, tendríamos: $v = \frac{2\pi R}{t}$, ó bien $v^2 = \frac{4\pi^2R^2}{t^2}$; y sustituyendo este valor de v^2 en la fórmula [3], resulta: $f = \frac{4\pi^2R^2}{Rt^2}$, ó bien $f = \frac{4\pi^2R}{t^2}$ [4].

Observemos ahora que si, en vez de considerar una sola molécula, tuviésemos que considerar *n* moleculas, ó sea la masa M, los dos miembros de la ecuacion [4] se harian M veces mayores, y tendríamos: $F = \frac{4\pi^2RM}{t^2}$. Para una masa diferente M′, tendríamos: $F' = \frac{4\pi^2R'M'}{t'^2}$: y dividiendo una por otra estas dos últimas ecuaciones, resulta: $F : F' :: \frac{MR}{t^2} : \frac{M'R'}{t'^2}$; lo cual nos dice la relacion que existe entre dos fuerzas centrífugas.

57. **Medida de la intensidad de la gravedad.**—Supuesto que en un mismo sitio y para alturas poco considerables podemos suponer que

la gravedad es una fuerza aceleratriz constante, se toma por medida de su intensidad la velocidad que imprime, en un segundo, á los cuerpos que caen en el vacío (55), sin atender á la masa, porque en el vacío todos los cuerpos caen con igual velocidad (52).

Esta velocidad se representa en general por la letra *g*; crece del Ecuador al polo, y en Paris es igual á $9^m,8088$. Muy pronto se verá cómo se determina, en cada lugar, por medio del péndulo.

58. **Péndulo.** — Distínguense dos especies de péndulos, á saber: el simple y el compuesto. El *péndulo simple, ó péndulo ideal*, es el que consta de un punto material pesado, suspendido por un hilo inestensible, sin masa y sin peso, de un punto fijo, á cuyo alrededor pudiese *oscilar* libremente, es decir, tomar un movimiento de vaiven mas ó menos rápido. Este péndulo no es realizable, sino puramente teórico, sirviendo tan solo para determinar, por medio del cálculo, las leyes de las oscilaciones del péndulo.

Péndulo compuesto es todo cuerpo que puede oscilar alrededor de un punto ó de un eje fijo. Cuando el péndulo oscila alrededor de un punto, toma este el nombre de *centro de suspension;* y si se verifica el movimiento alrededor de una recta horizontal, esta recta se llama *eje de suspension*. El péndulo compuesto es el único que se puede construir; se le dan las formas que se quiere, pero, en general, consiste en una masa metálica, lenticular ó esférica, suspendida de una varilla móvil alrededor de un eje horizontal; tales son las péndolas de los relojes, y el péndulo P representado en la fig. 25.

Los péndulos compuestos se hallan suspendidos, bien por medio de una cuchilla análoga á la de las balanzas (fig. 22), ó bien mediante una lámina de acero, delgada y flexible, que se encorva ligeramente á cada oscilacion.

Para darse cuenta del movimiento oscilatorio del péndulo, consideremos primero un péndulo simple *c*M, en el cual sea M el punto material, y *c* el centro de suspension (fig. 38). Cuando el punto M se encuentra debajo del *c*, en la vertical que pasa por este punto, queda destruida la accion de la gravedad; mas si el punto M se traslada á *m*, su peso P se descompone en dos fuerzas, dirigida la una en la prolongacion *m*B del hilo, y la otra siguiendo la tangente *m*D al arco *m*M*n*. La componente *m*B se destruye por la resistencia del punto *c*, mientras que la otra componente *m*D solicita al punto material á bajar de *m* á M. Llegado á este último punto, no se para el péndulo, porque, en virtud de su inercia, es arrastrado en la direccion M*n*.

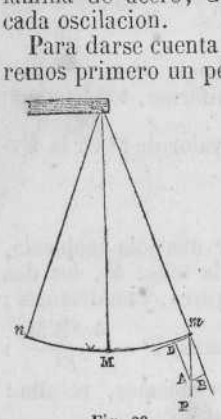


Fig. 38.

Si se repite la misma construccion en un punto cualquiera del arco M*n*, se reconoce que la gravedad que, de *m* á M, obró como fuerza aceleratriz, obra, de M á *n*, como fuerza retardatriz. Ella quita, pues, sucesivamente al móvil la velocidad adquirida durante el descenso, haciendo disminuir esta última en la misma can-

tidad que aumentó de *m* á M, de suerte que se destruirá por completo, luego que llegue el péndulo á *n*, encima de la posicion M, á la misma altura que el punto *m*. Volviendo entonces de nuevo el péndulo de *n* hácia M, se reproduce la misma série de fenómenos, tendiendo así aquel á oscilar eternamente, describiendo arcos iguales en ambos lados del punto M. Pero nunca sucede esto en la práctica, porque hay dos causas que sin cesar contribuyen á entorpecer el movimiento y aun á destruirlo: la primera es la resistencia del medio en que se mueve el péndulo, y la segunda el rozamiento que sufre en el eje de suspension.

59. **Leyes de las oscilaciones del péndulo.** — Se llama *oscilacion* el paso del péndulo de una posicion estrema *m* á la otra posicion estrema *n*. El arco *mn* es la *amplitud* de la oscilacion. Por fin, la *longitud* del péndulo simple es la distancia del punto de suspension *c* al punto material M.

Demuéstrase, en mecánica racional, que las oscilaciones del péndulo simple se hallan sometidas á las cuatro leyes siguientes:

1.ª *Para un mismo péndulo, las oscilaciones pequeñas son isócronas*, es decir, que se verifican muy sensiblemente en tiempos iguales, mientras sus amplitudes no pasen de ciertos límites, de 2 ó 3 grados cuando mas. El cálculo enseña que la resistencia del aire aumenta la duracion de las oscilaciones, á causa de la pérdida de peso que esperimenta el cuerpo en el aire, pero que el isocronismo persiste en el aire lo mismo que en el vacío, y tan solo, por disminuir la amplitud de las oscilaciones, el péndulo concluye por pararse.

Galileo fué el primero en descubrir el isocronismo de las pequeñas oscilaciones del péndulo. Cuéntase que hizo este descubrimiento, cuando jóven, un dia que estaba observando cómo se movia una lámpara suspendida de la bóveda de la catedral de Pisa.

2.ª *Para péndulos de igual longitud, no varía la duracion de las oscilaciones, sea cual fuere la sustancia de que esté formado el péndulo.* Es decir, que varios péndulos simples, cuyo punto material sea de corcho, de plomo ó de oro, ejecutan el mismo número de oscilaciones en el mismo tiempo, siempre que sus longitudes sean iguales.

3.ª *Para péndulos desiguales, la duracion de las oscilaciones es proporcional á la raiz cuadrada de la longitud.* Esto es, si la longitud de un péndulo es 4, 9, 16..... veces mayor, la duracion de las oscilaciones no lo será mas que 2, 3, 4.....

4.ª *En diferentes lugares de la tierra, la duracion de las oscilaciones, para péndulos de igual longitud, está en razon inversa de la raiz cuadrada de la intensidad de la gravedad.*

Estas leyes se deducen de la fórmula $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, obtenida sin mas que aplicar el cálculo al movimiento del péndulo simple. En esta fórmula, t representa la duracion de una oscilacion, l la longitud del péndulo, g la intensidad de la gravedad, es decir, la velocidad adquirida, al cabo de un segundo, por un cuerpo que cae en el vacío (57). En cuanto á π, es una cantidad constante que representa la relacion de la circunferencia al diámetro, y vale, segun demuestra la geometría, 3,141592.....

Las dos primeras leyes del péndulo se deducen inmediatamente de la fórmula $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$;

porque no conteniendo esta fórmula ni la amplitud de la oscilacion, ni la densidad de la sustancia de que está formado el péndulo, el valor de t es independiente de estas dos cantidades.

Por lo que toca á las leyes tercera y cuarta, están igualmente comprendidas en la fórmula, porque debajo del radical entra l como numerador y g como denominador.

60. Longitud del péndulo compuesto. — Las leyes y las fórmulas arriba indicadas se aplican tambien al péndulo compuesto; pero en tal caso hay que definir lo que se entiende por *longitud* de este péndulo. Para esto, observemos que constando todo péndulo compuesto de una varilla pesada terminada por una masa mas ó menos considerable, los diversos puntos materiales de este sistema tienden, en virtud de la tercera ley del péndulo, á describir sus oscilaciones en tiempos tanto mas largos, cuanto mas distan del punto de suspension. Como todos estos puntos se hallan invariablemente enlazados entre sí, necesariamente se verifican sus oscilaciones en el mismo tiempo. Resulta de todo esto, que se encuentra retardado el movimiento de los puntos mas próximos al eje de suspension, al paso que se encuentra acelerado el de los puntos que están mas separados del mismo. Entre estas dos posiciones estremas hay, por consiguiente, puntos que no están ni acelerados, ni retardados, y que oscilan cual si no estuviesen enlazados con el resto del sistema. Encontrándose estos puntos equidistantes del eje de suspension, su conjunto constituye un *eje de oscilacion* paralelo al primero. La distancia entre estos dos ejes es la *longitud del péndulo compuesto*. Es decir, que *la longitud de un péndulo compuesto es la del simple que produciria sus oscilaciones en el mismo tiempo.*

El eje de oscilacion goza de la propiedad de ser recíproco del de suspension; es decir que, suspendiendo el péndulo por su eje de oscilacion, no varía la duracion de las oscilaciones, con lo cual se demuestra que no se modificó la longitud. Esta propiedad, demostrada la primera vez por Huygens, físico holandés, dá el medio de encontrar esperimentalmente la longitud del péndulo compuesto. Con este objeto, se invierte el péndulo y se le suspende, por medio de un eje móvil, que se coloca, despues de algunos tanteos, de manera que el número de las oscilaciones en el mismo tiempo, sea el mismo que antes de la inversion. Obtenido este resultado, la longitud que se busca, es la distancia del segundo eje de suspension al primero. Si se sustituye el valor así obtenido, en vez de l, en la fórmula del péndulo simple, se hace esta aplicable al compuesto, sucediendo lo propio con las leyes de las oscilaciones.

La longitud del péndulo que *bate segundos*, es decir, que tarda en cada oscilacion 1″, varía con la intensidad de la gravedad; ella es:

En el Ecuador..	$0^m,990925$
En Paris.	$0^m,993846$
A 10º del polo..	$0^m,995924$ (1).

61. Comprobacion de las leyes del péndulo. — No se pueden comprobar las leyes del péndulo simple sino por medio del compuesto,

(1) En Madrid, segun Ciscar, es de 0m,992897. (*N. de J. M. P.*)

cuidando de construir este de manera que satisfaga, lo mas posible, las condiciones del primero. Para esto, se suspende, de la estremidad de un hilo fino, una esferita de una sustancia muy densa, de plomo ó de platino, por ejemplo. Formado así el péndulo, oscila sensiblemente como si fuese simple y de longitud igual á la distancia que media desde el centro de la esferita al punto de suspension.

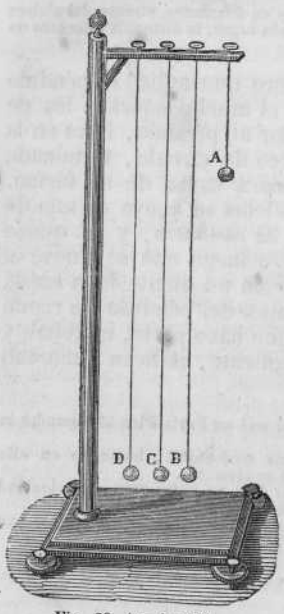


Fig. 39. (a=1m,55).

Para comprobar la ley del isocronismo de las oscilaciones pequeñas, se hace oscilar el péndulo así construido, y se cuenta el número de oscilaciones que ejecuta en tiempos iguales, cuando la amplitud es sucesivamente de 3, de 2 ó de 1 grado. De esta suerte se observa que el número de oscilaciones es constante.

Para demostrar la segunda ley, se toman muchos péndulos B, C, D (fig. 39), construidos de la misma manera que el anterior, de longitudes iguales, y terminados por esferas del mismo diámetro, pero de diferentes sustancias, por ejemplo, de plomo, de cobre y de marfil. Se observa que, despreciando la resistencia del aire, describen todos estos péndulos, en el mismo tiempo, igual número de oscilaciones; de donde se deduce que la gravedad obra en todas las sustancias con igual intensidad, segun ya sabíamos (52).

Nos cercioramos de la tercera ley haciendo oscilar péndulos cuyas longitudes son respectivamente 1, 4, 9....., y se nota que los números de oscilaciones correspondientes son como 1, $1/2$, $1/3$....., lo cual demuestra que su duracion es sucesivamente 1, 2, 3.....

La cuarta ley no se puede demostrar directamente de un modo esperimental.

62. **Usos del péndulo.** — El péndulo sirve para comprobar, segun acaba de verse en el párrafo anterior, que la gravedad solicita á todos los cuerpos con igual intensidad. Sirve tambien para determinar la intensidad de la gravedad, en los diferentes puntos de nuestro globo, y por consiguiente, la forma de este, la masa de las montañas y la densidad de la tierra. El isocronismo de sus oscilaciones le recomienda como regulador de los relojes. Recientemente, por último, le ha hecho servir M. Foucaud para la demostracion esperimental del movimiento de rotacion diurna de la tierra.

Para medir la intensidad de la gravedad (57) por medio del péndulo, se resuelve la ecuacion $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (59) con relacion á g. Elevando los dos miembros al cuadrado, resulta

$t^2 = \pi^2 \frac{l}{g}$; multiplicando por g, y dividiendo en seguida por t^2, se obtiene $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$. En donde se vé que para conocer g, hay que principiar midiendo la longitud l de un péndulo compuesto (60), y luego la duracion t de sus oscilaciones; cuyo último valor se saca buscando cuántas oscilaciones dá en un número conocido de segundos, y dividiendo este por el número de oscilaciones.

Operando de esta suerte se ha determinado el valor de g en diferentes puntos del globo; y por cálculo, se deduce en seguida del valor de g, en cada lugar, la distancia al centro de la tierra, y por lo mismo la forma de esta.

El físico holandés Huyghens fué el primero que aplicó el péndulo como regulador en los relojes, en 1657, y el muelle espiral á los de bolsillo, en 1675. Cuando sirve de regulador el péndulo, lleva en la parte superior de su varilla una pieza en arco de círculo, terminada por dos paletas, y llamada *escape de áncora* á causa de su forma. Puesto en reposo el péndulo, una de las paletas se apoya en uno de los dientes de una rueda denominada *rueda de encuentro*, y se queda parado todo el movimiento de relojería. Pero luego que se mueve el péndulo, la paleta deja pasar en cada oscilacion un diente de la rueda de encuentro. Por ser isócronas las oscilaciones del péndulo, la rueda de encuentro y el mecanismo del reloj, de que hace parte, marchan y se paran á intervalos iguales, y por consiguiente, indican ó marcan divisiones iguales de tiempo.

63. **Problemas sobre la gravedad.**—I. ¿Cuál será en Paris á los 45 segundos la velocidad de un cuerpo que cae libremente en el vacío?

Este problema se resuelve por medio de la fórmula $v = gt$ (55), haciendo en ella $g = 9\text{m},8088$ (57) y $t = 45''$; lo cual dá $v = 9\text{m},8088 \times 45 = 441\text{m},396$.

A una latitud diferente de la de Paris, como ya el valor de g no es 9m,8088, la velocidad adquirida por el cuerpo que cae será mayor ó menor que 441m,396.

II. ¿Cuánto tiempo ha de estar cayendo en Paris un cuerpo para adquirir en el vacío una velocidad de 600 metros, que es la de una bala de cañon?

De la fórmula $v = gt$, sale $t = \frac{v}{g}$, y reemplazando v y g por sus valores, sale

$$t = \frac{600}{9{,}8088} = 61'',16.$$

III. ¿Cuánto tiempo necesita un cuerpo para caer en el vacío de una altura de 1000 metros?

De la fórmula $e = \frac{1}{2} gt^2$ (52), se deduce $t = \sqrt{\frac{2e}{g}} = \sqrt{\frac{2000}{9{,}8088}} = 14'',28.$

IV. ¿De qué altura deberá caer un cuerpo en el vacío para adquirir una velocidad de 300 metros?

La fórmula $v^2 = 2ge$ (55), dá $e = \frac{v^2}{2g} = \frac{90{,}000}{2.9{,}8088} = 4587\text{m},7.$

V. Sobre un plano inclinado, cuya longitud AB (fig. 33) es igual á 1000 metros, y la altura BC á 5, ¿cuál es el esfuerzo necesario para arrastrar un peso de 2500 quilógramos, prescindiendo del rozamiento?

Representando por P el peso y por F la fuerza que se busca, se obtiene (53) la igualdad

$$\frac{F}{P} = \frac{BC}{AB}, \text{ de donde } F = \frac{P \times BC}{AB} = \frac{2500 \times 5}{1000} = 12\text{q},500.$$

VI. Lanzado verticalmente un proyectil de abajo arriba, en el vacío, con una velocidad inicial de 245m,22, se pregunta: ¿cuánto tiempo tardará el móvil para principiar á caer, y á qué altura llegará?

Sean a la velocidad inicial comunicada al móvil, y t la duracion de la subida; la gravedad que obra durante este tiempo como fuerza retardatriz, disminuye la velocidad a en una

cantidad igual á g en un segundo, y en una cantidad gt al cabo de t segundos; se tiene, pues, en el momento en que el cuerpo se para $gt = a$, de donde $t = \frac{a}{g} = \frac{245,22}{9,8088} = 25''$.

Para calcular la altura á que sube el móvil, nótese que, como durante su ascenso la gravedad le quitaba gradualmente la velocidad que le comunicaria en un tiempo igual, si cayese, es preciso que tarde el cuerpo en subir á su mayor altura e, precisamente el tiempo que tardaria en descender de ella. La altura de ascenso puede calcularse, pues, por la fórmula $e = \frac{1}{2} gt^2$ (55), que dá $e = 4,9044 \times 625 = 3065m,25$.

CAPITULO IV.

FUERZAS MOLECULARES.

64. Naturaleza de las fuerzas moleculares.—Los fenómenos que ofrecen los cuerpos manifiestan que sus moléculas están constantemente solicitadas por dos fuerzas contrarias, de las cuales la una tiende á aproximarlas y la otra á separarlas. La primera, que lleva el nombre de *atraccion molecular*, no varía, para un mismo cuerpo, mas que con la distancia; y la segunda, debida al calor, se modifica con la intensidad de este agente y con la distancia. De la mútua relacion entre estas fuerzas y de la orientacion que imprimen á las moléculas resulta el estado sólido, líquido ó gaseoso (5).

La atraccion molecular no se ejerce mas que á distancias infinitamente pequeñas. Su efecto es nulo á toda distancia sensible, lo cual la distingue de la gravedad y de la gravitacion universal, que actúan á todas las distancias. Ignóranse las leyes que sigue.

Segun se considere la atraccion molecular, así se la designa con los nombres de *cohesion*, de *afinidad* ó de *adhesion*.

65. Cohesion.—La *cohesion* es la fuerza que enlaza entre sí las moléculas semejantes, es decir, de igual naturaleza, dos moléculas de agua, por ejemplo, ó dos moléculas de hierro. Esta fuerza es casi nula en los gases, débil en los líquidos, y muy grande en los sólidos. Su intensidad decrece cuando aumenta la temperatura, mientras que entonces aumenta la fuerza repulsiva debida al calórico. Por esto, cuando se calientan los cuerpos sólidos, acaban por liquidarse, y hasta por pasar al estado de fluido aeriforme.

La cohesion varía, no solo con la naturaleza de los cuerpos, sino tambien con la colocacion de sus moléculas, como sucede en el cocido de las arcillas y en el temple del acero. A las modificaciones de la cohesion hay que atribuir muchas propiedades de los cuerpos, tales como la tenacidad, la ductilidad y la dureza.

En los líquidos tomados en grandes masas, la gravedad supera á la cohesion; por eso, como obedecen sin cesar los líquidos á la primera fuerza, no afectan ninguna forma particular, tomando siempre la de los vasos que los contienen. Pero, en pequeñas masas, la cohesion se hace superior, y los líquidos afectan entonces la forma esferoidal. Tal es lo que sucede en las gotas de rocío suspendidas de las hojas de las plantas, observándose tambien el mismo fenómeno cuando se derrama

sobre una superficie plana y horizontal un líquido que no la moja, como mercurio sobre madera. El esperimento puede hacerse igualmente con el agua, si de antemano se ha proyectado sobre la superficie finísimo polvo, por ejemplo, de negro de humo.

66. **Afinidad.**—La *afinidad* es la atraccion que se ejerce entre sustancias heterogéneas; en el agua, por ejemplo, que está formada por dos átomos de hidrógeno por uno de oxígeno, la afinidad es la que une estos dos cuerpos; pero la cohesion es la que une dos moléculas de agua. Es decir, que en los cuerpos compuestos obran simultáneamente la cohesion y la afinidad, mientras que en los simples no se deja sentir mas que la primera.

A la afinidad hay que referir todos los fenómenos de combinaciones y de descomposiciones químicas.

Toda causa que tiende á debilitar la cohesion aumenta la afinidad. En efecto, favorecen á esta última fuerza el estado de division, lo propio que los estados líquido ó gaseoso. Desarróllase, sobre todo, en el *estado naciente*, es decir, en el estado en que se halla un cuerpo cuando, al desprenderse de una combinacion, queda aislado y libre para obedecer á las mas débiles afinidades. Por último, la afinidad presenta efectos muy variables, segun la elevacion de temperatura. En ciertos casos favorece el calor las combinaciones, separando las moléculas y disminuyendo la cohesion. Entre el azufre y el oxígeno, por ejemplo, queda sin efecto la afinidad á la temperatura ordinaria, mientras que á una elevada se combinan estos cuerpos, dando orígen á otro compuesto muy estable, que es el ácido sulfuroso. En otros casos, al contrario, el calor destruye las combinaciones, comunicando á sus elementos una desigual espansion. Tal es lo que les sucede á muchos óxidos metálicos que se descomponen por la accion del fuego.

67. **Adhesion.**—Dáse el nombre de *adhesion* á la atraccion molecular que se manifiesta entre los cuerpos en contacto. Dos cristales, por ejemplo, que se hallan superpuestos, se adhieren al fin de tal manera, que no es posible separarlos sin romperlos. Esta fuerza aparece, no solo entre los sólidos, sino tambien entre estos y los líquidos y entre los mismos y los gases.

La adhesion entre los sólidos no es un efecto de la presion atmosférica, porque se observa en el vacío. Crece con el grado de pulimento de las superficies y con la duracion de su contacto; pues, efectivamente, la resistencia que hay que vencer para separarlas es tanto mayor, cuanto mas prolongado ha sido el contacto. Por fin, la adhesion entre los cuerpos sólidos es independiente de su espesor, lo cual indica que la atraccion molecular no se ejerce mas que á pequeñísimas distancias.

Sumergidos los cuerpos sólidos en el agua, en el alcohol y en la mayor parte de los líquidos, salen recubiertos de una capa líquida sostenida por la adhesion.

Prodúcese entre los sólidos y los gases la misma adhesion que entre los sólidos y los líquidos. En efecto, si se introduce una lámina de vidrio ó de metal en el agua, se vé que aparecen en su superficie va-

rias burbujas de aire. Como en este caso el agua no penetra en los poros de la lámina, no pueden provenir estas burbujitas del aire que de ellos fuera espulsado. Se deben, por lo tanto, únicamente á una capa de aire que recubria la lámina y la *mojaba* á la manera de un líquido.

Pronto darémos á conocer, con los nombres de *capilaridad*, de *endósmosis*, de *absorcion* y de *imbibicion*, una série de fenómenos que reconocen tambien por causa la atraccion molecular.

CAPÍTULO V.

PROPIEDADES PARTICULARES DE LOS SOLIDOS.

68. **Diversas propiedades particulares.**—Despues de haber dado á conocer las principales propiedades comunes á los sólidos, á los líquidos y á los gases, tratarémos ahora de las mas notables, peculiares á los sólidos. Estas propiedades son : la *elasticidad de traccion*, la *elasticidad de torsion*, la *elasticidad de flexion*, la *tenacidad*, la *ductilidad* la *dureza*.

69. **Elasticidad de traccion.**—Hemos hablado ya de la elasticidad como propiedad general (19); pero solamente de la elasticidad desarrollada por presion. En los sólidos, no obstante, puede manifestarse tambien por traccion, por torsion y por flexion.

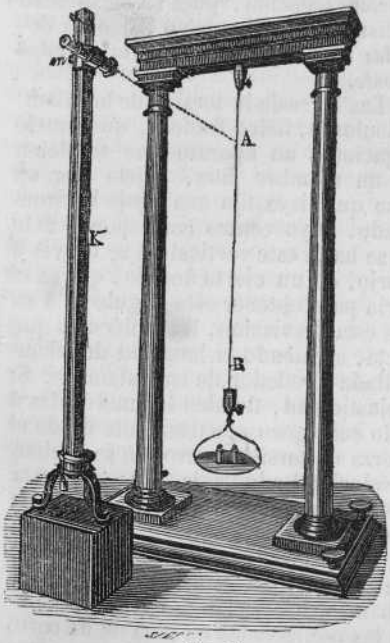


Fig. 40.

Para estudiar las leyes de la elasticidad de traccion, se servia Savart del aparato representado en la figura 40. Este aparato se compone de un montante de madera, del cual se suspenden las varillas ó los hilos que se van á examinar. Fíjase en su estremidad inferior un platillo destinado á recibir pesos, y se marcan en su longitud dos señales A y B, cuya distancia se mide exactamente por medio de un catetómetro, antes de cargar el platillo.

Dáse el nombre de *catetómetro* á una regla de cobre K dividida en milímetros, y que puede tomar una posicion vertical por medio de un pié con tornillos de nivelar. Un anteojo exactamente perpendicular á la regla, puede correr en el sentido de su longitud,

llevando un vernier que dá quincuagésimas de milímetro. Fijando sucesivamente este anteojo delante de los puntos A y B, como se vé en la figura, es como se obtiene en la escala graduada la distancia de dichos dos puntos. Colócanse en seguida pesas en el platillo, y midiendo de nuevo el intervalo entre los puntos A y B, se determina su prolongacion.

Mientras no se depase el límite de elasticidad, la traccion de las varillas y de los alambres está sometida á las tres leyes siguientes:

1.ª *Las varillas y los alambres tienen una elasticidad perfecta, es decir, que recobran exactamente su longitud primitiva así que cesa la traccion.*

2.ª *Para una misma sustancia y un mismo diámetro, la prolongacion es proporcional á la fuerza de traccion y á la longitud.*

3.ª *Para varillas ó alambres de igual longitud, de igual materia, pero de desigual grosor, las prolongaciones están en razon inversa de los cuadrados de los diámetros.*

El cálculo y la esperiencia demuestran que, cuando los cuerpos se alargan por traccion, aumentan en volúmen.

M. Wertheim, que ha hecho numerosas esperiencias sobre la elasticidad de los metales, ha demostrado que la elasticidad decrece de una manera contínua á medida que la temperatura se eleva desde 15° hasta 200°; el hierro y el acero hacen escepcion, pues su elasticidad aumenta hasta 100°, y en seguida disminuye. El mismo físico ha demostrado que, en general, *todas las causas que aumentan la densidad aumentan la elasticidad, y recíprocamente.*

70. **Elasticidad de torsion.**—Las leyes de la torsion de los alambres han sido determinadas por Coulomb, físico francés, que murió en 1806. Sirvióle en sus investigaciones un aparato que se llama *balanza de torsion*, compuesta de un alambre fino, sujeto por su parte superior, y tenso por un peso que lleva fija una aguja horizontal. Debajo hay un círculo graduado, cuyo centro corresponde á la prolongacion del alambre cuando se halla este vertical. Si se desvia á la aguja de su posicion de equilibrio, de un cierto ángulo, que es el *ángulo de torsion*, la fuerza necesaria para obtener este ángulo es á su vez la *fuerza de torsion*. Despues de esta desviacion, las moléculas que se hallaban dispuestas en línea recta, siguiendo la longitud del alambre, lo estan ahora en hélice arrollada alrededor de este alambre. Si no se ha traspasado el límite de elasticidad, tienden las moléculas á recobrar su primitiva posicion, y lo consiguen efectivamente desde el instante en que ya no obra la fuerza de torsion; pero no se limitan á esto, sino que, en virtud de su velocidad adquirida, traspasan esta posicion, dando orígen á una torsion en sentido contrario. Roto de nuevo el equilibrio, vuelve sobre sí mismo el alambre, no parándose la aguja en el cero del cuadrante, hasta despues de cierto número de oscilaciones á ambos lados de este punto.

Por medio del aparato que acabamos de describir, comprobó Coulomb que, cuando la amplitud de las oscilaciones no pasa de un corto número de grados, se hallan sometidas estas oscilaciones á las cuatro leyes siguientes:

1.ª *Ellas son muy sensiblemente isócronas.*

2.ª *Para un mismo alambre, el ángulo de torsion es proporcional á la fuerza de torsion.*

3.ª *Para una misma fuerza de torsion y alambres de igual diámetro, el ángulo de torsion es proporcional á la longitud de los alambres.*

4.ª *Para una misma fuerza y una misma longitud del alambre, el ángulo de torsion es inversamente proporcional á la cuarta potencia de los diámetros.*

71. Elasticidad de flexion. — Todos los sólidos tallados en láminas delgadas y fijos por una de sus estremidades, pueden recobrar, despues de haberse encorvado mas ó menos, su forma primera, luego que se hallan abandonados á sí mismos. Esta propiedad es muy sensible en el acero templado, en la goma elástica, la madera y el papel.

La elasticidad de flexion tiene numerosas aplicaciones en los arcos, en las ballestas, en los muelles de relojes y de carruajes, en las romanas y en los dinanómetros destinados á medir la fuerza de los motores. La elasticidad de la crin, de la lana y de la pluma se utiliza en los colchones y en las almohadas, que de tanto uso son en la economía doméstica.

Sea cual fuere la especie de elasticidad que se estudie, hemos observado ya (19) que siempre reconoce un límite, es decir, una separacion molecular, pasada la cual se rompen los cuerpos, ó por lo menos no recobran ya su forma primera. Muchas son las causas que pueden hacer variar este límite. Compruébase, en efecto, que la elasticidad de muchos metales crece por el *batido*, es decir, por la aproximacion de las moléculas, en frio, mediante la hilera, el laminador ó el martillo. Algunas sustancias, como el acero, la fundicion y el vidrio, se vuelven, en virtud de la *templadura* (76), mas elásticas y al propio tiempo mas duras.

Disminúyese, al contrario, la elasticidad por el *recocido*, operacion que consiste en dar á los cuerpos una temperatura menos elevada que para el temple, dejándoles luego que se enfrien lentamente. Merced al recocido, se gradúa á voluntad la elasticidad de los resortes. Como el vidrio calentado sufre un verdadero temple cuando se enfria con demasiada rapidez, para disminuir la fragilidad de los objetos fabricados recientemente con esta sustancia, se les recuece en un horno, alejándoles paulatinamente del foco.

72. Tenacidad. — La *tenacidad* es la resistencia que oponen los cuerpos á la traccion. Para evaluar esta fuerza, se dan á los cuerpos la forma de varillas cilíndricas ó prismáticas, y se las somete, en el sentido de su longitud, á una traccion medida en quilógramos, y suficiente para determinar la rotura.

La tenacidad es directamente proporcional á la fuerza que determina la rotura, é inversamente á la seccion trasversal de los hilos ó de los prismas. De los numerosos esperimentos que se han hecho en los metales, se ha deducido que la fuerza necesaria para la rotura es casi triple de la que corresponde al límite de elasticidad.

La tenacidad disminuye con la duracion de la traccion. Se com-

prueba, en efecto, que las varillas metálicas y otras ceden, trascurrido cierto tiempo, á cargas menores que las que serian necesarias para producir inmediatamente la rotura; pero en todos casos la resistencia á la traccion es menor que la resistencia á la presion.

No solo varía la tenacidad en cada sustancia, sino que, á igualdad de materia, se modifica con la forma de los cuerpos. Para secciones equivalentes, el prisma resiste menos que el cilindro. Para una cantidad dada de materia, el cilindro hueco es mas resistente que el macizo, encontrándose entonces el *máximum* de tenacidad cuando el radio esterior es al interior en la relacion de 11 á 5.

Para un mismo cuerpo, la forma influye lo mismo en la resistencia á la presion que á la traccion. En efecto, un cilindro hueco, á igualdad de masa y de altura, es mas resistente que otro sólido; de donde resulta que los huesos de los animales, las plumas de las aves, los tallos de las gramíneas y de otras muchas plantas, oponen mas resistencia que si estuvieran llenos, en el supuesto de que no varíe la masa.

Por fin, la tenacidad, lo propio que la elasticidad, varía para un mismo cuerpo, segun el sentido bajo el cual se la considere. En la madera, por ejemplo, la tenacidad y la elasticidad son mayores en la direccion de las fibras que en el sentido trasversal. Esta diferencia se observa generalmente en todos los cuerpos, cuya contestura no es igual en todas direcciones.

Pesos, en quilógramos, que determinan la rotura.

Metales.	Hierro en alambre.	60 quil.	p. milím. cuad.
	Hierro en barra.	45	—
	Plancha de hierro batido. . .	36 á 40	—
	Acero en barra.	30 á 40	—
	Fundicion de hierro.	14	—
	Cobre rojo laminado.	21	—
	Laton.	12,6	—
	Plomo laminado.	1.35	—
	Vidrio en varillas ó en tubos.	2 á 3	—
Maderas en el sentido de las fibras.	Boj.	1400 quil.	por cent. cuad.
	Fresno.	1200	—
	Abeto.	900	—
	Haya.	800	—
	Roble.	700	—

En la tabla que acabamos de dar, se suponen los cuerpos á la temperatura ordinaria, pues si esta aumenta, decrece rápidamente la tenacidad. M. Seguin mayor, que ha hecho recientemente investigaciones con el hierro y el cobre ha encontrado las siguientes tenacidades, en quilógramos, por milímetro cuadrado.

Hierro á 10°, 60q; á 370°, 54q; á 500°, 35q.
Cobre, 21q; — 7q,7; — .

73. **Dinamómetro de M. Perreaux.** — M. Perreaux, mecánico de Paris, ha construido recientemente un nuevo dinamómetro destinado á medir la tenacidad de los cuerpos. Este aparato consiste en un banco de fundicion P (fig. 41), sobre el cual se deslizan dos carretoncillos ó piezas móviles, cada una de las cuales lleva un muñon *a* y *b*. El primer carretoncillo está invariablemente enlazado con un resorte

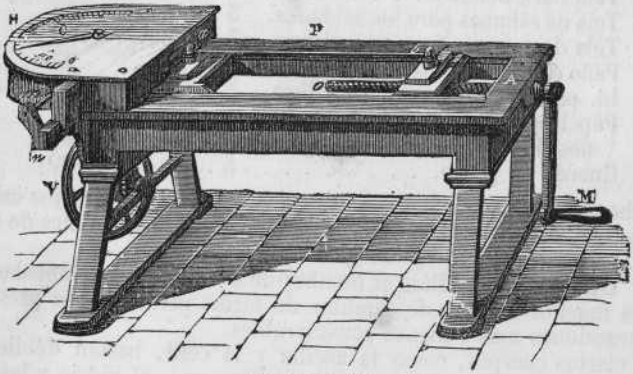


Fig. 41 (1=60).

de dos láminas curvas, encerrado en la caja H. Cuando se tira del muñon *a*, es arrastrado el carretoncillo que lo lleva, y al alargarse el resorte, trasmite el movimiento á una aguja C, que se mueve sobre un cuadrante, é indica en quilógramos la fuerza de traccion.

En cuanto al carretoncillo que lleva al segundo muñon *b*, ofrece en su parte inferior una tuerca, en la cual se introduce un tornillo *o*. Cuando se da vueltas al manubrio M de izquierda á derecha, dicho tornillo hace avanzar al carretoncillo y muñon *b* hácia la estremidad A del banco. El vástago *m*, situado en el lado del aparato, sirve para amortiguar la detencion del resorte que hay debajo del cuadrante. Si en el momento de la rotura se distendiese demasiado bruscamente este muelle, podria romperse; pero lo que hace es ejercer una presion sobre el vástago *m*, que obra sobre la pieza *n*, y esta trasmite su movimiento á un volante V, por medio de engranages: de manera que la fuerza viva absorbida por este volante es la que amortigua el retroceso del muelle.

Esto sentado, á fin de determinar la fuerza necesaria para romper un alambre ó cualquiera otra sustancia, se fija una de sus estremidades en el muñon *a*, y la otra en *b*. Dando vueltas entonces lentamente al tornillo, se estira el hilo, la aguja C marcha, y si se continúa girando hasta producir la rotura, la aguja indica en quilógramos la traccion que la ha determinado.

Esperimentando con el dinamómetro que acabamos de describir sobre tiras de tela de 40 centímetros de longitud por 5 de anchura, y sobre otras de paño de igual ancho, pero solo de 10 centímetros de

largo, se han obtenido recientemente en el ministerio de la guerra los siguientes resultados :

	Prolongacion en el momento de la rotura.	Tracciones que determinan la rotura.
Tela para velas ó lona.	2 centím. .	356 quil.
Tela para tiendas.	3	190
Tela de sábanas para los soldados.	3	120
Tela de camisas para los mismos.	3	100
Paño azul para colegio.	5	25
Id. para la prefectura de policía.	5	30
Papel para etiquetas en los caminos de hierro.	»	20
Cuerda de piano.	5	100

Dichos esperimentos demostraron que los paños de mejor calidad son los mas elástico, es decir, los que mas se alargan antes de romperse.

74. Ductilidad. — Dáse el nombre de *ductilidad* á la propiedad que poseen muchos cuerpos de cambiar de forma por efecto de presiones ó de tracciones mas ó menos considerables.

En ciertos cuerpos, como la arcilla y la cera, bastan débiles esfuerzos para cambiar su forma; en otros, v. gr., el vidrio y las resinas, se requiere además la accion del calor; y en los metales, se necesitan poderosos esfuerzos, como la percusion, la hilera ó el laminador.

La ductilidad toma el nombre de *maleabilidad* cuando se determina por medio del martillo. El metal mas maleable es el plomo, el mas dúctil al laminador el oro, y á la hilera el platino.

La gran ductilidad del platino permitió á Wollaston obtener alambres de este metal que no tenian mas que 1/1200 de milímetro de diámetro. Para conseguir este resultado, recubria aquel físico con plata un alambre de platino del diámetro de 1/4 de milímetro, formando así un cilindro de 5 milímetros de espesor, con solo el eje de platino. Tirando este cilindro á la hilera hasta que llegase á ser lo mas fino posible, se alargaban por igual los dos metales. Haciendo entonces hervir el alambre en ácido nítrico, se disolvia la plata, quedando solo el alambre de platino. Tan fino era este, que mil metros no pesaban mas que 5 centígramos.

75. Dureza. — La *dureza* es la resistencia que oponen los cuerpos á ser rayados ó desgastados por otros cuerpos.

Esta propiedad no es mas que relativa, porque un cuerpo, duro con relacion á una sustancia, es blando respecto de otra. Se distingue la dureza relativa de dos cuerpos buscando el que raya al otro sin ser rayado por él. Se ha averiguado de esta suerte que el diamante es el mas duro de todos los cuerpos, porque él los raya á todos y no es rayado por ninguno. Siguen luego despues el záfiro, el rubí, el cristal de roca, los pedernales, los grés, etc. Los metales en el estado de pureza son bastante blandos.

Las aleaciones son mas duras que sus metales. Al efecto, para aumentar la dureza del oro y de la plata, en la joyería y en la fabricacion de la moneda, se los alea con cobre.

La dureza de un cuerpo no está en relacion con su resistencia á la presion. El vidrio y el diamante son mucho mas duros que la madera, pero resisten mucho menos al choque del martillo.

Se utiliza la dureza de los cuerpos en los polvos para pulimentar, tales como el esmeril, la pomez y el trípoli. El diamante, por ser el mas duro de todos los cuerpos, no puede desgastarse ó pulimentarse sino por medio de polvo de otro diamante.

76. **Templadura.** — La *templadura* consiste en el enfriamiento brusco de un cuerpo que ha sufrido una alta temperatura. En esta operacion, adquieren gran dureza el acero y la fundicion, y con este objeto sobre todo se usa el temple. Todos los instrumentos cortantes son de acero templado. Pero hay cuerpos en los cuales produce el temple un efecto completamente opuesto. La aleacion de los *tantanes*, que se compone de una parte de estaño por cuatro de cobre, se hace dúctil y maleable sin mas que enfriarla bruscamente, y al contrario, se vuelve dura y frágil como el vidrio cuando se la enfria con lentitud.

LIBRO TERCERO.

DE LOS LIQUIDOS.

CAPITULO PRIMERO.

HIDROSTATICA.

77. **Objeto de la hidrostática.** — La hidrostática es la ciencia que tiene por objeto el estudio de las condiciones de equilibrio de los líquidos, y el de las presiones que trasmiten, ya en su masa, ya en las paredes de los vasos que los contienen.

La ciencia que trata del movimiento de los líquidos, se llama *hidrodinámica*, y la aplicacion de los principios de esta última ciencia al arte de conducir y de elevar las aguas, se designa especialmente con el nombre de *hidráulica*.

78. **Caractéres generales de los líquidos.** — Se ha visto ya (5) que los líquidos son cuerpos cuyas moléculas, á consecuencia de una suma movilidad, ceden al mas ligero esfuerzo que tiende á moverlas. Su fluidez no es, sin embargo, perfecta, porque se nota siempre entre sus moléculas una adherencia que determina una viscosidad mayor ó menor.

La fluidez de los líquidos se encuentra de nuevo, aunque en mas alto grado, en los gases; el carácter que distingue á estas dos especies de cuerpos, estriba en que los primeros se hallan dotados de una compresibilidad apenas sensible, mientras que los fluidos aeriformes son eminentemente compresibles y espansibles.

La fluidez de los líquidos se manifiesta por la facilidad con que toman estos cuerpos toda clase de formas, y su débil compresibilidad se demuestra por el siguiente esperimento.

79. **Compresibilidad de los líquidos.** — En vista del resultado del esperimento de los académicos de Florencia, que anteriormente hemos referido (15), se miraron por largo tiempo los líquidos como completamente incompresibles. Hiciéronse luego sucesivamente varias investigaciones sobre el mismo asunto, en Inglaterra, por Canton, en 1761, y por Perkins, en 1819; en Copenhague, por OErsted, en 1823; y en fin, en 1827, por los señores Colladon y Sturm. De estos diversos esperimentos resultó probado que los líquidos son realmente compresibles.

Los aparatos destinados á medir la compresibilidad de los líquidos, han recibido el nombre de *piezómetros*. Vamos á describir aquí el de OErsted, con las modificaciones que en él ha hecho M. Despretz. Este aparato se compone de un cilindro de cristal de paredes muy gruesas, y de un diámetro de 8 á 9 centímetros (fig. 42).

Este cilindro, que se halla completamente lleno de agua, está cerrado en su base por un pié de madera, en el cual se fija sólidamente con mástic, y en su parte superior se ajusta á una pieza cilíndrica de cobre tapada por un platillo, que se destornilla á voluntad. Este platillo lleva un embudo R, que sirve para introducir el agua en el cilindro, y un pequeño cuerpo de bomba en el cual hay un piston que cierra herméticamente, y que entra en movimiento por medio de un tornillo de presion P.

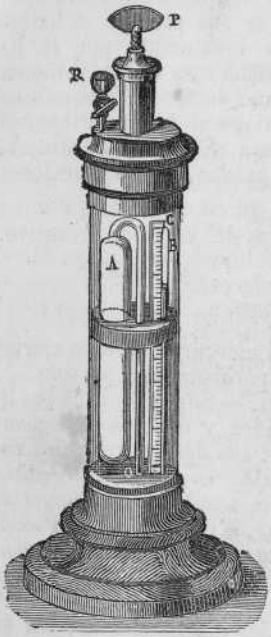


Fig. 42 (a=64).

Dentro del aparato se ve un reservatorio de vidrio A, lleno del líquido que se trata de comprimir. Termina en su parte superior por un tubo capilar, que se encorva y se introduce en un baño de mercurio O. Este tubo se encuentra dividido de antemano en partes de igual capacidad; y tambien se ha determinado el número de estas partes que contiene el reservatorio A; todo lo cual se obtiene buscando el peso P del mercurio que pueda contener el reservatorio A, y el peso p del de un cierto número n de divisiones del tubo capilar. Representando entonces por N el número de divisiones del tubito contenidas en el reservatorio, se tiene la igualdad

$$\frac{N}{n}=\frac{P}{p};$$

de donde se saca el valor de N.

Por último, en el interior del cilindro hay un *manómetro de aire comprimido*. Así es como se denomina un tubo de vidrio B, cuya estremidad superior esté cerrada, y la inferior, que está abierta, introducida en el baño de mercurio que se encuentra en el fondo del aparato. Cuando no se ejerce presion alguna sobre el agua que llena el cilindro, el tubo B está completamente lleno de aire; pero luego que por medio del tornillo P y del piston se comprime el agua del cilindro, la compresion se trasmite al mercurio que se eleva en el tubo B, comprimiendo el aire que contiene. Una escala graduada C, que hay á lo largo de este tubo, indica la reduccion del volúmen del aire, y en vista de esta reduccion se aprecia la presion que sufre el líquido del cilindro, conforme se demostrará al tratar del manómetro.

Ahora bien; para hacer esperimentos con el piezómetro, se principia llenando el reservatorio A del líquido que se ha de comprimir; y luego, por el embudo R se introduce el agua en el cilindro. Dando entonces vueltas al tornillo P de manera que haga descender al piston, ejerce este una presion sobre el agua y el mercurio del aparato,

y por efecto de esta presion, no solo sube este último líquido en el tubo B, sino tambien en el tubito capilar soldado al reservatorio A, conforme se vé en el dibujo. Este ascenso del mercurio en el tubo capilar, indica que el líquido del reservatorio ha disminuido de volúmen dando la medida de su contraccion, porque se sabe que el depósito contiene N de las divisiones graduadas en el tubo capilar.

Œrsted, en sus esperimentos, habia supuesto que la capacidad de reservatorio A permanecia invariable, porque sus paredes se hallaban esterior é interiormente comprimidas igualmente por el líquido (80). Pero el análisis matemático prueba que dicho volúmen disminuye por efecto de las presiones esterna é interna. Tomando en consideracion este cambio de capacidad, hicieron los esperimentos Colladon y Sturm, quienes encontraron, para una presion ordinaria de la atmósfera y á la temperatura de cero grados, las contracciones siguientes:

Mercurio.	5	millonésimas	del volúmen primitivo.
Agua destilada con aire. .	49	—	—
Id. sin aire.	51	—	—
Eter sulfúrico.	133	—	—

Observaron, además, para el agua y el mercurio, que en ciertos límites el decrecimiento del volúmen es proporcional á la presion.

80. **Principio de igualdad de presion.** — Suponiendo á los líquidos incompresibles, perfectamente fluidos y exentos de gravedad, se ha sentado el siguiente principio: *Los líquidos trasmiten con igualdad, en todos sentidos, las presiones ejercidas en un punto cualquiera de su masa.* Este principio se conoce con el nombre de *principio de igualdad de presion*, ó de *principio de Pascal*, por haber sido tan célebre escritor y geómetra (Blas Pascal) el primero que le formuló.

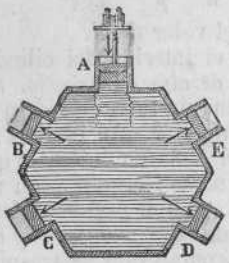


Fig. 43.

Para comprender este principio, sea un vaso de forma cualquiera, en cuyas paredes hay varias aberturas cilíndricas cerradas por pistones móviles. Si sobre el piston superior A (fig. 43) se ejerce de fuera adentro una presion cualquiera, de 20 quilógramos, por ejemplo, se trasmite instantáneamente esta presion á la cara interna de los pistones B, C..., que se ven impelidos de dentro á fuera por una presion 20, si su superficie es igual á la del primero; pero si sus superficies son dos, tres veces mayores, la presion trasmitida asciende á 40 ó 60 quilógramos, es decir, que crece proporcionalmente á la superficie.

Admítese generalmente el principio de igualdad de presion, como una consecuencia de la constitucion de los líquidos. Por medio del siguiente esperimento se puede demostrar que con efecto se trasmite la presion en todos sentidos, pero no que lo verifique con igualdad.

Un cilindro, en el cual se mueve un piston (fig. 44), está terminado por una esfera que lleva varios tubitos adicionales cilíndricos perpendiculares á su superficie. Llenos de agua la esfera y el cilindro, se empuja el émbolo, y el líquido salta por todos los orificios, y no simplemente por el opuesto al émbolo.

Si no es posible dar una demostracion esperimental satisfactoria del

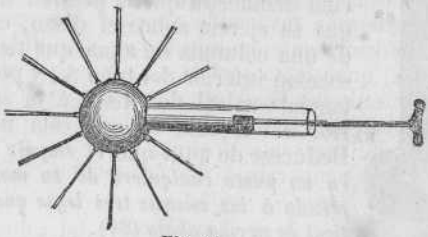


Fig. 44.

principio de igualdad de presion, depende de que en los esperimentos no está en nuestra mano hacer abstraccion del peso de los líquidos, ni del roce de los émbolos que trasmiten la presion.

PRESIONES DESARROLLADAS EN LOS LIQUIDOS POR LA GRAVEDAD.

81. **Presion vertical de arriba abajo; sus leyes.** — Si suponemos dividido en capas horizontales de igual espesor un líquido cualquiera que se halle en reposo en un vaso, es evidente que cada una sostiene el peso de las capas que existen sobre ella. La accion de la gravedad da orígen, pues, en la masa del líquido á presiones internas variables para cada punto. Estas presiones se hallan sometidas á las siguientes leyes generales :

1.ª *La presion, sobre cada capa, es proporcional á la profundidad.*

2.ª *Para una misma profundidad, en diferentes liquidos, es proporcional la presion á la densidad del liquido.*

3.ª *La presion es igual en todos los puntos de una misma capa horizontal.*

Como evidentes pueden admitirse las dos primeras leyes; y la tercera es una consecuencia de la primera y del principio de Pascal.

82. **Presion vertical de abajo arriba.** — La presion que las capas superiores de un líquido ejercen sobre las inferiores, origina en estas, de abajo arriba, una reaccion igual y contraria que es una consecuencia del principio de la trasmision de presion en todos sentidos (80). Esta presion de abajo arriba se designa con el nombre de *empuje de los liquidos*. Es muy sensible cuando se introduce la mano en un líquido, sobre todo si es tan denso como el mercurio.

Para comprobarla esperimentalmente, sirve un tubo de vidrio A abierto por sus dos estremidades (fig. 45). Despues de haber aplicado á su estremidad inferior un disco de vidrio O, que sirve de obturador, y que se sostiene primero por medio de un hilo C, se introduce el todo en el agua soltando luego el hilo. Queda entonces aplicado el obtura-

dor al tubo, lo cual indica ya que él sufre, de abajo arriba, una presion superior á su peso. Por último, si se echa lentamente agua en el tubo, el disco sostiene entonces el peso de este líquido, no cayendo hasta el momento en que el nivel del agua viene á ser en el interior sensiblemente el mismo que en el esterior, lo cual demuestra que la presion de abajo arriba que se ejercia sobre el disco, es igual al peso de una columna de agua que tiene por base la seccion interior del tubo A, y por altura la distancia vertical del disco á la superficie superior del líquido en que está metido el tubo. Dedúcese de aquí que el *empuje de los líquidos, en un punto cualquiera de su masa, se halla sometido á las mismas tres leyes que la presion vertical de arriba abajo* (81).

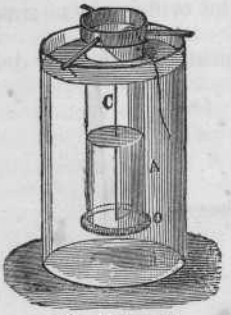


Fig. 45 (a=20).

83. La presion es independiente de la forma de las vasijas.—La presion que un líquido ejerce, en virtud de su peso, en un punto cualquiera de su masa ó en las paredes del vaso que le contiene, depende, como se ha visto mas arriba (81), de la profundidad y de la densidad del líquido, pero *ella es independiente de la forma del vaso.*

Basta demostrar este principio para la presion trasmitida al fondo de los vasos, pues la demostracion es la misma para una capa cualquiera del líquido. Sea, pues, un vaso cónico *am* (fig. 46) lleno de agua hasta *o*; para demostrar que, siendo iguales la profundidad y el fondo, la presion que el líquido ejerce es la misma, tanto si el vaso es cónico ó cilíndrico, como de otra forma, supongamos dividido el líquido en capas horizontales *ab, be, ei, ip, pr,* de un espesor tan pequeño como se quiera, y no consideremos en cada una de ellas mas que la masa cilíndrica figurada con líneas punteadas. En virtud del principio de Pascal (80), como la presion que la primera masa ejerce se trasmite á toda la seccion *bc*, es claro que esta sostiene una presion igual á la de una columna de agua que tuviese por base *bc*, y por altura la de la primera capa. En virtud del mismo principio, la presion ejercida sobre la seccion *ed*, es la misma que la de una columna líquida que tuviese por base esta seccion, y una altura igual á la suma de las alturas de las dos primeras capas, y así sucesivamente en las secciones *iq, pn,* de donde se deduce que el fondo está á su vez oprimido por el peso de una columna de agua, cuya base fuese este fondo, y la altura *om*, lo cual demuestra el principio. La misma demostracion seria aplicable si, siendo aun cónico el vaso, estuviese en una posicion inversa de la representada en la fig. 46.

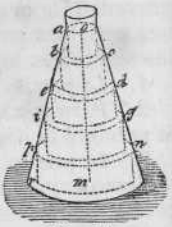


Fig. 46.

Se puede demostrar tambien de un modo esperimental, que la presion sobre el fondo de las vasijas es independiente de su forma, por

medio del siguiente aparato debido á M. de Haldat. Este aparato se compone de un tubo encorvado dos veces en ángulo recto ABC (figura 47), terminado en A por una llave de cobre, en cuyo tubo se pueden atornillar sucesivamente dos vasijas M y P, de igual altura, pero de forma y de capacidad diferentes, pues la primera es cónica y la segunda casi cilíndrica. Para hacer el esperimento, se principia por echar mercurio en el tubo ABC, de manera que su nivel no llegue enteramente á la llave A. Atorníllase entonces en el tubo la vasija M, que se llena de agua, y esta, por su peso, oprime al mercurio y le eleva en el tubo C, en el cual se marca su nivel por medio de una virola *a*, que puede correr á lo largo del tubo. Señálase al mismo tiempo el nivel del agua en la vasija M con una varilla móvil *o* situada encima. Hecho esto, se vacia la vasija M abriendo la espita A,

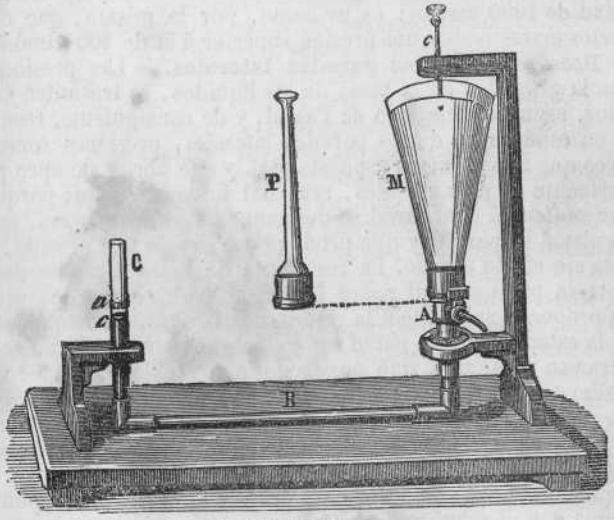


Fig. 47 (a=72).

se la desatornilla y reemplaza por la vasija P. Echando, por fin, agua en esta, se ve que el mercurio, que habia recobrado su primer nivel en las dos ramas del tubo ABC, sube de nuevo en el C, y luego que en la vasija P llega el agua á la misma altura que tenia en la M, lo cual se reconoce por medio de la varilla *o*, adquiere el mercurio en el tubo C el mismo nivel que en el primer caso, segun lo indica la virola *a*. Dedúcese de esto, que en ambos casos es idéntica la presion trasmitida al mercurio en la direccion ABC. Esta presion es, pues, independiente de la forma del vaso, y por lo tanto de la cantidad de líquido. En cuanto al fondo del vaso, es evidentemente el mismo en los dos casos, es decir, la superficie del mercurio en el interior del tubo A.

Tenemos, pues, que con una cantidad muy pequeña de líquido, se pueden producir considerables presiones. Para esto, basta fijar, en la pared de un vaso cerrado y lleno de agua, un tubo de pequeño diámetro y de gran altura. Lleno este tubo de agua, la presion trasmitida sobre la pared del vaso es igual al peso de una columna de agua que tuviera por base esta pared y una altura igual á la del tubo. En nuestra mano está, por lo tanto, aumentarla todo lo que queramos. Así consiguió Pascal que reventara un tonel sólidamente construido, con un simple hilito de agua de diez metros de altura.

En vista del principio que acaba de demostrarse, es fácil calcular las presiones que cargarán sobre el fondo de los mares. En efecto, pronto se dirá que la presion de la atmósfera equivale á la de una columna de agua de diez metros; y como los navegantes han observado con frecuencia que la sonda no llegaba al fondo de los mares á una profundidad de 4000 metros, es evidente, por lo mismo, que el fondo de ciertos mares resiste una presion superior á la de 400 atmósferas.

84. **Presion sobre las paredes laterales.** — Las presiones que origina la gravedad en la masa de los líquidos, se trasmiten en todos sentidos, segun el principio de Pascal, y de consiguiente, resultan de aquí, en cada punto de las paredes laterales, presiones sometidas á las leyes que antes hemos espuesto (81), y que obran siempre perpendicularmente á esas paredes, sea cual fuere su forma; porque toda presion oblícua á una pared se descompone en dos fuerzas, una perpendicular á la pared, y que produce por sí sola una presion, y otra paralela sin efecto alguno. La resultante de todas estas presiones representa la presion total sobre la pared; pero como estas presiones crecen proporcionalmente á la profundidad, y proporcionalmente tambien á la estension de la pared en el sentido horizontal, no se puede encontrar su resultante sino por medio del cálculo, que hace ver que la presion total, en una porcion determinada de pared, *es igual al peso de una columna líquida cuya base fuera esa porcion de pared, y la altura la distancia vertical de su centro de gravedad á la superficie libre del líquido.*

En cuanto al punto de aplicacion de esta presion total, punto que se designa con el nombre de *centro de presion*, se encuentra siempre un poco debajo del centro de gravedad de la pared. En efecto, si fuesen iguales entre sí las presiones ejercidas en los diferentes puntos de esta última, claro está que el punto de aplicacion de su resultante, es decir, el centro de presion, coincidiria con el de gravedad de dicha pared; pero como estas presiones crecen con la profundidad, el centro de presion se encuentra necesariamente debajo del de gravedad. La posicion de este punto se determina por medio del cálculo, que conduce á los siguientes resultados: 1.° en una pared rectangular, cuyo borde superior está á flor de agua, se halla situado el centro de presion, de arriba abajo, á los $^2/_3$ de la línea que une las partes medias de los lados horizontales; 2.° en una pared triangular, cuya base es horizontal, y está á flor de agua, el centro de presion ocupa la parte media de la línea que une el vértice del triángulo con

el punto medio de dicha base; 3.° si, siendo aun triangular la pared, se halla á flor de agua el vértice y horizontal la base, el centro de presion está en la línea que une la parte media de esta base con el vértice, y á los $^3/_4$ á partir de este punto.

85. **Molinete hidráulico.** — Siempre que un líquido esté en equilibrio en un vaso, se producen en las paredes opuestas presiones iguales y contrarias dos á dos, que se destruyen, de suerte que nada indica entonces tales presiones; pero se las demuestra por medio del *molinete hidráulico*. Consta este aparato de un vaso de vidrio M (fig. 48) dispuesto de modo que pueda girar libremente alrededor de un eje vertical. Este vaso lleva en su parte inferior, perpendicularmente á su eje, un tubo de cobre C, encorvado horizontalmente y en sentido contrario por sus dos estremidades. Lleno de agua el aparato, se obtienen en las paredes del tubo inferior presiones interiores que se destruirian como iguales y contrarias que son dos á dos, si estuviese perfectamente cerrado el tubo. Pero abierto este en sus dos estremidades, fluye el líquido, no ejerciéndose ya desde entonces la presion en los orificios abiertos, sino tan solo en la porcion de pared opuesta A, conforme puede notarse en el lado derecho de la figura.

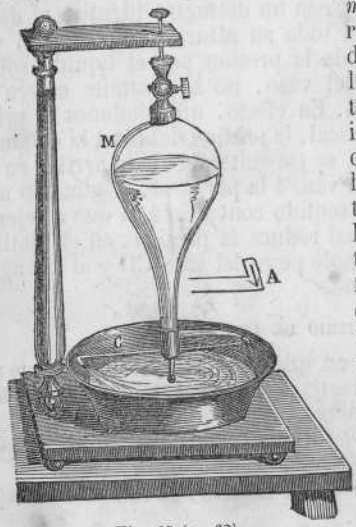


Fig. 48 (a=62).

No estando equilibrada ya la presion que se ejerce en A por la presion opuesta, imprime al tubo y á todo el aparato un movimiento de rotacion en el sentido de la flecha A; movimiento que es tanto mas rápido, cuanto mayor es la altura del líquido en el vaso, y mas considerable la superficie que ofrece la seccion de los orificios de salida.

Las presiones laterales han recibido una importante aplicacion en los motores hidráulicos conocidos con el nombre de *ruedas de reaccion*.

86. **Paradoja hidrostática.** — Se ha visto mas arriba (83) que la presion sobre el fondo de un vaso lleno de líquido, no depende ni de la forma del vaso, ni de la cantidad de líquido, sino solamente de la altura de este sobre el fondo. No hay que confundir la presion que así se ejerce sobre este, con la que el mismo vaso ejerce sobre el cuerpo que le sostiene. Esta última es siempre igual al peso total del vaso y del líquido que este contiene, mientras que la primera puede ser mayor que este peso, menor ó igual, segun la forma de la vasija. Desígnase de ordinario este hecho con el nombre de *paradoja hidrostática*, porque á primera vista parece un enunciado paradógico.

Para darse cuenta de esto, sea un vaso CD (fig. 49) compuesto de

dos partes cilíndricas de desigual diámetro y lleno de agua hasta *a*. En virtud del principio de que la presion sobre el fondo de un vaso es independiente de la forma del mismo, el fondo del vaso CD sufre la misma presion que si su diámetro fuese donde quiera igual al de su parte inferior, de lo cual parecia deducirse que, estando colocado el vaso CD en el platillo de una balanza MN, deberia acusar esta el mismo peso que si se pusiese en él un vaso cilíndrico con igual altura de agua, y con un diámetro idéntico al de la parte D en toda su altura. Pero fácil es ver que, ejercida la presion por el líquido sobre el fondo del vaso, no se trasmite entera al platillo MN. En efecto, ateniéndonos al principio de Pascal, la presion debida á la columna de agua *ab*, se trasmite de abajo arriba en el interior del vaso á la pared *no*, originando una presion en sentido contrario á la que se ejerce en *m*, la cual reduce la presion, en el platillo MN, al simple peso del vaso CD y al del agua que contiene.

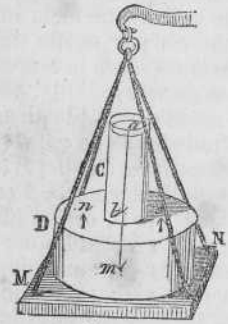


Fig. 49.

CONDICIONES DE EQUILIBRIO DE LOS LIQUIDOS.

87. Equilibrio de un líquido en una sola vasija.— Para que un líquido esté en equilibrio en una vasija de forma cualquiera, ha de satisfacer á las dos siguientes condiciones :

1.ª *Su superficie, en cada punto, ha de ser perpendicular á la direccion de la resultante de las fuerzas que soliciten las moléculas del líquido.*

2.ª *Una molécula cualquiera, tomada en la masa, ha de sufrir en todos sentidos presiones iguales y contrarias.*

La segunda condicion es evidente en sí misma; porque á no ser iguales y contrarias en dos direcciones opuestas las presiones que se ejercen sobre cualquiera molécula, se vería arrastrada esta en el sentido de la presion mayor, perdiéndose, por lo mismo, el equilibrio. Esta segunda condicion es, por lo demás, una consecuencia del principio de igualdad de presion, y de la reaccion que toda presion hace nacer en la masa de los líquidos (82).

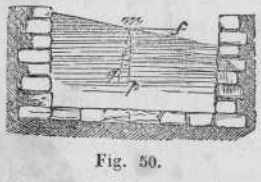


Fig. 50.

Para demostrar que es necesaria la primera condicion, supongamos que, representando *mp* la direccion de la resultante de las fuerzas que solicitan una molécula cualquiera *m* de la superficie (fig. 50), se halle inclinada esta con relacion á la fuerza *mp*. Podrá descomponerse en tonces esta en dos fuerzas *mq* y *mf* (28), perpendicular la una á la superficie del líquido, y otra á la direccion *mp*. La primera será destruida por la resistencia del líquido, mientras que la segunda arrastrará la molécula en la direccion *mf*, con lo cual queda demostrado que es imposible el equilibrio.

Si es la gravedad la fuerza que solicita al líquido, la direccion *mp*

es vertical, y entonces, para que haya equilibrio, ha de ser plana y horizontal la superficie libre del líquido (38), por lo menos si se halla contenido este en una vasija de corta estension, puesto que en cada punto la direccion de la gravedad es entonces la misma. Pero ya no sucede lo propio en las superficies líquidas de gran estension, como las de los mares. En efecto, debiendo ser esta superficie perpendicular en cada punto á la direccion de la gravedad, y variando esta, segun los lugares, dirigiéndose siempre sensiblemente hácia el centro de la tierra, resulta que la superficie de los mares modifica su direccion al mismo tiempo que la gravedad, y toma una forma sensiblemente esférica.

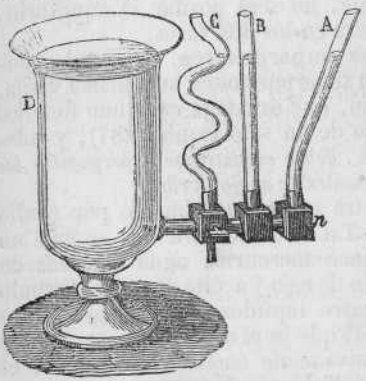


Fig. 51. (a=38).

Para probar esperimentalmente que la plomada, en cada lugar, es perpendicular á la superficie de los líquidos que estan en equilibrio, se hace introducir la esfera en el agua, teniendo con la mano la plomada, como representa la fig. 13, y se observa en el agua una imágen del hilo exactamente en línea recta con él, lo cual no podria verificarse si este no fuese perpendicular á la superficie líquida.

88. **Equilibrio de un mismo líquido en muchos vasos comunicantes.** — Cuando muchos vasos de forma cualquiera y que contienen el mismo líquido, comunican entre sí, no se establece el equilibrio hasta que satisface el líquido en cada vaso á las dos condiciones anteriores (87), y además, hasta *que las diversas superficies libres del líquido, en todos los vasos, se hallen situadas en un mismo plano horizontal.*

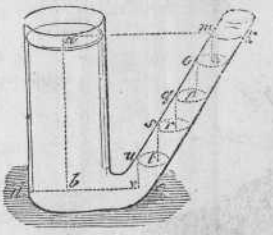


Fig. 52.

Sean, con efecto, diversos vasos A, B, C, D, que comunican entre sí (fig. 51); si se concibe en el tubo de comunicacion *mn* una capa líquida vertical, esta no podrá estar en equilibrio sino mientras sean iguales y contrarias las presiones que sufre de *m* hácia *n*, y de *n* hácia *m*. Pero se ha visto (84) que estas presiones son respectivamente equivalentes al peso de una columna de agua que tuviese por base la capa que consideramos, y por altura la distancia vertical de su centro de gravedad á la superficie libre del líquido. Si se supone, pues, un plano horizontal *mn*, tirado por el centro de gravedad de esta capa, se ve que no puede subsistir el equilibrio mientras no sea la misma, en cada vaso, la altura del líquido encima de este plano. Con esto queda demostrado el principio en cuestion.

Tambien puede deducirse este principio de una construccion semejante á la que hemos hecho (fig. 46) para demostrar la presion sobre el fondo de los vasos. Aplicando el mismo razonamiento, es fácil de ver que sumándose entre sí las presiones *mn*, *op*, *qr*, *st*, y *uv* (fig 52), no serán iguales las que se ejercen en *b* y en *c*, sobre una misma capa horizontal, y por consiguiente, no será posible el equilibrio, hasta tanto que sea la misma la altura en los dos vasos.

89. **Equilibrio de los líquidos superpuestos.** — Cuando muchos líquidos heterogéneos se hallan superpuestos en una misma vasija, es preciso, para que haya equilibrio, que satisfaga cada uno de ellos las condiciones necesarias en el caso de un solo líquido (87), y además, *para que sea estable el equilibrio, deben encontrarse superpuestos los líquidos por órden de densidades decrecientes de abajo arriba.*

Esta última condicion se demuestra esperimentalmente por medio de la *redoma de los cuatro elementos.* Tal es el nombre que se da á un frasco largo y estrecho, que contiene mercurio, agua saturada de carbonato de potasa, alcohol colorado de rojo y aceite de nafta. Cuando se agita el frasco se mezclan los cuatro líquidos, pero luego que se los mantiene en reposo, el mercurio, que es el mas denso, se marcha al fondo, depositándose luego sucesivamente encima del azogue, el agua, el alcohol y el aceite de nafta. Tal es, en efecto, el órden de las densidades decrecientes de estos cuerpos. Con objeto de que no se mezcle el agua con el alcohol, se la satura con carbonato de potasa, porque esta sal no es soluble en el alcohol.

Preciso es referir la separacion de los líquidos, en el esperimento anterior, á la misma causa que hace que los sólidos sumergidos en un líquido mas denso que ellos vayan á flotar en su superficie (98).

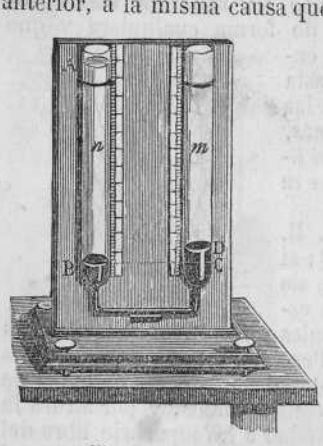


Fig. 53 (a=72).

En virtud del principio de hidrostática que acabamos de dar á conocer, sobrenada por largo tiempo encima del agua salada del mar el agua dulce en la desembocadura de los rios. Por igual motivo la crema, que es menos densa que la leche, se separa poco á poco de esta para marcharse á su superficie.

90. **Equilibrio de dos líquidos heterogéneos en dos vasos comunicantes.** — Cuando dos líquidos de diferentes densidades y sin accion química el uno sobre el otro, se hallan contenidos en vasos comunicantes, á las condiciones ya conocidas de equilibrio (87), hay que añadir otra, cual es que *las alturas de las columnas líquidas que se equilibran estén en razon inversa de las densidades de los dos líquidos.*

Para demostrar esperimentalmente este principio, se toma un tubo

encorvado *mn*, fijo sobre una placa vertical (fig. 53); se echa en él mercurio, y luego, en una de las ramas AB, se echa agua. Como la columna de agua AB ejerce en B una presion sobre el mercurio, baja el nivel de este en la rama AB, y sube en la otra cierta cantidad CD; de suerte que, una vez establecido el equilibrio, si se concibe en B un plano horizontal BC, la columna de agua AB equilibra á la de mercurio DC. Midiendo entonces las alturas DC y AB, por medio de dos escalas fijas paralelamente á las ramas del tubo, se encuentra que la primera es trece veces y media menor que AB. Pronto se verá que la densidad del mercurio es trece veces y media superior á la del agua, y por consiguiente, es verdad que las alturas estan en razon inversa de las densidades. Claro está, efectivamente, que, debiendo ser iguales las presiones sobre una misma capa horizontal BC, no puede realizarse este resultado, mientras no se gane en altura lo que se pierde en densidad.

Puede deducirse de un cálculo muy sencillo el principio anterior. Para esto, sean d y d las densidades del agua y del mercurio, a y a' las alturas de estos líquidos que se hacen equilibrio, y por fin g la intensidad de la gravedad. Siendo la presion en B proporcional á la densidad del líquido que está encima, á su altura y á la intensidad de la gravedad, dicha presion tiene por medida el producto dga. Por igual motivo, la presion que se ejerce en C tiene por medida $d'ga'$. Pero cuando hay equilibrio, estas presiones son iguales; se tiene, pues, $dga = d'ga'$, ó $da = d'a'$, suprimiendo el factor comun g. Esta última igualdad no es mas que la espresion del principio que se trataba de demostrar, porque, debiendo permanecer siempre iguales entre sí los dos productos da y $d'a'$, es claro que cuanto mayor sea d' con respecto á d, tanto menor será a' con respecto á a.

Este principio de hidrostática puede servir para determinar la densidad de un líquido. En efecto, supongamos que una de las ramas del tubo anterior contiene agua, y la otra aceite, y que las alturas respectivas de las columnas líquidas que se equilibran sean 38 centímetros para el aceite y 35 para el agua. Tomada como unidad la densidad de esta, representando por x la del aceite, se tiene

$$38 \times x = 35 \times 1, \quad \text{de donde} \quad x = \frac{35}{38} = 0{,}92.$$

APLICACIONES DE LOS PRINCIPIOS DE HIDROSTATICA QUE PRECEDEN.

91. **Prensa hidráulica.** — El principio de igualdad de presion (80) ha recibido una importante aplicacion en la *prensa hidráulica*, cuyo principio se debe á Pascal, pero que fué construida por vez primera en Lóndres, en 1796, por Bramah.

Este aparato, á la ayuda del cual se pueden producir enormes presiones, se compone de un cuerpo de bomba B, de paredes muy resistentes (fig. 54). En este cuerpo de bomba sube y baja, á frotamiento dulce, un largo cilindro P, de fundicion, que hace el oficio de piston, pero sin tocar las paredes del cuerpo de bomba mas que en su parte superior. El piston P lleva un platillo de fundicion, que sube y baja con él, siendo guiado en su carrera por cuatro columnas del mismo metal, sobre las cuales encaja en cada uno de sus ángulos. Estas mismas columnas sostienen un segundo platillo Q, á las que está

fijo; entre este último y el platillo móvil se colocan los cuerpos que se tratan de comprimir.

La subida del piston P se obtiene del modo siguiente: al cuerpo de bomba B, estando lleno de agua, se le trasmite la presion por medio de una bomba impelente A, que se llama la *bomba de inyeccion*, y que

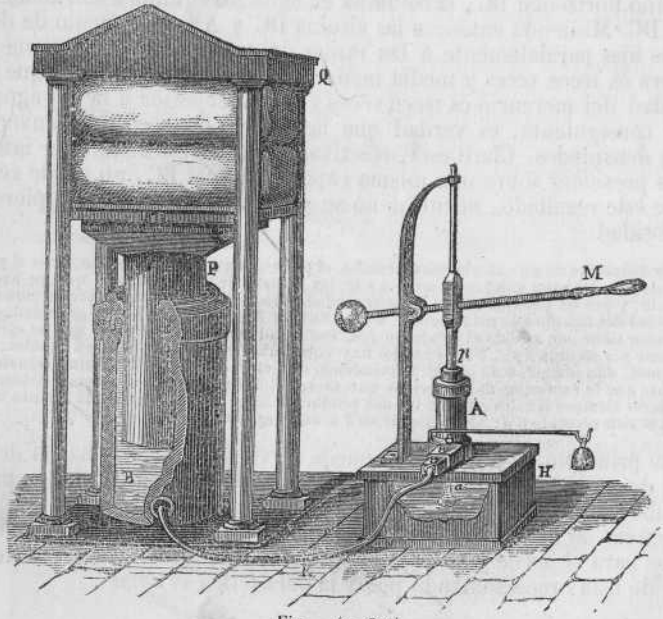


Fig. (a=2m).

está en comunicacion con el cuerpo de bomba B por medio de un tubo de plomo K. La bomba A funciona á beneficio de una palanca M. Cuando su piston *p* sube, se produce debajo un vacío, y el agua contenida en el reservatorio H es aspirada por un tubo *a*, terminado por una cavidad hemisférica agujereada como las regaderas, y que tiene por objeto impedir el paso á los cuerpos estraños que pueden encontrarse en el agua. Cuando el piston *p* vuelve á bajar, repele el agua al cuerpo de bomba B por el tubo K.

La fig. 55 representa, en corte y sobre mayor escala, el sistema de válvulas necesarias en la manipulacion del aparato. La válvula *c* se abre cuando el piston *p* se eleva, y se cierra cuando aquel baja. Pero entonces la válvula *o* es levantada por el empuje del agua, la cual pasa en seguida por el conducto K. La válvula *i* es una válvula de seguridad, mantenida por un peso que actúa sobre ella á beneficio de una palanca (fig. 54). Cargándola mas ó menos, se puede limitar la presion; porque en el momento en que ella sufra de abajo arriba una presion mayor que su carga, ella se levanta y deja salir el agua. Un

tornillo *r* que se afloja á voluntad, sirve á verificar la depresion, dejando paso al agua para que del cuerpo de bomba vuelva al reservatorio H. En fin, cuando se quieren conservar los objetos en prensa durante algun tiempo, se aprieta un tornillo *h* que cierra la válvula *o*.

Hay todavía una pieza que merece ser descrita: esta es el *anillo de cuero (cuir embouti)*. Llámase así un cuero espeso, embebido de aceite, é impermeable al agua, que sirve para cerrar herméticamente el cuerpo de bomba B. Este cuero, que está encorvado en forma de U invertida, se arrolla circularmente en una cavidad *n* practicada en lo alto de la pared del cuerpo de bomba. Tanto mas comprimida está el agua en este, cuanto mas fuertemente se adhiere el cuero al piston y al cuerpo de bomba, oponiéndose así á que se escape el agua.

La presion que puede obtenerse á beneficio de la prensa hidráulica depende de la relacion entre la seccion del piston P y la del piston *p*. Si la primera es 50 ó 100 veces mayor que la segunda, la presion

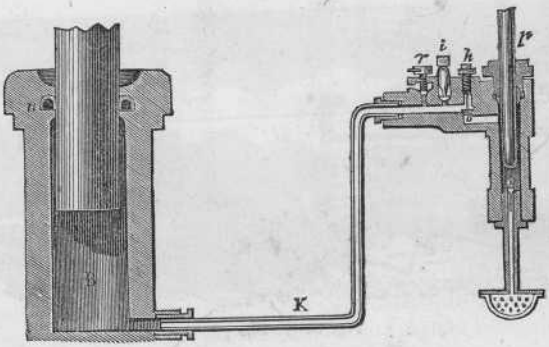


Fig. 55.

sufrida de abajo arriba por el gran piston será 50 ó 100 veces la que se ejerza sobre el pequeño. Todavía se consigue mayor ventaja á consecuencia del uso que se hace de la palanca. Si, por ejemplo, el brazo de palanca de la potencia vale tanto como cinco veces el de la resistencia, el efecto producido es 5 veces mayor (45). Por consiguiente, si un hombre ejerce sobre M un esfuerzo de 30 quil., el efecto trasmitido por el piston *p* será de 150 quil., y el que trasmitirá el piston P será de 15,000 quil., suponiendo su accion igual á 100 veces la del pequeño.

Es menester observar que, cuanto mayor será el diámetro del piston P con relacion al del piston *p*, tanto mas lenta será la marcha del primero con relacion á la del segundo, es decir, que *lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad*. Tal es, en efecto, un principio general de mecánica, con el que cumplen todas las máquinas.

Sirve la prensa hidráulica en todos los trabajos que exigen grandes presiones, como en el batanado de los paños, en la estraccion del jugo de las remolachas y del aceite de las semillas oleaginosas. Utilízasela

tambien para probar los cañones, las calderas de vapor y las cadenas destinadas para la marina.

92. **Nivel de agua.** — El *nivel de agua* es una aplicacion de las condiciones de equilibrio en vasos comunicantes (88). Compónese de un tubo de hojalata ó de laton, encorvado en ángulo recto á sus dos estremidades, en las cuales se adaptan dos tubos de vidrio D y E fig. 56). Se le coloca horizontalmente sobre un trípode, y se vierte en él agua hasta que suba en los dos tubos de vidrio. Una vez establecido el equilibrio, el nivel del agua es el mismo en ambos tubos, es decir, que las superficies del líquido en D y E se encuentran en un mismo plano horizontal.

Sirve este instrumento en las nivelaciones, es decir, para determinar la diferencia de altura de dos puntos. Por ejemplo, si se desea saber cuánto un punto B del suelo está mas alto que otro A, se coloca en este último una *mira*. Tal es el nombre que se da á una regla

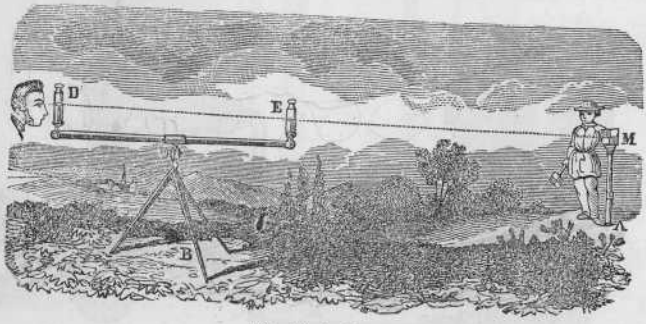


Fig. 56 (l=90).

de madera terminada en una placa metálica M, llamada *vivo*, con un punto en su centro que sirva para dirigir la visual. Dispuesta verticalmente esta mira en A, un observador dirige por las superficies D y E una visual á la mira, mandando al auxiliar que la suba ó baje hasta que la visual DE vaya á dar al centro de la placa. Midiendo entonces la altura AM, y restando la del nivel encima del suelo, se conoce cuánto mas alto se halla el punto B respecto del A.

Este nivel así determinado es el *aparente*, es decir, el que corresponde á puntos comprendidos en un plano tangente á la superficie del globo supuesto perfectamente esférico. El *nivel verdadero* es el que corresponde á puntos igualmente distantes del centro de la tierra. Solo para cortas distancias se puede tomar como verdadero el nivel aparente.

93. **Nivel de aire.** — El *nivel de aire* es mas sencillo y mas exacto que el de agua. Consiste simplemente en un tubo de vidrio AB (fig. 57) muy ligeramente encorvado, que se llena de agua, no dejando en él mas que una burbujita de aire que tiende siempre á ocupar la parte mas alta (89). Cerrado á la lámpara este tubo por sus dos estremida-

des, se le coloca en un estuche de cobre CD (fig. 58) fijo sobre un montante del mismo metal, de manera que, cuando se apoye sobre un plano horizontal P, la burbuja de aire M se pare exactamente entre dos señalitas marcadas en el estuche.

Fig. 57.

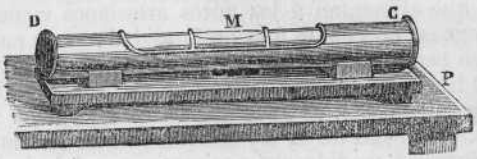


Fig. 58 (1=20)

Para nivelar con este aparato, se le añade un anteojo cuyas posiciones horizontales indica.

94. Corrientes de agua, pozos artesianos. — Los lagos, los mares, las fuentes y los rios son otras tantas vasijas comunicantes, en las cuales tienden las aguas sin cesar á tomar un nivel verdadero (92).

Otro tanto decimos de los *pozos artesianos*, así llamados porque se les abrió por vez primera en la antigua provincia de Artois. Algunos se encuentran allí que deben datar de fines del siglo XII, si bien en una época mucho mas remota fueron abiertos ya pozos de este género en China y en Egipto.

Estos pozos son perforaciones muy estrechas que se hacen con la sonda, siendo variable su profundidad. Sus aguas tienden general-

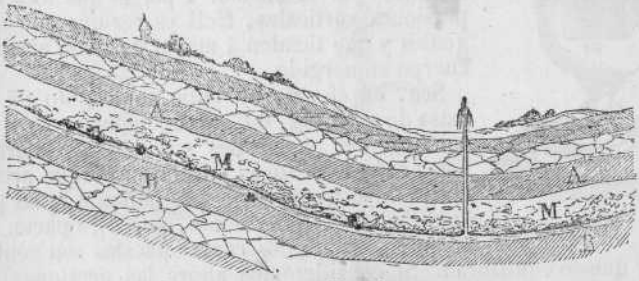


Fig. 59.

mente á saltar. Para comprender su teoría, téngase presente que los terrenos que componen la corteza del globo, unos son permeables á las aguas, como las arenas y las gravas, y otros impermeables, como las arcillas. Ahora bien, sea una region geográfica mas ó menos estensa, debajo de la cual se encuentran dos capas impermeables AA, BB (fig. 59), que comprenden entre sí una capa permeable MM; y su-

pongamos, por fin, que se halla esta última en comunicacion con terrenos mas altos, al través de los cuales se infiltra el agua de las lluvias. Esta, siguiendo la pendiente natural del terreno, al través de la capa permeable, se va á la parte inferior de la region geográfica que hemos supuesto, pero sin poder comunicar con ella, porque se lo impide la capa impermeable AA. Mas si á partir del suelo se practica un agujero que atraviese esta capa, las aguas, que tienden siempre á ponerse á nivel, suben por este agujero á una altura tanto mayor, cuanto mas alto es el terreno con el cual comunican.

Las aguas que alimentan á los pozos artesianos vienen á menudo de 20 ó 30 leguas. En cuanto á la profundidad, varía con las localidades. El pozo perforado de Grenelle tiene 548 metros de profundidad, da 3000 litros por minuto, y es uno de los mas abundantes y profundos que se conocen. El agua que de él salta tiene 27° en todas las estaciones. En virtud de la ley del aumento de la temperatura de las capas terrestres á medida que nos separamos del nivel del suelo, bastaria que fuese la profundidad de dicho pozo 150 metros mayor, para que tuvieran sus aguas todo el año 32°, es decir, la temperatura ordinaria de los baños.

CUERPOS SUMERGIDOS EN LOS LIQUIDOS.

95. **Presiones que sufre un cuerpo sumergido en un líquido.** — Cuando un cuerpo sólido se halla enteramente sumergido en un líquido, sufre su superficie en cada punto presiones que le son respectivamente perpendiculares y que crecen con la profundidad. Supónganse descompuestas todas estas presiones en unas horizontales y otras verticales: las primeras serán en cada capa horizontal iguales y contrarias dos á dos, equilibrándose por lo mismo. Y por lo que toca á las presiones verticales, fácil es ver que son desiguales y que tienden á mover de abajo arriba al cuerpo sumergido.

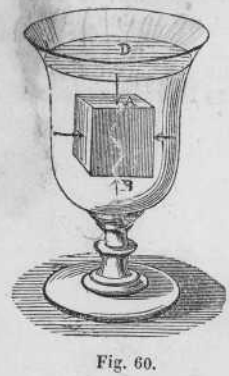


Fig. 60.

Sea, en efecto, un cubo sumergido en una masa de agua (fig. 60), y supónganse, para mayor sencillez, verticales sus paredes laterales. Estas sufren idénticas presiones, porque presentan la misma superficie y se hallan á igual profundidad (84). Es evidente, por otra parte, que las presiones de dos caras opuestas son contrarias, y que se equilibran. Si consideramos ahora las presiones que se ejercen en las caras horizontales A y B, vemos que la primera está impelida de arriba abajo por el peso de una columna de agua que tuviese por base la misma cara, y por altura AD (84); así como la cara inferior se halla oprimida de abajo arriba por el peso de una columna de agua cuya base fuera dicha cara y la altura BD (82). Tiende, pues, el cubo á ser elevado por la diferencia de estas dos presiones, la cual es, evidentemente igual al peso de una columna de agua que

tuviese base y altura iguales á las del cubo: por consiguiente, *esta presion equivale al peso mismo del volúmen de agua desalojada por el cuerpo sumergido.*

Todavía se puede reconocer, por el siguiente raciocinio, que todo cuerpo sumergido en un líquido sufre, de abajo arriba, una presion igual al peso del líquido que desaloja. En efecto, en una masa líquida que esté en equilibrio, consideremos una porcion de líquido de una forma cualquiera, esférica, ovóide ó irregular, y supongámosla solidificada sin aumento ni diminucion de volúmen. Es evidente que la parte así solidificada sufrirá, de la parte de la masa líquida, las mismas presiones que antes, y que, por consiguiente, ella estará todavía en equilibrio; lo cual no puede tener lugar mas que porque ella sufre, de abajo arriba, una presion igual á su peso. Pero si en el lugar de la parte solidificada se imagina un cuerpo diferente, pero exactamente del mismo volúmen é igual forma, este cuerpo sufrirá necesariamente las mismas presiones que el líquido solidificado, y desde entonces, él mismo estará sometido á una presion igual al peso del líquido desalojado.

96. Principio de Arquímedes. — En virtud de lo que precede,

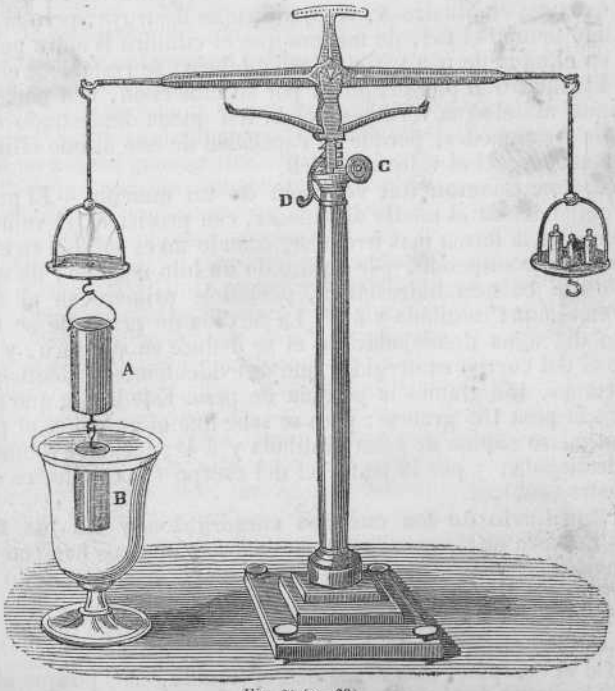


Fig. 61 (a=60).

todo cuerpo sumergido en un líquido está sometido á la accion de dos fuerzas opuestas: la gravedad que tiende á hacerle descender, y el empuje del líquido que trata de elevarle con un esfuerzo igual al peso mismo del líquido que el cuerpo desaloja. El peso de este queda destruido, por lo tanto, en parte ó por completo por este empuje, de donde se deduce que *un cuerpo sumergido en un líquido pierde una parte su peso igual al peso del líquido desalojado*

Este principio, que sirve de base á la teoría de los cuerpos sumergidos y de los cuerpos flotantes, se conoce con el nombre de *principio de Arquímedes*, por haberle descubierto aquel célebre geómetra que murió en Siracusa, 212 años antes de la era cristiana.

El principio de Arquímedes se demuestra esperimentalmente por medio de la *balanza hidrostática*, que es una balanza comun, con un gancho en cada platillo, y con el fiel que puede subir mediante una barra dentada, de que forma parte el piñon C (fig. 61). Un trinquetage D retiene la barra dentada cuando se la eleva. Una vez elevado el fiel, se suspende debajo de uno de los platillos un cilindro hueco A, de cobre, y debajo de este un cilindro macizo B, cuyo volúmen sea exactamente igual á la capacidad del primero; y luego, en el otro platillo se colocan pesas hasta establecer el equilibrio. Si se llena de agua entonces el cilindro A, el equilibrio se destruye, pero si se baja al mismo tiempo el fiel, de manera que el cilindro B entre por completo en el agua de una vasija situada debajo, se restablece el equilibrio. El cilindro B pierde, pues, por su inmersion, una parte de su peso igual al del agua vertida en el A. Así queda demostrado el principio de Arquímedes, porque la capacidad de este último cilindro es precisamente igual al volúmen del B.

97. **Determinacion del volúmen de un cuerpo.** — El principio de Arquímedes da el medio de obtener, con precision, el volúmen de un cuerpo de la forma mas irregular, cuando no es soluble en el agua. Al efecto se le suspende, por medio de un hilo delgado, de un ganchito de la balanza hidrostática, pesándole primero en el aire, y luego en el agua destilada y á 4°. La pérdida de peso que se nota es el peso del agua desalojada; de él se deduce su volúmen, y por lo mismo el del cuerpo sumergido, que es evidentemente idéntico. Sea, por ejemplo, 155 gramos la pérdida de peso. Esto indica que el agua desalojada pesa 155 gramos; pero se sabe que el gramo es el peso de un centímetro cúbico de agua destilada y á 4°; luego el volúmen del agua desalojada, y por lo tanto, el del cuerpo sumergido, es de 155 centímetros cúbicos.

98. **Equilibrio de los cuerpos sumergidos y de los flotantes.** — En vista de las consideraciones teóricas que nos han conducido al principio de Arquímedes (95 y 96), si un cuerpo sumergido en un líquido tiene la misma densidad que este, el empuje que tiende á elevar á dicho cuerpo es igual á su propio peso. El cuerpo queda, pues, en suspension en el seno del líquido.

Pero si el cuerpo es mas denso que el líquido, cae, porque su peso escede al empuje de abajo arriba.

Por último, si el cuerpo sumergido es menos denso que el líquido, predomina el empuje. Adquiere el cuerpo un movimiento ascensional y sale fuera del líquido hasta no desalojar mas que un volúmen de un peso igual al suyo. Dícese entonces que el cuerpo *flota*. La cera, la madera y todos los cuerpos mas ligeros que el agua, flotan en su superficie.

Para que los cuerpos, bien sumergidos, ó bien flotantes, se hallen en equilibrio estable, es preciso : 1.° *que desalojen un peso de líquido igual al suyo;* 2.° *que su centro de gravedad esté debajo del de presion* (84)

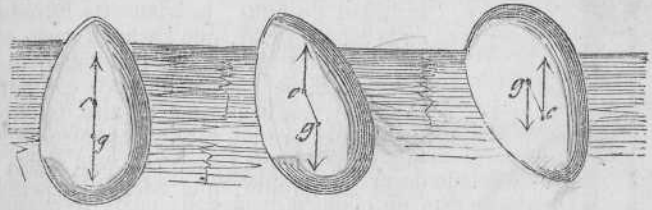


Fig. 62. Fig. 63. Fig. 64.

y en la misma vertical. En efecto, sean *c* el centro de presion y *g* el de gravedad de un cuerpo flotante (fig. 62); si estan satisfechas dichas dos condiciones, las fuerzas aplicadas en *c* y en *g* son iguales y contrarias, se destruyen y hay equilibrio. Además, este equilibrio es estable, porque si se inclina el cuerpo (fig. 63), las fuerzas aplicadas en *c* y en *g* tienden evidentemente á devolverle la posicion vertical. Pero si el centro de presion está debajo del de gravedad, solo puede haber equilibrio inestable cuando los puntos *g* y *c* se encuentren en la misma vertical, pues luego que se incline el cuerpo (fig. 64), las acciones de ambas fuerzas concurren á darle su posicion primera (fig. 62). Con todo, se demuestra en mecánica, que puede haber equilibrio estable cuando el centro de presion se encuentra mas bajo que el de gravedad. Mas es indispensable que se halle entonces debajo de cierto punto que se llama *metacentro*, y que se determina por cálculo. Es de alta importancia el conocimiento de estos puntos en el arreglo de la carga de los buques, porque de su posicion relativa depende la estabilidad.

Los cuerpos flotan con tanta mayor facilidad en la superficie de los líquidos, segun el principio de Arquímedes, cuanto mas densos son estos relativamente. Póngase, por ejemplo, un huevo en agua ordinaria, y se va al fondo, porque pesa mas á igualdad de volúmen; pero métasele en agua saturada de sal, y sobrenadará. Un pedazo de roble flota en el agua, y se sumerge en el aceite. Una masa de hierro sobrenada en una masa de mercurio, y se va inmediatamente al fondo en el agua. En cuanto al volúmen de la parte sumergida en los cuerpos flotantes, está en razon inversa de la densidad del líquido, y directa de la del cuerpo flotante.

99. **Ludion.** — Los diversos efectos de suspension, de inmersion

y de flotacion en un líquido, se reproducen en el aparatito llamado *ludion* (fig. 65). Consta de una probeta de vidrio llena en parte de agua, cerrada herméticamente por un cuerpo de bomba con su émbolo. En el líquido hay una figurita de esmalte sostenida por una esfera de vidrio hueca *a*, que contiene aire y agua, y que flota en la superficie. Esta esfera lleva en su parte inferior una pequeña abertura que da paso al agua, segun esté mas ó menos comprimido el aire. La cantidad de agua, préviamente introducida en la esfera, es tal, que basta un corto esceso de peso para que se vaya al fondo todo el aparato. Si se aprieta un poco con la mano (fig. 65), se comprime al aire interior, y trasmite su presion al agua y al aire de la esfera, por lo que penetra en esta cierta cantidad de líquido, que hace mas pesado al cuerpo flotante, y le sumerge. Cuando cesa la presion, el aire de la esfera recobra su primitivo volúmen y espulsa parte del agua, volviendo el cuerpo á flotar.

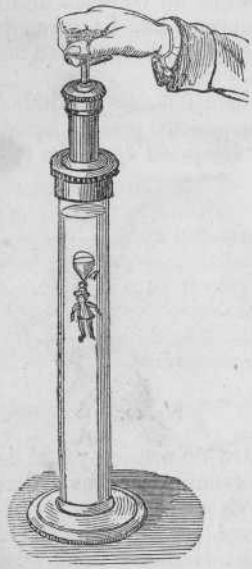


Fig. 65.

100. Vejiga natatoria de los peces.— Muchas especies de peces llevan en el abdómen, debajo del espinazo, una vejiga llena de aire que se denomina *vejiga natatoria*. El pez la comprime ó la dilata por un esfuerzo muscular para variar su volúmen y producir efectos análogos á los del ludion: es decir, que sube y baja á voluntad en el seno de las aguas.

101. Natacion. — El cuerpo humano, en igualdad de volúmen, es generalmente mas ligero que el agua dulce, y así es que puede flotar naturalmente en este líquido, y mejor aun en el agua salada del mar, que es mas densa. La dificultad de la natacion consiste, pues, menos en mantenerse en la superficie del agua, que en conservar fuera del líquido la cabeza, á fin de que sea libre la respiracion. El hombre debe cultivar la natacion, porque la cabeza tiende siempre á sumergirse por tener mas peso relativamente á los miembros inferiores. En los cuadrúpedos, al contrario, la cabeza puede permanecer sin esfuerzo alguno fuera del agua, por pesar menos que la parte posterior del cuerpo. Véase por qué nadan naturalmente estos animales.

PESOS ESPECIFICOS, AREOMETROS DE VOLUMEN CONSTANTE.

102. Determinacion de pesos específicos. — Se ha visto ya (41) que el peso específico de un cuerpo, sólido ó líquido, es un número que espresa cuánto, en igualdad de volúmen, pesa un cuerpo con relacion al agua destilada y á 4°. En virtud de esta definicion, para calcular el peso específico de un cuerpo, basta determinar su peso y

el de un volúmen igual de agua, dividir luego el primer peso por el segundo, y el cociente es el peso específico pedido, sirviendo de unidad el del agua.

Tres son los métodos en uso para determinar los pesos específicos de los sólidos y de los líquidos, á saber: el método de la balanza hidrostática, el de los areómetros y el del frasco. En el fondo todos se reducen á buscar el peso del cuerpo, y luego el de un volúmen igual de agua. Vamos á aplicarlos sucesivamente, primero para los sólidos y luego para los líquidos.

103. Pesos específicos de los sólidos. — 1.° *Método de la balanza hidrostática.* — Para obtener el peso específico de un sólido por medio de la balanza hidrostática (fig. 61), se pesa primero dicho cuerpo en el aire, y suspendiéndole del gancho del platillo, se le pesa en el agua. La pérdida de peso es, segun el principio de Arquímedes, el de un volúmen de agua igual al del cuerpo: no resta, pues, mas que dividir el peso del cuerpo en el aire, por la pérdida de peso que esperimenta en el agua. El cociente es el peso específico pedido (102).

Si P representa el peso del cuerpo en el aire, P′ su peso en el agua, y D su peso específico, el peso del agua desalojada, siendo $P - P'$, se tiene $D = \frac{P}{P - P'}$.

2.° *Método del areómetro de Nicholson.* — El *areómetro de Nicholson* es un aparato flotador que sirve para determinar los pesos específicos de los sólidos. Consta de un cilindro hueco B de hojalata (fig. 66) terminado por un cono C lleno de plomo. Tiene este por objeto lastrar el aparato de manera que su centro de gravedad se encuentre debajo del de presion, que es condicion necesaria para la estabilidad del equilibrio (98). En la parte superior termina el aparato en un vástago y platillo A, que recibe las pesas y el cuerpo cuyo peso específico se busca. En fin, en el vástago se ve un *punto de enrase*, en *o*, que sirve para indicar cuando el aparato está sumergido en una misma cantidad.

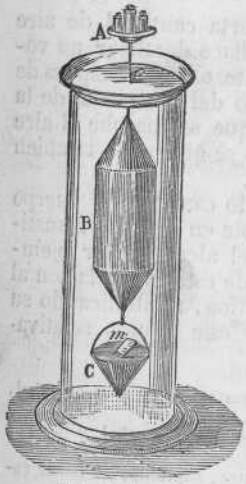


Fig. 66 (a=40).

Para proceder al esperimento, se busca primero el peso que necesita el platillo A para el enrase del areómetro, pues, cuando esta vacío, sale en gran parte fuera del agua. Si este peso es, por ejemplo, 125 gramos, y si se busca el peso específico del azufre, se toma un fragmento de este que no llegue á 125 gramos, se le coloca en el platillo A, y se añaden pesas hasta que enrase de nuevo el areómetro. Si ha habido que añadir, v. gr., 55 gramos, claro está que el peso del azufre es la diferencia entre 125 y 55, es decir, 70 gramos. Determinado así el peso del azufre al aire libre, falta buscar el de un volúmen

igual de agua. Al efecto, se traslada el pedazo de azufre del platillo A al inferior C, en *m*, y á pesar de que no varió el peso del instrumento, se nota que no enrasa, porque el azufre pierde dentro del agua una parte de su peso igual al del agua desalojada. Si para restablecer el enrase hay que añadir 34gr,4, este número será el que represente el peso de un volúmen de agua igual al del azufre. Divídase, pues, el peso 70 gramos del azufre al aire libre por 34gr,4, y resultará 2,03, peso específico del azufre.

Si la sustancia cuyo peso específico se busca es mas ligera que el agua, tiende á sobrenadar, y no se queda en el platillo inferior C; pero entonces se le añade á este una rejilla de alambre, que se opone al ascenso del cuerpo, y la esperiencia se hace como anteriormente.

3.° *Método del frasco.* — Recúrrese especialmente á este método para los cuerpos en polvo. El instrumento es un frasco pequeño, de ancha boca y de tapon bien esmerilado para que cierre con exactitud. Averiguado el peso del polvo, se le coloca en el platillo de una balanza junto con el frasquito, exactamente lleno de agua, cerrado y bien enjuto. Se les equilibra en el otro platillo con granalla de plomo, y en seguida se echa el polvo en el frasco, y se vuelve á tapar bien, á fin de que no quede aire en el frasco. Falta entonces el equilibrio, porque el polvo espulsó cierta cantidad de agua, y los gramos que se añaden para restablecerle, indican el peso de un volúmen de agua igual al del polvo. El cálculo que debe hacerse ahora es el mismo que en los dos métodos anteriores.

En este esperimento conviene espulsar una corta cantidad de aire que se adhiere á las moléculas del polvo y les hace desalojar un volúmen demasiado considerable de agua. Con este objeto, despues de echado el polvo en el frasco, se le coloca debajo del recipiente de la máquina neumática y se hace el vacío, para que se marche el aire en virtud de su fuerza elástica. Igual resultado se obtendria tambien haciendo hervir el agua en que se echó el polvo.

104. **Cuerpos solubles en el agua.** — Dado caso que el cuerpo cuyo peso específico se desea conocer, sea soluble en el agua, sustituirémos á esta otro líquido en que no lo sea, el alcohol, por ejemplo, y buscando en seguida el peso específico de este con relacion al del agua, se obtiene el de la sustancia en cuestion, multiplicando su peso específico respecto del alcohol por el de este líquido relativamente al agua.

En efecto, sean, bajo volúmenes iguales, P el peso de la sustancia, P′ el del alcohol, P″ el del agua; $\frac{P}{P'}$ será el peso específico de la sustancia con relacion al alcohol, y $\frac{P'}{P''}$ el de este relativamente al agua. El producto de estas dos fracciones, suprimido el factor comun P′, es $\frac{P}{P''}$, que representa efectivamente el peso específico de la sustancia con relacion al agua.

Pesos específicos de los sólidos á cero grados, sirviendo de unidad el agua destilada y á 4°.

Platino laminado	22,069	Mármol estatuario	2,837
— forjado	20,337	Cristal de roca puro	2,653
Oro forjado	19,362	Vidrio de S. Gobain	2,488
— fundido	19,258	Porcelana de China	2,385
Plomo fundido	11,352	— de Sèvres	2,146
Plata fundida	10,474	Azufre nativo	2,033
Bismuto fundido	9,822	Marfil	1,917
Cobre pasado por la hilera	8,878	Antracita	1,800
— fundido	8,788	Ulla compacta	1,329
Laton	8,383	Succino	1,078
Acero no templado	7,816	Hielo fundente	0,930
Hierro en barra	7,788	Haya	0,852
— fundido	7,207	Fresno	0,845
Fundicion	7,053	Tejo	0,807
Estaño fundido	7,291	Olmo	0,800
Zinc fundido	6,861	Manzano	0,733
Antimonio fundido	6,712	Abeto amarillo	0,657
Diamantes (los mas pesados)	3,531	Alamo blanco de España	0,529
Diamantes (los mas ligeros)	3,501	— comun	0,389
Flint-glass	3,329	Corcho	0,240

105. Pesos específicos de los líquidos. — 1.° *Método de la balanza hidrostática.* — En el gancho de uno de los platillos de la balanza se suspende un cuerpo sin accion química con el líquido, cuyo peso específico se va á averiguar, por ejemplo, una esfera de platino. Pesando sucesivamente esta esfera en el aire, en el agua destilada á 4°, y luego en el líquido dado, se nota la pérdida de peso de dicha masa en este y en aquella, obteniendo así dos números que representan, en igualdad de volúmenes, el peso del agua y el del líquido en cuestion, y por lo tanto, basta dividir el segundo peso por el primero.

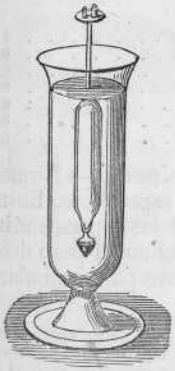


Fig. 67 (a=25).

Sean P el peso de la esfera de platino al aire libre, P′ su peso en el agua, P″ en el líquido dado, y D el peso específico de este: el peso del agua desalojada por la esfera de platino es P — P′, y el del segundo líquido P — P″, de donde $D = \frac{P-P''}{P-P'}$.

2.° *Método del areómetro de Fahrenheit.*—El areómetro de Fahrenheit (fig. 67) es un flotador destinado á determinar los pesos específicos de los líquidos. Su forma es análoga á la del areómetro de Nicholson; pero en vez del platillo inferior lleva una esfera de vidrio llena de mercurio, y en su vástago se ve igualmente el punto de enrase.

Determínase primero con precision el peso del areómetro, y luego se le hace flotar en una probeta llena de agua, colocando en el platillo superior las pesas necesarias para el enrase. En virtud de la primera condicion de equilibrio de los cuerpos flotantes (98), el peso del areómetro, mas el que hay en la cápsula, equivalen al de un volúmen de agua igual al de la parte sumergida del aparato. Determinando del mismo modo el peso de un volúmen igual del líquido dado, se divide luego el segundo peso por el primero.

Ni el areómetro de Fahrenheit, ni el de Nicholson ofrecen la misma precision que la balanza hidrostática para la determinacion de los pesos específicos.

3.° *Método del frasco.* — Consiste este método en tomar un frasquito de vidrio con tapon esmerilado, y pesarle sucesivamente vacío, lleno de agua, y por fin, lleno del líquido sometido al esperimento. Restando de todos los resultados el peso del frasco, se tiene, bajo un mismo volúmen, el peso del agua y el del líquido, con cuyos datos se obtiene el peso específico que se buscaba.

106. Temperatura que hay que observar en la investigacion de los pesos específicos. — Como el volúmen de los cuerpos aumenta con la temperatura, y como varía este aumento segun los cuerpos, claro está que el peso específico de una sustancia no es rigurosamente el mismo á diversas temperaturas. Por esto debe elegirse una temperatura constante para la determinacion de los pesos específicos, habiéndose convenido en la del agua á 4°, porque corresponde á su máximum de densidad. En cuanto á los demás cuerpos, sólidos ó líquidos, se los pone á cero. En general no se satisfacen estas condiciones cuando se determina un peso específico, por lo que hay que hacer correcciones que darémos á conocer en el tratado del calórico.

Peso específico de los líquidos á cero, siendo la unidad el agua destilada tomada á 4°.

Mercurio	13,598	Agua destilada y á 4°	1,000
Acido sulfúrico	1,841	— — á 0°	0,999
— clorhídrico	1,24	Aceite de olivas	0,915
— nítrico	1,217	Esencia de trementina	0,870
Leche	1,03	Aceite de nafta	0,847
Agua de mar	1,026	Alcohol absoluto	0,792
Vino de Burdeos	0,994	Eter sulfúrico	0,715

107. Usos de las tablas de los pesos específicos. — Numerosas son las aplicaciones de las tablas de los pesos específicos. En mineralogia dan un carácter distintivo para reconocer las especies minerales por su densidad, y sirven además para averiguar el peso de un cuerpo cuyo volúmen es conocido, ó recíprocamente para calcular el volúmen dado el peso.

En efecto, siendo respectivamente el gramo y el quilógramo el peso de un centimetro y de un decimetro cúbicos de agua, es claro que un volúmen de este liquido, medido en centimetros cúbicos, pesa tantos gramos como centimetros contiene, y que si se mide el volúmen en decimetros cúbicos, pesa el agua el mismo número de quilógramos que decimetros mide. Se tiene, pues, para el agua, la fórmula $P = V$, siempre que de peso sirvan gramos ó quilógramos, y se cuente por centimetros ó decimetros cúbicos el volúmen. Ahora bien, como el peso específico de un cuerpo no es mas que un número que establece cuánto pesa dicho cuerpo con relacion al agua, es consiguiente que un cuerpo que tiene un peso específico dos, tres veces mayor que el agua, pese tambien dos, tres veces mas. Por lo tanto, si representamos el peso específico por D, la fórmula $P = V$ se trasforma, para los demás cuerpos, en $P = VD$. Es decir, que *el peso relativo de un cuerpo es igual al producto de su volúmen por su peso específico.*

De la fórmula $P = VD$, se deduce $V = \frac{P}{D}$, fórmula que espresa el volúmen en centimetros ó en decimetros cúbicos, segun se dé en gramos ó quilógramos el peso.

Como aplicacion de la fórmula $P = VD$, propongámonos calcular el diámetro interior de un tubo de vidrio. Al efecto, se introduce en este tubo una columna de mercurio, cuya

longitud y peso á cero se determinan con exactitud. Como se puede considerar muy sensiblemente cilíndrica dicha columna de mercurio, se tiene, segun la fórmula geométrica de la medida de los cilindros, $V = \pi r^2 a$, siendo r el radio del cilindro, a su altura, y π la relacion de la circunferencia al diámetro. Reemplazando V por su valor, en la igualdad

$P = VD$, sale $P = \pi r^2 aD$, de donde $r = \sqrt{\frac{P}{\pi aD}}$.

De un modo análogo se calcularia el diámetro de un alambre metálico muy fino.

La fórmula $P = VD$ sirve para investigar el peso relativo de un cuerpo, mientras que las $P = VDg$ y $P = Mg$, dadas anteriormente (41), representan el peso absoluto.

AREOMETROS DE VOLUMEN VARIABLE.

108. Diferentes especies de areómetros. — Los areómetros de Nicholson y de Fahrenheit, que ya conocemos, se llaman *de volúmen constante y de peso variable*, porque siempre se sumergen igual cantidad en el líquido, requiriéndose para esto diversos pesos, segun los sólidos y los líquidos. Pero tambien los hay *de volúmen variable y de peso constante*, es decir, que no tienen punto fijo hasta donde sumergirse, conservando siempre el mismo peso. Estos instrumentos, denominados *pesa-sales*, *pesa-ácidos*, *pesa-licores*, no sirven para conocer los pesos específicos de los líquidos, sino para averiguar si las disoluciones salinas, los ácidos, los alcoholes están mas ó menos concentrados.

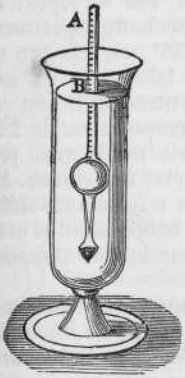


Fig. 68 (a=26).

109. Areómetro de Baumé.—Baumé, farmacéutico de Paris, muerto en 1804, construyó un areómetro de peso constante, que se ha vulgarizado mucho. Es un flotador de vidrio (fig. 68), compuesto de un vástago AB con una esfera algo gruesa, llena de aire, y debajo otra pequeña lastrada con mercurio.

De dos modos se gradúa este instrumento, segun haya de servir para líquidos mas ó menos densos que el agua. En el primer caso se regula su peso de manera que en el agua destilada, y á 4°, se introduzca próximamente hasta la estremidad superior del vástago en el punto A, donde se marca 0. Para el resto de la escala, se hace una disolucion de 85 partes de agua, en peso, por 15 de sal comun, y como esta disolucion es mas densa que el agua, el aparato solo se introduce en ella hasta B, donde se pone 15. Divídese luego el intervalo de A á B en 15 partes iguales, continuando las divisiones hasta la parte inferior del vástago, con lo cual queda graduado el instrumento. Las divisiones se señalan en una tira de papel pegada al interior del vástago.

Así construido el areómetro, solo puede servir para los líquidos mas densos que el agua, como los ácidos y las disoluciones salinas, de suerte que es á un tiempo pesa-sales y pesa-ácidos. Como para las disoluciones menos densas que el agua, debe encontrarse el cero en la parte inferior, hay que variar la graduacion. Puso Baumé el cero en el punto de enrase en una disolucion de 90 partes de agua, en peso, con 10 de sal comun, y el número 10 en el de enrase en el agua des-

tilada. Dividiendo en seguida el intervalo entre ambos puntos en 10 partes iguales, y continuando las divisiones hasta la estremidad del vástago, queda terminado el aparato que ha de servir para pesalicores.

Los dos areómetros que acabamos de describir, debidos ambos á Baumé, estan arbitrariamente graduados, de modo que no indican ni las densidades de los líquidos, ni las cantidades de sal disueltas. Sin embargo, son de gran utilidad para saber la determinada concentracion de una disolucion salina ó ácida. En una palabra, ofrecen puntos fijos, por medio de los cuales se reproducen con rapidez mezclas ó disoluciones en proporciones dadas, si no con exactitud, siquiera con la suficiente aproximacion en los mas de los casos. Por ejemplo, en la fabricacion de los jarabes ordinarios se ha comprobado esperimentalmente que el pesa sales de Baumé debe marcar 35°, en frio, en un jarabe bien confeccionado. Tiene, pues, en él el fabricante un instrumento de fácil consulta para el grado de concentracion de su jarabe. De igual manera, en el agua de mar, á la temperatura de 22°, señala 3 el pesa-sales de Baumé, cuya circunstancia es de gran precio para los baños salados que se prescriben en ciertas afecciones. En general, la proporcion que ordenan los médicos es mucho mas débil que la que marca el areómetro, es decir, que los baños salados artificiales no ofrecen la salobrez del agua del mar, por lo que tampoco son tan eficaces.

110. **Alcohómetro centesimal de Gay-Lussac.** — El alcohómetro de Gay-Lussac es un instrumento que mide la *fuerza* de los líquidos espirituosos á 15°, es decir, *el número de centésimas de alcohol puro, en volúmen, que contienen dichos líquidos á la citada temperatura.*

La forma del alcohómetro es enteramente la misma que la del areómetro de Baumé (fig. 68), pero difiere por su graduacion, verificada á 15 grados. La escala dispuesta en el vástago comprende 100 partes ó grados, que representan cada uno una centésima de alcohol en volúmen, correspondiendo la division 0 al agua pura, y la 100 al alcohol puro. Introducido el alcohómetro en un líquido espirituoso á 15° nos revela inmediatamente la fuerza de este. Por ejemplo, si en un aguardiente á 15° se sumerge el aparato hasta la division 48, nos indica con esto que 48 centésimas de su volúmen son de alcohol puro y el resto de agua; pues sabido es que los llamados *aguardientes* y *espíritus* son simples mezclas de agua y de alcohol.

Se gradúa el alcohómetro introduciéndolo sucesivamente en mezclas determinadas de agua y de alcohol; y á fin de proceder con la mayor exactitud, se aprecia la contraccion de volúmen que se nota al mezclar ambos líquidos.

Sean, al efecto, v el volúmen del agua, v' el del alcohol, y V el de la mezcla, que es menor que $v + v'$; sean, además, d' la densidad del alcohol, y δ la de la mezcla, determinada por la balanza hidrostática ó por el areómetro de Fahrenheit; siendo 1 la densidad del agua, se tiene, en peso, $v + v'd' = V\delta$, de donde $V = \frac{v + v'd'}{\delta}$.

Una vez conocido el volúmen V, se determina en la escala el número de divisiones n

correspondientes al punto de enrase en la mezcla $v + v'$ por la proporcion $\frac{100}{n} = \frac{V}{v'}$, de donde $n = \frac{100\,v'}{V}$.

Obsérvese que, graduado el aparato á 15°, solo á esta temperatura son exactas sus indicaciones; pues á temperaturas mas altas ó mas bajas los líquidos se dilatan ó se contraen, y se introduce mas ó menos el alcohómetro, es decir, que el calor altera á la vez el volúmen del líquido y las indicaciones del instrumento. Véanse, por lo tanto, dos causas de error en igual sentido, y que, reunidas, pueden llegar á mas de 12 por 100 del valor del líquido de cero á 30 grados. Para corregir estos dos errores construyó Gay-Lussac unas tablas que contienen, en una columna vertical, la temperatura de 0 á 30 grados, y en otra horizontal los grados del areómetro de 0 á 100. Luego, lo mismo que en la tabla de multiplicar, en el punto de encuentro de la vertical bajada de la casilla que contiene los grados alcohométricos con la horizontal que parte de la casilla de los grados del termómetro, se encuentra el número que indica la riqueza real del líquido espirituoso. Por ejemplo, si en un líquido de esta naturaleza á la temperatura de 22° marca el alcohómetro 36, se encuentra que la riqueza real es 33 reducido á la temperatura de 15°, es decir, que contiene los 33 centésimos de su volúmen de alcohol, y por lo tanto, 67 de agua.

111. Pesa-sales graduados sobre el mismo principio del alcohómetro centesimal. — Tambien se construyen pesa-sales fundados en el mismo principio que el alcohómetro centesimal, es decir, que dan á conocer la cantidad en peso de tal ó cual sal contenida en una disolucion. El cero de todos estos instrumentos corresponde al agua pura, y su graduacion se obtiene disolviendo 5, 10, 15, 20... gramos de la sal dada en 95, 90, 85, 80... de agua, hasta la saturacion de la disolucion. Introduciendo en seguida sucesivamente el aparato en estas disoluciones, se marca 5, 10, 15, 20... en los diversos puntos de enrase, dividiendo cada intervalo en 5 partes iguales.

Son enojosos tales instrumentos, porque cada sal requiere uno distinto; así es que el graduado para nitrato de potasa, por ejemplo, dará indicaciones completamente falsas en una disolucion de carbonato potásico ó de cualquiera otra sal.

Siguiendo el mismo principio, se han construido *pesa-leches* y *pesa-vinos*, destinados á medir la cantidad de agua que puede haber introducido el fraude en estos líquidos. Pero estos instrumentos no son muy seguros, porque siendo muy variables las densidades de la leche y del vino, aun en el mismo estado natural de estos líquidos, podria atribuirse al fraude lo que tan solo depende de la mala calidad congénita de la leche ó del vino. Muchos médicos se sirven igualmente de *pesa-orinas*, fundados sobre el mismo principio.

112. Densímetros. — Los densímetros son areómetros graduados de modo que den á conocer la densidad relativa de un líquido en vista de las divisiones sumergidas. Describirémos el de Gay-Lussac y el recientemente inventado por M. Rousseau.

1.° *Densímetro de Gay-Lussac.* — El densímetro de Gay-Lussac es en un todo semejante al areómetro de Baumé (fig. 68), sin mas diferencia que la graduacion, que varía segun haya de servir el aparato para líquidos mas ó menos densos que el agua. En el primer caso, se le lastra de manera que, en el agua pura, se introduzca hasta un punto A (figura 68), situado en la estremidad superior del vástago; eligiendo en seguida otro líquido de densidad conocida mayor que la del agua, en la razon de 4 á 3, por ejemplo, se introduce en él el aparato, que solo bajará hasta cierto punto B. Si se representan por V y por v los volúmenes sumergidos respectivamente en el agua y en el segundo líquido, como estan en razon inversa de las densidades de estos líquidos (98), se tiene

$$\frac{V}{v}=\frac{4}{3}; \text{ de donde } v=\frac{3}{4}V.$$

Suponiendo, pues, que vale 100 el volúmen V, el v valdrá 75, números que se escriben respectivamente en los puntos A y B. Siendo el volúmen AB, segun el valor de v, el cuarto de V, se divide el espacio AB en 25 partes iguales, cada una de las cuales es $\frac{1}{25}$ de AB, ó $\frac{1}{100}$ de V, es decir, del volúmen sumergido en el agua pura. Por fin, se continúan las divisiones hasta la parte inferior del vástago, que ha de tener exactamente el mismo diámetro en toda su longitud.

Para conocer la densidad de un líquido, del ácido sulfúrico, por ejemplo, basta introducir en él el densímetro, y si enrasa en la division 54.ª, indica que el volúmen del líquido desalojado está representado por 54, siendo 100 el del agua V. Como todo cuerpo flotante desaloja un peso de líquido igual al suyo (98), resulta que el volúmen de agua V, ó 100, y el del ácido sulfúrico 54, pesan lo mismo que el instrumento; pero, en igualdad de peso, los volúmenes de dos cuerpos estan evidentemente en razon inversa de sus densidades. Por consiguiente, si llamamos x á la densidad del ácido sulfúrico, y 1 la del agua, resulta $\frac{x}{1}=\frac{100}{54}$, de donde $x=\frac{100}{54}=1,85$.

Si ha de servir el densímetro para líquidos menos densos que el agua, hay que lastrarle de manera que el punto 100, que corresponde al agua destilada, se encuentre en la base del vástago. Se fija en seguida en su estremidad superior un peso igual á la cuarta parte del instrumento, el cual, si antes pesaba 100, pesará ahora 125. Se escribe, pues, este último número en frente del nuevo punto de enrase, dividiendo el intervalo de 100 á 125 en 25 partes iguales, que se continúan luego hácia arriba.

2.° *Densímetro de M. Rousseau.* — El densímetro de Gay-Lussac requiere el líquido suficiente para llenar probetas de grandes capacidades, lo cual es, en ciertos casos, un grave inconveniente, como cuando en fisiologia se examinan líquidos animales, de los cuales solo se han recogido algunos gramos. En tales casos se investiga la densidad por medio del densímetro de M. Rousseau, instrumento que se parece por su forma al areómetro de Baumé, pero que lleva en el vértice del vástago una capsulita A (fig. 69), que recibe el líquido cuya densidad se busca. En la pared de dicha cápsula se ve una señal que marca una capacidad AC de un centímetro cúbico.

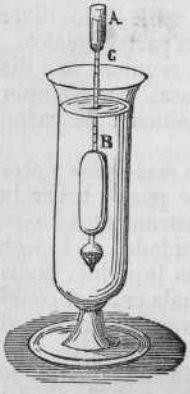


Fig. 69 (a=30).

Para graduar el instrumento, se le lastra de manera que en el agua destilada, y á 4 grados, su punto de enrase esté en B en el orígen del vástago: este punto es el cero del instrumento. Llénase, en seguida, de agua destilada y á 4 grados la capacidad que hemos dicho media un centímetro cúbico, ó lo que es lo mismo, se le añade un peso de un gramo; y luego, en el nuevo punto de enrase, se marca 20,

dividiendo el intervalo de 0 á 20 en 20 partes iguales, continuando luego las divisiones hasta el vértice del vástago. Si tiene este en toda su longitud igual diámetro, corresponde cada division á $1/20$ de gramo, ó gr. 0,05.

Si se desea obtener la densidad de un líquido, la bilis, por ejemplo, se le introduce en la capacidad AC de modo que la ocupe toda, y si el instrumento enrasa á 20 divisiones y media, se deduce que el peso de la bilis de la cápsula vale gr. $0,05 \times 20,5$, ó gr. 1,025, es decir, que, siendo iguales los volúmenes, y 1 el peso del agua, el de la bilis es 1,025. Este último número representa, pues, la densidad de la bilis con relacion al agua; porque, bajo el mismo volúmen, se hallan los pesos en la misma relacion que las densidades.

CAPITULO II.

HIDRODINAMICA.

113. Objeto de la hidrodinámica. — Se ha visto ya (77) que la hidrodinámica es la parte de la mecánica racional que trata de los movimientos de los líquidos, y que el ramo de esta ciencia, que considera especialmente la conduccion y ascenso de las aguas, se designa con el nombre de *hidrávlica*, es decir, que la hidráulica es la parte práctica de la hidrodinámica.

Se supone, en hidrodinámica, lo mismo que en hidrostática, que los líquidos son completamente incompresibles, perfectamente fluidos, y por lo tanto, sin viscosidad alguna. Pero los líquidos solo gozan de un modo imperfecto de estas propiedades, y así es que las consecuencias teóricas á que conducen se hallan simplemente con mas ó menos aproximacion acordes con los resultados de la esperiencia.

Muchos son los casos que se presentan en el movimiento de los líquidos. La salida se verifica: 1.° en un depósito de pared delgada, es decir, cuyo espesor no llega á la mitad de la menor dimension del orificio; 2.° en un depósito con tubo adicional; 3.° por tubos de gran diámetro; 4.° por tubos capilares; 5.° en un canal abierto, como los rios. Solo considerarémos los cuatro primeros casos.

114. Salida por orificios practicados en pared delgada; vena líquida. — Sea, en primer lugar, un vaso de paredes delgadas y lleno de agua. Si en un punto cualquiera de su pared hacemos un agujerito, sale el líquido mediante la influencia de dos fuerzas, que son: la gravedad que le solicita en el sentido de la vertical, y la presion del líquido que obra perpendicularmente á la pared, y proporcionalmente á la profundidad.

El chorro líquido que sale entonces se llama *vena*. Si el orificio está practicado en el fondo del depósito, la vena es vertical y rectilínea, porque actúan en el mismo sentido las dos fuerzas arriba citadas; pero si se le practica en una pared vertical ó inclinada, una de las dos fuerzas es vertical, y la otra horizontal ú oblícua. En tal caso, como

el líquido sigue la resultante, toma la vena una forma curvilínea, que, á no mediar la resistencia del aire, seria exactamente la de la curva que describen los proyectiles en el vacío, curva que se conoce con el nombre de *parábola*.

115. Constitucion de la vena. — La vena ofrece los siguientes fenómenos, que Savart estudió. Se compone de dos partes distintas: la primera, que toca al orificio, es completamente tranquila, trasparente, y parece un cilindro del mas limpio cristal; y la segunda, por el contrario, es turbia, agitada, y presenta de trecho en trecho rehenchimientos prolongados dispuestos con regularidad (fig. 70), y llamados *vientres*.

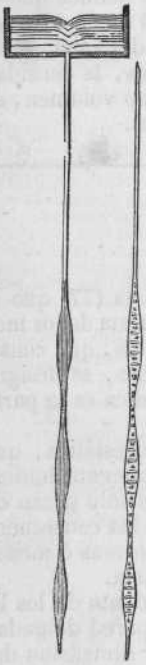


Fig. 70. Fig. 71.

Esta segunda parte de la vena no es contínua, porque cuando se hace salir un líquido opaco, como el mercurio, se ve á su través. Savart notó que constan los vientres de glóbulos descontínuos, prolongados en el sentido trasversal de la vena, y que las contracciones ó los *nodos* estan constituidos, al contrario, por glóbulos prolongados en el sentido longitudinal (fig. 71). El mismo físico comprobó además, observando la vena con una luz muy viva, que la parte clara ofrece rehenchimientos anulares que toman orígen cerca del orificio, y se propagan por intervalos iguales hasta la parte turbia, donde se separan. Estos rehenchimientos provienen de pulsaciones periódicas que se verifican en el orificio. Su número está en razon directa de la velocidad de salida, é inversa del diámetro del orificio.

Dichas pulsaciones pueden ser bastante rápidas para dar orígen á un sonido que se refuerza recibiendo la vena sobre una membrana tensa. Savart, al producir con un instrumento de música un sonido al unísono con el de la vena, modificó esta de manera que adquirieron mayor regularidad los vientres y los nodos, desapareciendo casi por completo la parte trasparente.

Por último, el mismo sabio encontró que la resistencia del aire queda sin efecto sobre la forma y las dimensiones de la vena, lo mismo que sobre el número de las pulsaciones. Observó tambien que la constitucion de las venas horizontales ú oblícuas no difiere esencialmente de la de las verticales.

116. Contraccion de la vena. — En la salida por orificios circulares en pared delgada, conserva la vena líquida una seccion circular, pero de diámetro variable, pues principia por ser igual al del orificio, decrece luego rápidamente, y á una distancia casi igual á su longitud primera, ya no tiene la seccion de la vena mas que unos dos tercios de la seccion del orificio. Si la vena se dirige de arriba abajo (fig. 70), continúa con lentitud el decrecimiento hasta la parte turbia; si es horizontal, sigue el decrecimiento de un modo

apenas sensible; y si se dirige de abajo arriba, bajo un ángulo de 25 á 45 grados, conserva sensiblemente la vena el mismo diámetro; pero pasados los 45 grados, la seccion crece desde la parte contraida hasta la turbia.

El punto en donde llega á su minimum el diámetro de la vena, se llama *seccion contraida*. La contraccion de la vena depende de las dos direcciones convergentes que toman las moléculas líquidas en el interior del vaso, al dirigirse hácia el orificio. Se hace visible este fenómeno dejando en suspension materias ténues en el agua, que se deja salir por un orificio abierto en las paredes delgadas de un vaso trasparente. Si el diámetro de la abertura es de un centímetro, se nota que á 2 ó 3 centímetros de distancia se dirigen de todos los puntos las materias en suspension hácia dicho orificio, describiendo líneas curvas, y precipitándose por él como hácia un centro de atraccion (fig. 72). Continuando en el esterior la convergencia interna, se adelgaza gradualmente la vena líquida, en términos de que las moléculas, por efecto de su accion recíproca, toman una direccion paralela ó direcciones divergentes. Forma así la vena una especie de cono truncado, cuya base mayor es el orificio, y la menor la seccion contraida.

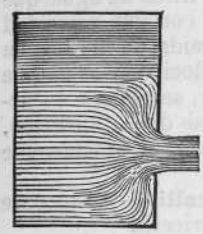


Fig. 72.

Hasta ahora habíamos supuesto circular el orificio. Dado caso que sea poligonal ó de forma no circular, no conserva la seccion de la vena la misma forma que la abertura, sino que cambia sucesivamente, á medida que se aleja, dando siempre lugar á nodos y á vientres.

117. Teorema de Torricelli sobre la velocidad de la salida. —Siempre que sale un líquido por un orificio practicado en pared delgada, sea cual fuere su forma, se determina la velocidad por medio del siguiente teorema:

Las moléculas líquidas, cuando salen por el orificio, tienen la misma velocidad que si cayeran libremente en el vacío de una altura igual á la distancia vertical del centro del orificio á la superficie del líquido en el depósito.

Fig. 73.

Se conoce este teorema con el nombre de teorema de Torricelli, que es el apellido del célebre físico que le estableció en 1643, como una consecuencia de las leyes de la caida de los cuerpos, que acababa de descubrir Galileo.

Puédesele manifestar esperimentalmente apoyándose en el siguiente principio que se demuestra en mecánica, que *cuando un cuerpo es lanzado de abajo arriba con una cierta velocidad, tiende á subir á la altura misma de que deberia caer para adquirir dicha velocidad*. En efecto, siempre que se verifica la salida de abajo arriba (fig. 73), se observa que la vena líquida llega casi á la altura del líquido en el vaso, y si no la adquiere por com-

pleto, depende de que se oponen al ascenso del líquido la resistencia del aire y el choque de las moléculas líquidas entre sí al caer. Preciso es, pues, que al salir del orificio *n*, se halle animado el líquido de la misma velocidad que adquiriria durante el descenso de la altura *mn*, á la cual tiende á llegar.

Puede comprobarse tambien el teorema de Torricelli atendiendo á la contraccion de la vena. Al efecto, se miden los litros de agua que salen de un orificio dado en la unidad de tiempo y con una velocidad constante; en seguida, midiendo la seccion contraida de la vena en decímetros cuadrados, y multiplicándola por la velocidad, espresada en decímetros, en virtud del teorema de Torricelli, se obtiene en decímetros cúbicos ó en litros un volúmen igual al que dió la medicion, con lo cual se demuestra que la velocidad calculada es exactamente la velocidad real.

118. Consecuencias del teorema de Torricelli. — Dedúcense dos importantes consecuencias del teorema de Torricelli.

1.ª Cayendo con igual velocidad todos los cuerpos en el vacío, *la velocidad de salida es independiente de la densidad del líquido.* El agua y el mercurio, por ejemplo, salen con igual velocidad, siempre que sea igual para ambos líquidos la altura del nivel sobre el orificio. Compruébase, efectivamente, de un modo esperimental, que para alturas iguales y orificios del mismo diámetro, salen volúmenes iguales de los dos líquidos en el mismo tiempo.

2.ª *La velocidad de salida, al borde del orificio, es proporcional á la raiz cuadrada de la altura del nivel, en el depósito, encima del centro del orificio.*

Hé aquí tambien otra consecuencia de las leyes de la gravedad, pues se ha visto (55) que, representando por v la velocidad adquirida por un móvil que cae en el vacío, y por a la altura de descenso, medida en metros, se tiene $v=\sqrt{2ga}$. La velocidad que se calcula mediante esta fórmula, es la *velocidad teórica.*

119. Gasto efectivo y gasto teórico. — Llámase *gasto efectivo* de un orificio el volúmen de líquido que sale por él en cada segundo; y *gasto teórico* el volúmen de líquido igual al de un cilindro ó de un prisma que tuviese por base el orificio, y por altura la velocidad teórica que nos da el teorema de Torricelli. Es decir, que el gasto teórico es el producto del área del orificio por la velocidad teórica.

El gasto efectivo es siempre menor que el gasto teórico. En efecto, aquel es evidentemente igual al producto de la seccion contraida por la velocidad media de las moléculas en el momento de atravesarla. Si fuese esta seccion la misma que la del orificio, y si dicha velocidad fuese igual á la velocidad teórica, el gasto efectivo seria idéntico al teórico; pero sucede, ó que la seccion de la vena es notablemente menor que la del orificio, como en la salida por pared delgada, ó que la velocidad, en la seccion, es menor que la teórica, conforme se ve, á causa del roce, en los orificios de las paredes gruesas. De suerte que, en ambos casos, el gasto efectivo es menor que el teórico, siendo preciso, para reducir este al primero, que se multiplique por una fraccion llamada *coeficiente de contraccion.*

El resultado de un gran número de esperimentos es que el gasto efectivo solo llega por término medio á los dos tercios del teórico.

120. Salida constante. — En muchísimos esperimentos de hidráulica es preciso que sea constante la velocidad de salida, lo cual exige la invariabilidad de la altura del líquido encima del orificio. De muchos modos se obtiene este resultado : 1.° por el *trop-plein*, haciendo llegar al depósito una cantidad de agua algo mayor que la que sale

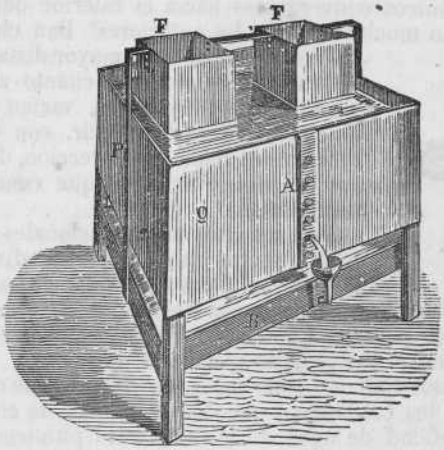


Fig. 74 (a=1m.)

por el orificio, vertiéndose el esceso á la par por los bordes ó por un agujero especial; 2.° por medio del *sifon* ó del *vaso de Mariotte*, que luego describirémos, y 3.° mediante el *flotador de Prony*.

Este aparato (fig. 74) consta de una caja PQ llena de agua y con dos flotadores FF enlazados entre sí por una varilla de hierro, y con un depósito B móvil y situado debajo de la caja. Una placa A, que forma parte de la pared de esta última, lleva varios orificios de diferentes formas y tamaños; y un embudo, colocado debajo de estos orificios, conduce al reservatorio B el líquido que fluye. Si abrimos uno de estos orificios, y suponemos que sale un quilógramo de agua, gana un quilógramo el peso de los flotadores, y por lo tanto, vistas las condiciones de equilibrio de los cuerpos flotantes (98), se introducen dichos flotadores una cantidad igual al volúmen del agua vertida, de donde resulta que en la vasija PQ permanece constante el nivel, y por lo mismo la velocidad de salida.

121. Salida por tubos adicionales. — *Tubos adicionales* (fig. 75) son los tubos que se aplican á los orificios de los depósitos para aumentar el gasto. Su forma varía, aunque siempre suele ser cilíndrica ó cónica.

En la adicion de tubos pueden ocurrir dos casos, á saber : ó la

vena líquida pasa por el tubo sin adherírsele, ó la vena se le adhiere por un efecto de la atraccion molecular entre las paredes y el líquido, y en este caso, la parte contraida de la vena se ensancha, aumentando el gasto.

En los tubos cilíndricos, para que haya aumento de gasto, es menester que su longitud sea dos ó tres veces mayor que su diámetro. Entonces sale el líquido á *boca llena*, es decir, á tubo lleno, y haciendo aumentar cerca de un tercio el gasto.

Los tubos cónicos convergentes hácia el esterior del depósito aumentan el gasto mucho mas que los anteriores. Dan chorros muy regulares y los lanzan á mayor distancia ó á mayor altura. Sus efectos, en cuanto al gasto y á la velocidad de proyeccion, varían con el ángulo de convergencia, es decir, con el ángulo que forman, mediante su proyeccion, dos lados opuestos del tronco de cono que constituye el tubo adicional.

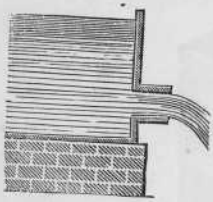


Fig. 75.

De todos los tubos adicionales, los que mas gasto producen son los cónicos divergentes hácia el esterior. Venturi dedujo de sus esperimentos que estos tubos podian dar un gasto efectivo 2, 4 veces mayor que el de un orificio en pared delgada, de igual diámetro que la base menor, y 1,46 veces mayor que el gasto teórico.

Ya los antiguos romanos conocieron la propiedad de estos tubos adicionales, pues los ciudadanos que disfrutaban de la concesion de tomar cierta cantidad de agua de los depósitos públicos, encontraban con el uso de tales tubos el medio de acrecentar los productos de su prerogativa. Y tal llegó á ser el fraude, que al fin prohibieron las leyes su uso.

122. **Salida por tubos largos y de gran diámetro.** — Cuando fluye un líquido por un tubo de gran longitud, se verifica la salida, ó por efecto de la inclinacion del tubo, como sobre un plano inclinado, ó en virtud de una presion que sufre el líquido en el orígen del tubo. Siendo contínua en ambos casos la fuerza, deberia acelerarse el movimiento; pero á cortísima distancia del orígen se nota que es uniforme el movimiento, lo cual revela que hay una fuerza que destruye constantemente el aumento de velocidad que tiende á adquirir el líquido. Esta fuerza es la resistencia que proviene de la adhesion de las moléculas líquidas entre sí y con las paredes; pero además hay que añadirla los recodos, las obstrucciones de los tubos, etc., si bien es verdad que la primera es la principal. En virtud de estas diversas resistencias, la velocidad de salida, y por consiguiente, el gasto, pueden llegar á ser, en los tubos, mucho menores que en el caso de salida por orificios en paredes delgadas.

123. **Salida por tubos capilares.** — La salida por tubos capilares, es decir, de diámetro muy pequeño, merece llamar la atencion por las aplicaciones de que es susceptible en la fisiologia. El doctor Poiseuille hizo numerosos esperimentos sobre el particular, variando

en los tubos su longitud, su diámetro y la presion que determina la salida.

Operando con tubos de vidrio, estableció las tres leyes siguientes:

1.ª *Para un mismo tubo, el gasto es proporcional á la presion.*

2.ª *A igualdad de presion y de longitud, el gasto es proporcional á la cuarta potencia de los diámetros.*

3.ª *A igualdad de presion y de diámetro, el gasto está en razon inversa de la longitud.*

Observó, además, M. Poiseuille, que la naturaleza del líquido modifica la velocidad de salida. El nitrato de potasa disuelto en el agua facilita la salida; al contrario del alcohol, que la retarda. El suero fluye con una velocidad dos veces menor que la del agua; el alcohol mezclado con el suero retarda tambien la salida; pero si á la mezcla se añade nitrato de potasa, recobra el suero su velocidad primitiva.

Hiciéronse estos diversos esperimentos con tubos de vidrio, pues se trataba de averiguar si los resultados serian los mismos que en los vasos capilares de los cuerpos organizados. Operando con animales muertos, que se les dejaba enfriar hasta la temperatura del ambiente, é inyectando suero en la arteria principal de un órgano, se comprobó que el nitrato de potasa facilitaba la salida en los capilares de los cuerpos orgánicos sin vida, lo mismo que en los tubos de vidrio; y que el alcohol, por el contrario, la retardaba.

Los esperimentos de M. Poiseuille tienden, pues, á probar que la circulacion de la sangre, en las arterias y en las venas, está sometida á las mismas leyes que la salida de los líquidos en los tubos capilares.

124. **Surtidores.** — Los *surtidores* son filetes de agua que salen con fuerza de un orificio por efecto de la presion que ejerce una columna de líquido mas ó menos elevada sobre el nivel de este orificio. Si ocupa este una pared horizontal, el surtidor es vertical; y si es oblícua la pared, está inclinado este último, y describe una curva que, sin la resistencia del aire, sería una parábola.

En virtud del principio mas arriba indicado (117), un surtidor tiende á subir á una altura igual á la del nivel del agua en el depósito; pero esto jamás sucede por las tres causas siguientes: 1.ª el rozamiento del agua en los tubos de conduccion; 2.ª la resistencia del aire; 3.ª el choque de las moléculas que suben con las que bajan.

A fin de obtener el máximum de altura del surtidor, es preciso que crezca con la longitud el diámetro de los tubos de conduccion; estos no han de ofrecer rehenchimientos ni recodos demasiado bruscos; y por último, el orificio de salida ha de practicarse en una pared delgada, estando algo inclinada la direccion del surtidor, con objeto de evitar la tercera resistencia que antes hemos espuesto.

Los orificios en pared delgada son los que dan surtidores de mayor altura, mas regulares y mas trasparentes. Los tubos adicionales cónicos dan tambien surtidores unidos y trasparentes; pero la altura solo llega á los 0,8 ó 0,9 de la de los orificios en pared delgada. Por

último, los tubos cilíndricos dan orígen á surtidores turbios, cuya altura solo es 0,66 de la correspondiente á los orificios en pared delgada.

Para que tome horizontalmente un surtidor la mayor amplitud, se encuentra, por medio del cálculo, que, aparte la resistencia del aire, debe formar con el horizonte un ángulo de 45°.

CAPITULO III.

CAPILARIDAD, ENDOSMOSIS, ABSORCION E IMBIBICION.

125. **Fenómenos capilares.** — Prodúcense, en el contacto de los sólidos y de los líquidos, una série de fenómenos llamados *capilares*, porque se observan sobre todo en los tubos de diámetro bastante pequeño para que pueda comparársele con el de un cabello. La parte de

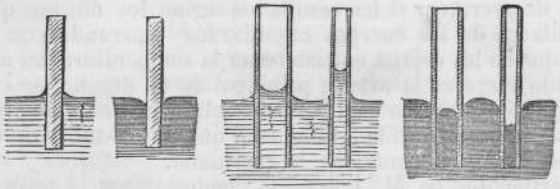


Fig. 76. Fig. 77. Fig. 78. Fig. 79.

la física que tiene por objeto el estudio de los fenómenos capilares, se designa con el nombre de *capilaridad*. Con todo, tambien se aplica esta espresion á la fuerza misma que determina tales fenómenos.

Muy variados son los efectos de la capilaridad; pero siempre dependen de la mútua atraccion de las moléculas entre sí, y de la que se ejerce entre estas moléculas y los cuerpos sólidos : tales son los siguientes fenómenos :

Cuando se introduce un cuerpo en un líquido que le moja, este último, cual si no estuviese sometido ya á las leyes de la hidrostática, se eleva alrededor del cuerpo sólido, y dejando de ser horizontal su superficie, toma una forma cóncava (fig. 76).

Si, por el contrario, no moja el líquido al sólido, conforme le sucede al vidrio en contacto con el mercurio, no sube, sino que baja la superficie afectando una forma convexa (fig. 77). La superficie del líquido adquiere la misma concavidad ó convexidad en los bordes de la vasija que lo contiene, segun moje ó no sus paredes.

Mas palpables son estos fenómenos cuando en vez de una masa sólida se introducen tubos de vidrio, huecos, de pequeño diámetro. Segun sean ó no mojados estos por el líquido, así se nota un ascenso ó una depresion tanto mayor, cuanto menor es el diámetro (fig. 78 y 79).

Si el líquido moja los tubos, la superficie de aquel toma la forma de un segmento hemisférico cóncavo, llamado *menisco cóncavo* (fig. 78), y si no los moja, forma un *menisco convexo* (fig. 79).

126. Leyes de la elevacion y depresion en los tubos capilares. — Gay-Lussac demostró esperimentalmente que el ascenso y la depresion de los líquidos, en los tubos capilares, se hallan sometidos á las tres leyes siguientes:

1.ª *Hay elevacion cuando el líquido moja los tubos, y depresion en caso contrario.*

2.ª *Esta elevacion y depresion estan en razon inversa de los diámetros de los tubos, mientras estos diámetros no pasen de dos á tres milímetros.*

3.ª *El ascenso y la depresion varían con la naturaleza del líquido y con la temperatura; pero son independientes de la sustancia de los tubos y del espesor de sus paredes, si han sido estas préviamente mojadas.*

Todas estas leyes se verifican lo mismo en el vacío que en el aire.

Para el uso de muchos aparatos, hay que conocer el valor de la depresion del mercurio en los tubos de vidrio. La siguiente tabla da tales depresiones en tubos de 2 á 10 milímetros de diámetro:

Diámetro de los tubos en milímetros.	Depresiones en milímetros.	Diámetro de los tubos en milímetros.	Depresiones en milímetros.
2	4,454	6,5	1,030
2,5	3,568	7	0,909
3	2,918	7,5	0,803
3,5	2,442	8	0,712
4	2,068	8,5	0,632
4,5	1,774	9	0,562
5	1,534	9,5	0,500
5,5	1,337	10	0,445
6	1,171		

127. Leyes de la elevacion y depresion entre dos láminas paralelas ó inclinadas. — Nótanse fenómenos análogos á los de los tubos capilares entre dos cuerpos de forma cualquiera introducidos

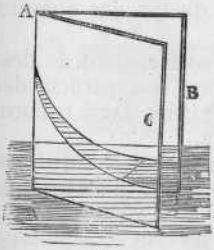


Fig. 80

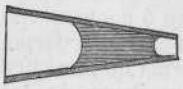


Fig. 81

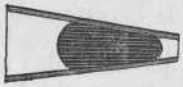


Fig. 82.

en un líquido, cuando se encuentran bastante cerca. Por ejemplo, si se introducen en el agua dos láminas de vidrio paralelas, suficientemente aproximadas para que se junten las dos curvaturas formadas en su contacto por el líquido, se observa: 1.° que *el agua sube con regularidad entre las dos láminas en razon inversa del intervalo que las se-*

para; 2.° que *la altura del ascenso, para un intervalo dado, es la mitad de la que se notaria en un tubo cuyo diámetro fuese igual á este intervalo.*

Si las láminas paralelas entran en el mercurio, se obtiene una depresion, pero siguiendo las mismas leyes.

Dos láminas ó placas de vidrio, AB y AC, inclinadas entre sí (fig. 80), é introducidas en un líquido que las moje, de manera que sea vertical su línea de contacto, asciende el líquido hácia el vértice del ángulo de las dos láminas, y su superficie, desde el punto mas alto al mas bajo, afecta la forma de una *hipérbola equilátera.*

Si es horizontal la línea de contacto de ambas láminas, conforme sucederia prolongándolas en las láminas representadas en las fig. 81 y 82, y si es muy pequeño el ángulo que al mismo tiempo forman, cualquiera gota de agua situada entre ellas se redondea en sus dos estremidades en menisco cóncavo (fig. 81), y se precipita hácia el vértice del ángulo de las dos láminas. Si, por el contrario, no moja el líquido las placas, segun le sucede al mercurio, se redondea la gota terminando en menisco convexo (fig. 82), y alejándose del vértice del ángulo.

128. Atraccion y repulsion que resultan de la capilaridad. —A la capilaridad se deben las atracciones y repulsiones que se observan entre los cuerpos que flotan en la superficie de los líquidos, y que se hallan sujetas á las siguientes leyes.

Cuando dos cuerpos flotantes son mojados por el líquido, dos esferas de corcho en el agua, por ejemplo, se desarrolla una gran atraccion apenas se encuentran bastante cerca para que ya no promedie superficie plana.

Si ninguno de los dos cuerpos es mojado, como dos bolitas de cera en el agua, se nota tambien una viva atraccion luego que se hallan en iguales condiciones que las anteriores.

Y por último, si el uno es mojado y el otro no, v. gr., una bolita de corcho y otra de cera, se rechazan cuando estan suficientemente inmediatas para que se verifique el contacto de las dos curvaturas contrarias del líquido.

Dependiendo todos los fenómenos capilares que acabamos de describir de la curvatura cóncava ó convexa que afecta la superficie del líquido que está en contacto con los cuerpos, réstanos dar á conocer la causa que determina la forma de esta curvatura.

129. Causa de la curvatura de las superficies líquidas al contacto de los sólidos. — La forma de la superficie de un líquido en contacto con un cuerpo sólido, proviene de la relacion que hay entre la atraccion del sólido con el líquido y la de este consigo mismo.

Efectivamente, sea *m* (fig. 83) una molécula líquida en contacto con un cuerpo sólido. Dicha molécula se halla sometida á tres fuerzas, que son: la gravedad que la solicita en la direccion vertical *m*P; la atraccion del líquido que actúa en la línea *m*F, y la atraccion de la placa que se ejerce en la direccion *mn*. Segun sean las respectivas intensidades de estas fuerzas, su resultante puede afectar las tres posiciones siguientes:

1.ª Si la resultante toma la direccion vertical *m*R (fig. 83), entonces la superficie en *m* es plana y horizontal, porque en virtud de las condiciones de equilibrio de los líquidos (87), ha de ser perpendicular su superficie á la direccion de la fuerza que solicite sus moléculas.

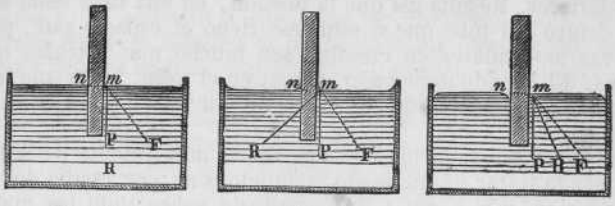


Fig. 83. Fig. 84. Fig. 85.

2.ª Si aumenta la fuerza *n* ó disminuye F, la resultante R se dirige al ángulo *nm*P (fig. 84), en cuyo caso la superficie toma una direccion inclinada perpendicular á *m*R, y es cóncava.

3.ª Aumentando la fuerza F, ó disminuyendo *n*, toma la resultante R la direccion *m*R (fig. 85) en el ángulo P*m*F, y la superficie queda convexa, por disponerse perpendicularmente á dicha direccion.

El cálculo demuestra que, en el primer caso, la atraccion del líquido sobre sí mismo es doble de la del sólido sobre el líquido; en el segundo, la atraccion de este es menor que el doble de la de aquel, y en el tercero es mayor.

130. **Influencia de la curvatura del líquido en los fenómenos capilares.**—De la forma cóncava ó convexa del menisco depende el ascenso ó la depresion de un líquido en un tubo capilar. En efecto, si se considera un menisco cóncavo *abcd* (fig. 86), como estan

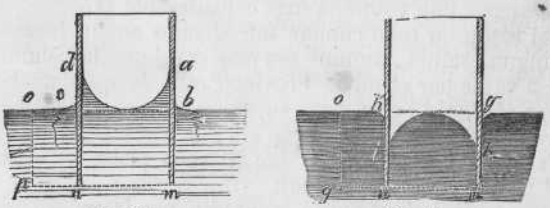


Fig. 86. Fig. 87.

mantenidas en equilibrio sus moléculas líquidas por las fuerzas que las solicitan (117), no ejercen presion alguna sobre las capas inferiores, y además actúan, en virtud de la atraccion molecular, sobre las secciones inferiores mas inmediatas, de donde resulta que sobre una capa cualquiera *mn*, considerada en el interior del tubo, es menor la presion que si no hubiese menisco. De consiguiente, segun las condiciones de equilibrio de los líquidos (81 y 87), debe subir el líquido en el tubo hasta que la presion interior sobre la capa *mn* sea igual á la presion *op* que se ejerce esteriormente sobre un punto cualquiera *p* de la misma capa.

En el caso de ser convexo el menisco (fig. 87), hay tambien equilibrio en virtud de las fuerzas moleculares que solicitan al líquido; pero suprimidas las moléculas que habian de ocupar el espacio *ghik*, á no haber accion capilar, ya no obran por atraccion sobre las moléculas inferiores. Resulta así que la presion, en una capa dada *mn*, es mayor dentro del tubo que si estuviese lleno el espacio *ghik*, porque las fuerzas moleculares en cuestion son mucho mas intensas que la gravedad. El líquido debe bajar, pues, en el tubo, hasta que la presion interna, en la capa *mn*, sea la misma que en un punto cualquiera de dicha capa.

La teoría de la capilaridad es una de las mas difíciles de la física, y no se puede tratar de un modo completo sino por medio del análisis matemático, y por eso la han estudiado sobre todo los matemáticos, y en Francia particularmente los señores Clairaut, Laplace y Poisson. Tal cual acabamos de darla á conocer, esplica esta teoría el ascenso y la depresion de los líquidos, no solo en los tubos, sino tambien entre las láminas paralelas ó inclinadas. Esplica igualmente las atracciones y las repulsiones que se observan entre los cuerpos flotantes (128).

131. Diversos hechos que dependen de la capilaridad.—Entre los muchos fenómenos que reconocen por causa la capilaridad, citarémos los siguientes:

Cuando un tubo capilar se halla introducido en un líquido que lo moja, si se le saca con precaucion, se nota que la columna líquida que queda suspendida en el tubo es mayor que el ascenso que se notaba durante la inmersion. Depende esto de que el tubo arrastra consigo una gota líquida que adhiere á su parte inferior, formando en ella un menisco convexo, cuya accion concurre con la del cóncavo superior para sostener una columna mas considerable (130).

Por igual razon un tubo capilar introducido en un líquido no determina ninguna salida, aunque sea mas corto que la columna líquida que tiende á subir por el tubo. Proviene esto de que en el momento en que llega el líquido á la parte superior del tubo, la superficie que á ella corresponde, de cóncava que era, se vuelve convexa, y por lo tanto, siendo mayor la presion que si fuera plana su superficie, se contiene el movimiento ascensional.

Vénse á menudo insectos que se pasean por la superficie del agua sin hundirse, porque, no mojando el líquido sus patas, se forma alrededor de ellas una depresion que sostiene á los insectos á pesar de su peso, así como el agua se sostiene en los tubos. Mediante una depresion análoga, una aguja fina, colocada suavemente sobre el agua, permanece en la superficie, si se le ha dado una capa de materia grasa, porque entonces no es mojada; pero lavándola con alcohol ó con potasa, se va al fondo.

Por un efecto capilar tambien sube el aceite por las mechas de las lámparas y se penetran de jugos las maderas, las esponjas, y en general todos los cuerpos que poseen poros sensibles (15). Por último, con los nombres de endósmosis, de absorcion y de imbibicion, vamos

á dar á conocer nuevos fenómenos que guardan gran analogía con la capilaridad, como que frecuentemente se confunden con ella.

ENDOSMOSIS, ABSORCION E IMBIBICION.

132. Endósmosis y exósmosis.—Se han dado los nombres de *endósmosis* y de *exósmosis* á corrientes de direccion contraria que se establecen entre los líquidos de diferente naturaleza, cuando se hallan separados por un tabique delgado y muy poroso, orgánico ó inorgánico. Estas espresiones, que significan *corriente entrante* y *corriente saliente*, han sido adoptadas por M. Dutrochet, que fué quien, en 1826, dió á conocer de un modo completo dichos fenómenos, muy poco estudiados hasta entonces. Compruébanse tales corrientes por medio del *endosmómetro*. Así se denomina una bolsa membranosa terminada en un tubo largo, á cuyo alrededor se fija herméticamente por medio de una ligadura (fig. 88). Llena esta bolsa de una disolucion muy gomosa ó de otro líquido mas denso que el agua, como la leche, la albúmina, una disolucion de azúcar, etc., se la introduce en una vasija llena de agua. Nótase muy pronto que el nivel sube poco á poco en el tubo, á una altura de muchos decímetros, y que desciende en la vasija que contiene al endosmómetro, deduciéndose de aquí que parte del agua pura pasó al través de la membrana para ir á mezclarse con el líquido del interior. Compruébase además que al cabo de cierto tiempo contiene goma el agua de la vasija; claro está, pues, que ha habido una corriente en ambos sentidos. Dícese entonces que hay endósmosis para el líquido cuyo volúmen aumenta, y exósmosis para el que disminuye de volúmen. Si se pone agua pura en la bolsa membranosa, introduciéndola en agua gomosa, se produce tambien endósmosis del agua pura á la gomosa, es decir, que el nivel sube en el esterior.

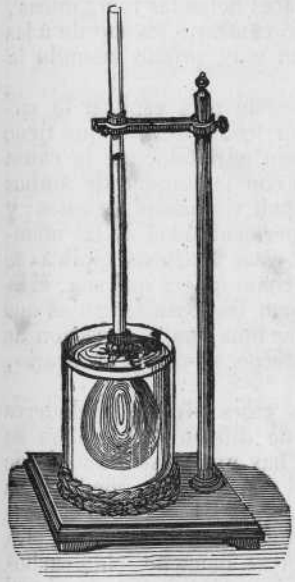


Fig. 88.

La altura de ascension varía en el endosmómetro con los diferentes líquidos. De todas las sustancias vegetales, el azúcar disuelto es el que, en igualdad de densidades, presenta mayor poder endosmométrico, y de las animales la albúmina. La gelatina, por el contrario, le ofrece muy débil; y en general, la corriente de endósmosis se dirige hácia el líquido mas denso. Con todo, el alcohol y el éter constituyen una escepcion, pues se comportan con el agua como líquidos mas densos. Con los ácidos, segun esten mas ó menos diluidos, hay endósmosis del agua hácia ellos, ó vice-versa.

M. Dutrochet observó que, para que se produzcan los fenómenos de endósmosis, es preciso: 1.° que los líquidos sean heterogéneos y susceptibles de mezclarse, por ejemplo, el agua y el alcohol, pues entre el aceite y el agua nada se verifica; 2.° que los dos líquidos tengan diversa densidad; 3.° que el tabique intermedio sea permeable por lo menos á uno de ellos.

Todas las sustancias vegetales y animales son permeables, y en cuanto á las inorgánicas, como las pizarras, los gres, la porcelana sin barnizar, la tierra de pipa poco cocida, etc., son tanto menos permeables, cuanto mas sílice contienen. La tierra de pipa, que es mas aluminosa que la porcelana, es tambien mas permeable; razon por la que se apega á la lengua.

Débil es la corriente al través de las placas delgadas inorgánicas, pero puede continuarse indefinidamente. Lo contrario les sucede á las membranas orgánicas, que se desorganizan muy pronto cesando la endósmosis.

Muchas son las teorías que se han propuesto para esplicar la endósmosis. Unos la han atribuido á una corriente eléctrica que tiene igual direccion que la endósmosis; otros han admitido que la causa del fenómeno era nna accion capilar, unida con la afinidad de ambos líquidos; algunos han creido en una desigual viscosidad de estos; y varios lo atribuyen á la mayor ó menor permeabilidad de las membranas para tal ó cual líquido. Ninguna de estas hipótesis esplica de un modo satisfactorio la endósmosis; pero como quiera que sea, el fenómeno se enlaza al parecer íntimamente con las mismas causas que determinan la capilaridad. Sin embargo, se nota que la elevacion de temperatura que activa la endósmosis, entorpece, por el contrario, las acciones capilares.

133. **Endósmosis de los gases.** — Los gases ofrecen verdaderos fenómenos de endósmosis. Si dos gases de diferente naturaleza se hallan separados por una membrana seca, hay una simple mezcla de corrientes iguales por ambos lados; pero si está húmeda, media ya la endósmosis, ó sean corrientes desiguales. Para practicar el esperimento, se encierra una vejiga llena de ácido carbónico dentro de otra mayor que contenga oxígeno. Esta última se llena de ácido carbónico, lo cual prueba que hay endósmosis de este á aquel. De igual manera, si se forma una burbuja de jabon y se la coloca debajo de una campana llena de ácido carbónico, se nota que se va dilatando ó agrandando.

134. **Absorcion é imbibicion.** — Casi sinónimas son en física las palabras *absorcion é imbibicion*, pues ambas indican una penetracion de una sustancia estraña en un cuerpo poroso. Con todo, la absorcion se aplica indistintamente á los líquidos y á los gases, mientras que la imbibicion no se estiende mas que á los primeros.

En fisiologia se distingue la absorcion de la imbibicion, pues mediante el primer fenómeno penetra una sustancia estraña en los tejidos de un ser viviente, mientras que con el segundo solo se espresa la penetracion en cuerpos porosos sin vida, sean ó no orgánicos. En una

palabra, en la absorcion entran en juego las fuerzas vitales, y en la imbibicion no.

135. **Absorcion de los gases.** —La propiedad de absorber los gases, en el sentido físico, pertenece á todos los cuerpos dotados de poros sensibles (15), pero en grados muy variables. Esta propiedad sobresale especialmente en el carbon de encina. Apagado debajo de una campana llena de un gas, absorbe, á la presion ordinaria, 90 veces su volúmen de amoniaco, 35 de ácido carbónico y 9 de oxígeno. Mojado, absorbe el carbon dos veces menos, demostrándose así que debe su propiedad absorbente á la porosidad, y por lo mismo, á una accion capilar. El poder absorbente del carbon de abeto es dos veces menor que el de encina, y el de corcho, que es sumamente poroso, no absorbe la mas mínima cantidad, sucediéndole otro tanto al carbon natural muy compacto llamado grafito. Dedúcese de todo esto que, siendo la porosidad una condicion esencial de la absorcion de los gases, han de encontrarse, sin embargo, comprendidos los poros entre ciertos límites.

136. **Fenómenos de absorcion en las plantas.** — En el reino vegetal se verifica la absorcion por todas las partes de las plantas, pero sobre todo por las esponjuelas en que terminan las raices, y por las hojas. Por el intermedio de estos órganos son absorbidos, en el estado de agua, de ácido carbónico y de amoniaco, el oxígeno, el hidrógeno, el carbono y el nitrógeno necesarios para la nutricion de aquellos.

Los líquidos y las sales que ellos tienen en disolucion son absorbidos primero por las raicillas, mediante un doble fenómeno de endósmosis y de capilaridad, y luego, la sávia, elaborada por el vegetal, aumenta en densidad en las partes superiores, debiéndose tambien á la endósmosis su direccion ascendente. Por último, el ascenso de la sávia está favorecido además por el vacío que tiende á producirse en las partes altas de la planta por efecto de la exhalacion que se opera en las hojas. En cuanto á la accion capilar, no puede hacer ascender los líquidos mas que en las celdillas inferiores, sin producir corriente.

El doctor Boucherie, de Burdeos, hizo una feliz aplicacion de la propiedad absorbente de los vegetales para la introduccion, en el tejido de las maderas, de sales que les comuniquen colores mas ó menos vivos, ó que les aumenten su flexibilidad y su tenacidad, ó que las vuelvan menos combustibles.

137. **Fenómenos de absorcion en los animales.** —En los animales inferiores, cuyos tejidos no constan mas que de celdillas, se efectúa todo como en los vegetales, por imbibicion y por endósmosis. La imbibicion en algunos es una verdadera endósmosis

En los animales superiores hay absorcion. Por ejemplo, la rubia, tomada interiormente por estos animales, penetra hasta los huesos, colorándolos de rojo, y si un líquido se halla en contacto con una superficie cutánea sin epidermis, ó con una membrana mucosa, como son muy vasculares estas superficies, pasa el líquido á los vasos por un efecto de endósmosis, constituyendo así la absorcion.

Cuanto mas líquida es una sustancia, con mas facilidad es absorbida; si bien es necesario para la absorcion que mojen los líquidos á las membranas. Por eso no son absorbidas las grasas, porque no las mojan; no obstante de que M. Bernard encontró que lo son fácilmente estando emulsionadas con el jugo pancreático. Recientemente observó el doctor Loze que, emulsionando de igual manera el aceite de hígado de bacalao, medicamento que tanta boga ha adquirido en estos últimos años, goza de mas energía por ser absorbido con mas prontitud.

Favorecen á la absorcion y á la endósmosis, el calor, la deplecion y una abundante traspiracion ó una sangría.

LIBRO CUARTO.

DE LOS GASES.

CAPITULO PRIMERO.

PROPIEDADES DE LOS GASES, ATMOSFERA, BARÓMETROS.

138. Caractéres físicos de los gases. — Los *gases* ó *fluidos aeriformes* son cuerpos de moléculas perfectamente movibles y en un estado contínuo de repulsion que se designa con el nombre de *espansibilidad*, de *tension* ó de *fuerza elástica*, de donde toman frecuentemente el nombre de *fluidos elásticos*.

Dividense los fluidos elásticos en dos clases, que son : los *gases permanentes*, ó gases propiamente dichos, y los *gases no permanentes* ó *vapores*. Los primeros son los que persisten [1] en el estado aeriforme, sea cual fuere la presion y la baja temperatura á que se les someta, como el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno, el bióxido de nitrógeno y el óxido de carbono. Los gases no permanentes, por el contrario, pasan con mas ó menos facilidad al estado líquido, por medio de un esceso de presion ó del enfriamiento. Con todo, no es rigurosa esta distincion, porque muchos gases, tenidos por permanentes, han dejado de serlo en manos de Faraday y de otros físicos, debiéndose admitir que los no liquidados hasta ahora han sido por falta de gran presion ó de suficiente baja temperatura. Por esto se llaman, en general, *gases* los cuerpos que solo se presentan aeriformes á la temperatura y presion ordinarias, mientras que se entiende por *vapor* el estado aeriforme que toman, por efecto del calórico, varios cuerpos que, como el agua, el alcohol y el éter, son líquidos á las presiones y temperaturas ordinarias.

Treinta y cuatro gases se conocen en química : 4 de ellos simples, que son : el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno y el cloro; tan solo 7 se presentan libres en la naturaleza, á saber : el oxígeno, el nitrógeno, el ácido carbónico, el proto y el bi-carburo de hidrógeno, el amoniaco y el ácido sulfuroso. Todos los demás no se obtienen sino por medio de las reacciones químicas.

139. Fuerza espansiva de los gases. — La fuerza espansiva de los gases, es decir, su tendencia á tomar siempre un volúmen mayor, se demuestra del modo siguiente : se coloca debajo del recipiente de la máquina neumática una vejiga con llave, que contenga una corta cantidad de aire, mojándola antes para que sea mas flexible. Equilí-

---

[1] Mas bien diríamos *que han persistido hasta ahora*, porque es posible que, aumentando las presiones y disminuyendo la temperatura, deje de existir *todo gas permanente*. *(N. de J. P.)*

branse primero la fuerza elástica del aire del recipiente y la del aire de la vejiga; pero luego que se principia á hacer el vacío, se debilita la presion que esta sufria, hinchándose cada vez cual si la rellenaran (fig. 89), y quedando así demostrada la fuerza elástica del gas que contiene. Si se deja penetrar luego el aire esterior, comprimida de nuevo la vejiga, vuelve á adquirir su volúmen primitivo. De igual manera se comprueba la fuerza espansiva de todos los gases.

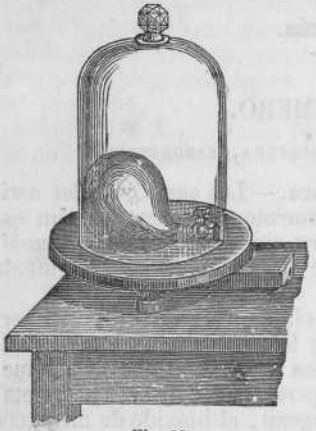


Fig. 89.

Parecia natural que los gases se salieran instantáneamente de las vasijas abiertas que los contienen, vista su fuerza espansiva; y, en verdad, tal es lo que sucederia en el vacío, pero no en el aire libre, cuya presion es un gran obstáculo. Con todo, apresurémonos á decir que esto solo es exacto para el aire mismo, pues la esperiencia demuestra que no es posible equilibrar la fuerza espansiva de un gas, sino mediante la presion de una masa gaseosa de la misma naturaleza que él. Por ejemplo, la presion del aire no puede equilibrar la fuerza espansiva del hidrógeno ó del ácido carbónico; porque si bien es verdad que no escapan estos fluidos cual lo harian en el vacío, sin embargo, se mezclan rápidamente los dos fluidos interior y esterior.

Mas adelante demostrarémos que la fuerza elástica de los gases es siempre igual y contraria á la presion que sufren, y que crece con la temperatura.

140. Trasvasacion de los gases. — Los gases pueden ser trasvasados de una vasija á otra lo mismo que los líquidos. Sale muy bien el esperimento con el ácido carbónico, que es mucho mas denso que el aire. Se principia por llenar una campana de aquel gas, recogiéndole en una cuba de agua, y luego, tomando otra campana de igual capacidad llena de aire, se coloca la primera invertida encima (fig. 90), teniéndolas así un rato inmóviles. El ácido carbónico, en virtud de su mayor densidad, pasa lentamente de la campana *m* á la *n*, de la cual espulsa al aire, de manera que muy pronto se halla la *n* con ácido carbónico, y la *m* con aire; como se comprueba, valiéndonos de la propiedad que posee el ácido carbónico de apagar los cuerpos en

Fig. 90.

combustion. En efecto, antes del esperimento, arde una vela encendida en la campana *n*, y se apaga en la otra, mientras que despues tiene lugar lo contrario.

141. Peso de los gases. — Los gases eluden, al parecer, por su gran fluidez, y sobre todo por su espansibilidad, las leyes de la gravedad; mas, por sutiles que sean tales fluidos, obedecen á dicha fuerza, lo mismo que los sólidos y los líquidos. Para comprobarlo, se suspende, debajo del platillo de una balanza muy sensible, un globo de cristal de 3 á 4 litros, cuyo cuello tiene una llave que cierra herméticamente. Pésase primero el globo lleno de aire, y despues de hecho el vacío, se le pesa de nuevo, notándose en la segunda pesada que es muchos gramos mas ligero, circunstancia que nos patentiza el peso del aire estraido del globo.

Conociendo de antemano el volúmen del globo, en litros, se averigua de esta suerte que un litro de aire puro, á la temperatura de 0°, y bajo la presion atmosférica de $0^m,76$ (149), pesa gr. 1,3. Un litro de hidrógeno, que es el gas mas ligero, pesa gr. 0,09, es decir, unas 14 ½ veces menos que el aire; y uno de ácido iodhídrico, que es el gas mas denso, pesa gr. 5,776.

142. Presiones ejercidas por los gases. — Los gases ejercen sobre las moléculas de su masa y sobre las paredes de las vasijas que los contienen presiones que podemos considerar bajo dos puntos de vista: 1.° prescindiendo de la gravedad; 2.° tomando en consideracion esta fuerza. Si en una masa gaseosa que está en equilibrio en una vasija prescindimos de su peso para no fijarnos mas que en su espansibilidad, se trasmiten las presiones debidas á esta con la misma intensidad sobre todos los puntos de las paredes y de la masa fluida, porque la fuerza repulsiva que se ejerce entre las moléculas es la misma en todos los puntos y actúa con igualdad en todas las direcciones, lo cual es una consecuencia de la elasticidad y de la perfecta fluidez de los gases. Pero si se toma en cuenta la accion de la gravedad, origina esta fuerza presiones sometidas enteramente á las mismas leyes que rigen para los líquidos (81), es decir, que crecen proporcionalmente á la densidad de los gases y á la profundidad; son constantes para una misma capa horizontal, é independientes de la forma de la masa gaseosa. En cuanto á la fuerza espansiva del gas, es en tal caso igual y contraria en cada punto á la presion que sufre, creciendo, de consiguiente, con la profundidad. En pequeñas masas gaseosas es despreciable su débil presion; mas, en grandes masas, como la atmósfera, pueden ser considerables las presiones debidas á la gravedad.

143. Composicion de la atmósfera. — Se da el nombre de *atmósfera* á la capa de aire que envuelve á nuestro globo, al cual sigue en su movimiento por el espacio.

El aire era para los antiguos uno de los cuatro elementos que admitian; pero la química moderna ha descubierto que es una mezcla de nitrógeno y de oxígeno en la relacion, en volúmen, de 79,20 del primero por 20,80 del segundo. En peso, su composicion es de 23,01 de oxígeno y 76,99 de nitrógeno.

Hay tambien en la atmósfera vapor de agua en cantidad variable, segun la temperatura, las estaciones, los climas y la direccion de los vientos. Por último, contiene el aire de 3 á 6 diez milésimas de ácido carbónico en volúmen.

El ácido carbónico del aire proviene de la respiracion de los animales, de las combustiones y de la descomposicion de las sustancias orgánicas. Segun M. Boussingault, se forma aproximadamente en Paris en 24 horas la siguiente cantidad de ácido carbónico :

Por la poblacion y los animales. . .	336,777	metros cúbicos.
Por diversas combustiones..	2.607,864	— —
Total.	2.944,641	metros cúbicos.

A pesar de esta produccion permanente de ácido carbónico en la superficie del globo, no se modifica, al parecer, la composicion de la atmósfera, lo cual proviene de que, en el acto de la vegetacion, las partes verdes de los vegetales descomponen el ácido carbónico por la influencia de la luz solar, se asimilan su carbono y restituyen así á la atmósfera el oxígeno que de contínuo le estan quitando la respiracion de los animales y las combustiones.

144. Presion atmosférica. — Si suponemos dividida la atmósfera en capas horizontales, el aire comprime, mediante su peso, las capas inferiores, de donde resulta que, decreciendo evidentemente esta presion con el número de capas, se presenta tanto mas enrarecido el aire, cuanto mas se sube en la atmósfera.

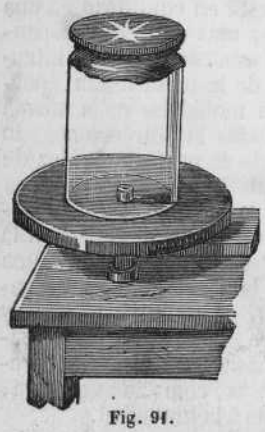


Fig. 91.

Parecia natural, en vista de la fuerza espansiva del aire, que las moléculas de la atmósfera debieran difundirse indefinidamente por los espacios planetarios. Pero es el caso que, por efecto de la misma dilatacion, disminuye cada vez mas la fuerza espansiva del aire; y si á esta circunstancia añadimos la baja temperatura de las altas regiones de la atmósfera, resulta que llega un momento en que se establece el equilibrio entre la fuerza espansiva de las moléculas del aire y la accion de la gravedad que las solicita hácia el centro de la tierra, de suerte que no puede menos de ser limitada la atmósfera.

Atendidos el peso de la atmósfera, su decrecimiento en densidad y la observacion de los fenómenos crepusculares, se evalúa su altura en 50 á 60 quilómetros. Pasado este límite sigue un aire sumamente enrarecido, y á unos 100 quilómetros se admite un vacío absoluto.

Supuesto que un litro de aire pesa 1gr,3 (141), claro está que la atmósfera toda ha de ejercer una considerable presion en la superficie

del globo. Se demuestra esta presion por medio de los siguientes esperimentos.

145. Rompe-vejigas. — El *rompe-vejigas* es un cilindro de vidrio, que por un estremo se aplica á la máquina neumática, y en el otro lleva bien ajustada una membrana orgánica (fig. 91). Apenas principia á hacerse el vacío, se deprime la membrana por efecto de la presion atmosférica, rompiéndose al fin con fuerte detonacion causada por la súbita entrada del aire.

146. Hemisferios de Magdeburgo. — El rompe-vejigas no demuestra la presion atmosférica mas que de arriba abajo; pero los hemisferios de Magdeburgo, así llamados de la ciudad en que fueron

Fig. 92.

Fig. 93.

inventados por Otto de Guéricke, revelan que se trasmite en todos sentidos. Consta este aparato de dos hemisferios huecos (fig. 92), con una rodela anular de cuero impregnada de sebo, á fin de conservar el vacío cuando se hallan en contacto los bordes. Uno de los hemisferios lleva una llave para atornillarla á una máquina neumática, y el otro una sortija. Si se ponen en contacto los dos hemisferios, podremos separarlos sin dificultad cuantas veces queramos, antes de hacer el vacío, porque hay equilibrio entre la fuerza espansiva del aire interior y la presion esterior de la atmósfera; pero hecho el vacío, ya no es posible separarlos sin un gran esfuerzo, sea cual fuere la posicion del aparato (fig. 93), con lo cual queda demostrado que la presion atmosférica se ejerce en todos sentidos.

MEDIDA DE LA PRESION ATMOSFERICA : BAROMETROS.

147. **Esperimento de Torricelli.** — Los dos esperimentos anteriores demuestran la existencia de la presion atmosférica, pero no determinan su valor.

El siguiente, hecho la primera vez por Torricelli, discípulo de Galileo, en 1643, da la medida exacta del peso de la atmósfera.

Se toma un tubo de vidrio de 80 centímetros de longitud por lo menos, de 5 ó 6 milímetros de diámetro interior, y cerrado por una de sus estremidades. Teniendo este tubo en la posicion vertical CD (fig. 94), se le llena de mercurio, y luego, cerrando la abertura C con el pulgar, se vuelve el tubo y se introduce la estremidad abierta en una cubeta llena del mismo mercurio. Quitando entonces el dedo, baja algunos centímetros la columna de mercurio, conservando al nivel de los mares una altura AB que, por término medio, es igual á 76 centímetros

Como en este esperimento se forma un vacío sobre el nivel A del mercurio, no sufre ninguna presion en el tubo este líquido, mientras que en la cubeta se halla sometido á la atmosférica. Esta es, pues, la presion que, gravitando sobre el mercurio de la cubeta, sostiene la columna AB en el interior del tubo; de donde se deduce que la presion atmosférica equivale, por término medio, al peso de una columna de mercurio que tenga $0^m,76$ de altura; pero si aumenta ó disminuye el peso de la atmósfera, es escusado advertir que otro tanto le sucederá á la columna AB de mercurio.

Fig. 94.

148. **Esperimentos de Pascal.** — Tratando de cerciorarse Pascal de que la fuerza que sostenia al mercurio en el tubo de Torricelli era realmente la presion atmosférica, recurrió á los dos esperimentos siguientes: 1.° previendo que debia bajar en el tubo la columna de mercurio á medida que se sube en la atmósfera, porque entonces disminuye la presion, rogó á un pariente suyo de la Auvernia que repitiera el esperimento de Torricelli en Puy-de-Dome. La columna bajó unos 8 centímetros, lo cual demuestra que realmente la sostiene el peso de la atmósfera, porque si este disminuye, lo propio le pasa á aquella; 2.° repitió Pascal el esperimento de Torricelli en Rouen, en 1646, con el agua.

Tomó un tubo de 15 metros de longitud, y cerrado por arriba, le llenó de agua y lo colocó invertido en un depósito del mismo líquido, y entonces pudo observar que se quedaba el líquido á una altura de $10^{m},33$, es decir, 13,6 veces mayor que la del mercurio; y como el agua es 13,6 menos densa que este líquido, claro está que el peso de la columna de agua es igual al de la de mercurio en el esperimento de Torricelli. No cabe, pues, la menor duda acerca de que la presion de la atmósfera era la que sucesivamente sostenia á ambos líquidos.

149. **Valor de la presion atmosférica en quilógramos.** — Vista la altura á que se equilibra el mercurio en el tubo de Torricelli, puede evaluarse fácilmente en quilógramos la presion de la atmósfera sobre una superficie dada. Admitamos que vale un centímetro cuadrado la seccion interior del tubo; en tal caso, la columna de mercurio es un cilindro de un centímetro cuadrado de base y de 76 de altura, por lo que su volúmen será igual á 76 centímetros cúbicos, pues la medida del volúmen de un cilindro es el producto de su base por su altura. Como un centímetro cúbico de agua pesa un gramo, uno de mercurio debe pesar 13,6, supuesto que este líquido es 13,6 veces mas denso que el agua; de donde se deduce que el peso de la columna de mercurio equivale á $13^{gr},6 \times 76 = 1033$ gr. $= 1$ quil. y 33 gr. Sobre un decímetro cuadrado que contiene 100 centímetros cuadrados, vale la presion atmosférica 103 quilógramos 300^{gr}, y sobre un metro cuadrado, que comprende 100 decímetros cuadrados, tiene el valor de 10,330 quil.

La presion media que sufre un hombre es igual á 15,500 quil., porque se evalúa en metro y medio cuadrado la superficie total del cuerpo humano en un individuo de talla y corpulencia ordinarias. Parecerá á primera vista que debiera aplastarnos presion tan considerable, pero la resiste el cuerpo, merced á la reaccion de los fluidos elásticos que contiene. No dificulta en manera alguna los movimientos de nuestros miembros, porque, ejerciéndose en todas direcciones la presion atmosférica, sufrimos en todos sentidos presiones iguales y contrarias que se equilibran, y que son mas á propósito para sostenernos que para agobiarnos. En efecto, durante los dias en que mas débil es la presion atmosférica, esperimentamos un malestar que nos hace decir que *el tiempo está pesado*, siendo así que debiéramos decir lo contrario.

150. **Diferentes especies de barómetros.** — Dáse el nombre de *barómetros* á unos instrumentos que sirven para medir la presion atmosférica. En los barómetros ordinarios se mide esta presion por la altura de una columna de mercurio en un tubo de cristal, como el del esperimento de Torricelli: tales son los barómetros que vamos á describir, y que se dividen en barómetros de cubeta, de sifon y de cuadrante. Además, se construyen barómetros sin mercurio, como el de M. Bourdon, notable por su sencillez y su escaso volúmen.

151. **Barómetro de cubeta.** — El *barómetro de cubeta* (fig. 95) se compone de un tubo de vidrio de unos 85 centímetros de longitud, lleno de mercurio é introducido en una cubeta llena de este metal. Tal

es el aparato descrito con el nombre de tubo de Torricelli (fig. 94). A fin de que sea mas portátil el barómetro y menos sensibles las variaciones de nivel en la cubeta, cuando sube ó baja el mercurio en el tubo, se han dado á aquella muchas formas.

La cubeta consta de dos cavidades *m* y *n*, de las que la mayor está masticada en el tubo, y no comunica con la atmósfera mas que por una pequeña abertura recubierta de una rodajita de piel *a*, que se ve representada sobre la pared superior de la cubeta, cerca del tubo. Debajo de la primera cavidad está la mas pequeña *u*, completamente llena de mercurio, mientras que la primera no lo está mas que parcialmente. Estos dos compartimientos se hallan reunidos por una parte estrecha, en la que penetra la estremidad del tubo barométrico A. Este no cierra por completo la tubuladura que reune los dos compartimientos, sino que deja un intervalo suficientemente pequeño para que la capilaridad no permita que se salga el mercurio de la cavidad *n*, al inclinar ó al invertir el barómetro. De consiguiente, en todas las posiciones se halla introducida en el líquido la punta aguzada del tubo, sin que en este pueda penetrar el aire.

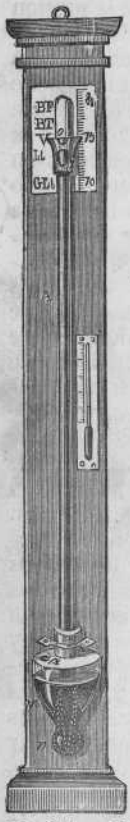


Fig. 95 (a=72).

Todo el aparato se halla fijo en una tabla de caoba que lleva en su parte superior una escala graduada en milímetros á partir del nivel del mercurio en la cubeta; y un anillo móvil *i* sirve para comprobar en la escala el nivel *o* del mercurio.

Este barómetro, así como todos los del mismo género, es poco preciso, porque el cero de la escala no corresponde invariablemente al nivel del mercurio en la cubeta. En efecto, como no es constante la presion de la atmósfera, varía este nivel siempre que aumenta ó disminuye dicha presion, porque en tales casos pasa del tubo á la cubeta, ó vice-versa, cierta cantidad de mercurio, resultando de aquí que casi nunca indica la graduacion de la escala la verdadera altura del barómetro. Muy pronto verémos que el de Fortin evita esta causa de error.

Llámase *altura* del barómetro la diferencia de nivel del mercurio en el tubo y en la cubeta. Como la presion que por su peso ejerce el mercurio en la base del tubo es independiente de la forma de este y de su diámetro (83), con tal que no sea capilar, á su vez tambien la altura del barómetro es independiente del diámetro del tubo y de su forma recta ó curva; pero esta altura se halla en razon inversa de la densidad del líquido. La altura media del barómetro de mercurio al nivel del mar es de $0^m,76$; y en uno de agua seria $10^m,33$.

152. **Barómetro de Fortin.** — El *barómetro de Fortin*, así llamado del apellido de su inventor, es de cubeta; pero difiere esta de la del

ordinario (151). El fondo es de piel de gamuza, y puede subir ó bajar por medio de un tornillo de presion colocado debajo, obteniéndose así dos ventajas, cuales son: la de poder tener un nivel constante en la cubeta, y la de ser mas portátil el instrumento. En efecto, para trasportarlo en viaje, basta levantar el fondo hasta que el mercurio llene por completo el tubo y la cubeta, en cuyo caso se puede hacer tomar al instrumento todas las posiciones que se quiera, sin cuidado de que rompa el tubo al choque del mercurio.

Fig. 96.

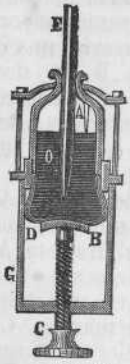


Fig. 97.

La figura 96 representa el conjunto de este barómetro, cuyo tubo se halla encerrado en un estuche de cobre, que lleva dos aberturas longitudinales y opuestas entre sí, á fin de que se vea el nivel B del mercurio. En el estuche hay una escala graduada en milímetros. Un anillo A, que se hace correr con la mano, dá por medio de un vernier la altura del barómetro con una aproximacion de $^1/_{10}$ de milímetro. En la parte inferior del estuche está fija la cubeta B que contiene el mercurio O.

La figura 97 dá en mayor escala los detalles de la cubeta, compuesta de un cilindro de vidrio que permite ver el nivel del mercurio. El fondo de este cilindro se halla cerrado por una piel de gamuza BD, que se hace subir y bajar por medio de un tornillo C. La tuerca de este se halla abierta en el fondo de un cilindro de cobre G, fijo debajo del de vidrio que contiene el mercurio. Por último, en la pared superior de la cubeta hay una punta de marfil A, cuya estremidad corresponde exactamente al cero de la escala graduada en el estuche. En cada observacion se cuida de que el mercurio de la cubeta enrase con esta punta, para lo cual se dá vuelta al tornillo C. De esta suerte, la distancia del vértice B de la columna de mercurio á la punta de marfil *a* (fig. 96), representa exactamente la altura del barómetro.

153. Barómetro de sifon de Gay-Lussac. —El *barómetro de sifon* consiste en un tubo de vidrio encorvado en dos ramas desiguales. La mayor está cerrada en su estremidad superior y llena de mercurio, como en el barómetro de cubeta, haciendo veces de esta la menor, que se halla abierta. La diferencia de nivel en las dos ramas es la altura del barómetro.

La figura 98 representa el barómetro de sifon tal cual le modificó Gay-Lussac, quien, á fin de poderle trasportar mas fácilmente sin que le penetrara el aire, reunió las dos ramas por medio de un tubo capilar, que se vé en la parte inferior del barómetro. Al invertir el ins-

trumento, queda siempre lleno este tubo en virtud de la capilaridad, sin que pueda el aire introducirse en la rama mayor. Con todo, fácil es que un choque demasiado brusco divida la columna mercurial en este tubito, abriéndose así paso al aire. Para obviar este inconveniente adoptó M. Bunten una modificacion (fig. 99), que consiste en que el tubo capilar, en vez de estar soldado en la rama mayor, lo esté con un tubo K de gran diámetro, en el cual penetra esta rama en forma de punta afilada. Mediante esta disposicion, si pasan burbujas de aire al tubo capilar, no pueden abrirse paso por la punta afilada del tubo, y se colocan en K, en donde no perjudican, porque siempre continúa el vacío en el vértice.

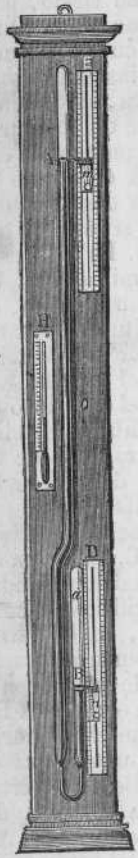


Fig. 98.

Fig. 99.

En el barómetro de Gay-Lussac, la rama corta se halla cerrada por su estremidad superior, sin mas que una pequeña abertura lateral *a*, con objeto de que se ejerza la presion atmosférica.

Se mide la altura por medio de dos escalas que tienen su cero comun en O, hácia el centro de la rama mayor, y graduadas en sentido contrario, una de O hácia E y otra de O hácia B, en dos reglas de cobre paralelas al tubo barométrico. Dos correderas con vernier *m* y *n* pueden correr á lo largo de las escalas, indicando los números de milímetros y de décimas de milímetro contenidos de O á A y de O á B. Sumando los dos números que así se obtienen, resulta la altura total AB.

La figura 98 representa el barómetro de Gay-Lussac, fijo en una tabla de caoba para su mas fácil manejo. Cuando se va de viaje, se le encierra en un estuche de cobre en un todo semejante al del barómetro de Fortin (fig. 96), escepto la cubeta.

154. **Condiciones á que deben de satisfacer los barómetros.**— Cuanto va á seguir acerca de la construccion de los barómetros, se aplica á todos los de mercurio. Para la fabricacion de estos instrumentos se elige el mercurio, porque es el líquido mas denso, y por lo tanto el que llega á menor altura; y además, merece esta preferencia por su débil volatilizacion y porque no moja al vidrio. Importa que esté perfectamente puro y nada oxidado el mercurio, pues de lo contrario *forma cola*, es decir, se adhiere al vidrio y le empaña. Por otra parte, si es impuro, varía su densidad, y la altura del barómetro, ó es muy grande ó muy pequeña.

Es menester que el espacio vacío que queda en la parte superior del tubo del barómetro (fig. 94 y 95), y que se llama *cámara barométrica* ó *vacío de Torricelli*, esté completamente purgado de aire y de vapor de agua, pues de lo contrario deprimirian estos fluidos la columna de mercurio en virtud de su fuerza elástica. Para obtener este resultado no se vierte primero en el tubo mas que parte del mercurio que ha de llenarle, y se le calienta hasta la ebullicion; déjasele luego que se enfrie, vertiendo de nuevo mercurio, que se hace tambien hervir, y así sucesivamente hasta que se encuentre lleno el tubo. De esta manera los vapores de mercurio arrastran al aire y la humedad adheridos á las paredes del tubo.

Se conoce que un barómetro está bien purgado de aire y de humedad, cuando inclinado suavemente produce un sonido seco y metálico, determinado por el choque del líquido contra la estremidad del tubo. Si hay humedad ó aire en el instrumento, el sonido es amortiguado.

155. **Correccion relativa á la capilaridad.** — Siempre se nota, en la altura del mercurio de los barómetros de cubeta, cierta depresion debida á la capilaridad. Este error se corrige sin mas que conocer el diámetro interior del tubo barométrico, porque entonces, por medio del cuadro que dimos en el párrafo 126, se determina la presion que constantemente hay que añadir á las alturas observadas. Cuando el diámetro interior no está conocido de antemano, se le deduce aproximadamente del diámetro esterior, restando de este $2^{mil},3$, si este es de 8 á 10 milímetros, y $2^{mil},5$, si es de 10 á 12 milímetros. Para un tubo de 20 milímetros de diámetro interior, seria despreciable el error procedente de la capilaridad.

En el barómetro de Gay-Lussac (fig. 98), se evita la correccion de capilaridad, cuidando de que las dos ramas A y B tengan el mismo diámetro, porque, siendo así iguales las depresiones en A y en B, conserva su verdadera longitud la columna AB.

156. **Correccion relativa á la temperatura.** — No hay que olvidarse nunca de la temperatura en todas las observaciones barométricas, pues dilatándose ó contrayéndose el mercurio por efecto de las variaciones de temperatura, se modifica su densidad, y por lo tanto su altura, la cual se halla en razon inversa de la densidad del líquido del tubo (151); de suerte que, para presiones atmosféricas diferentes, se pueden tener alturas iguales en el barómetro. Interesa, pues, reducir siempre en cada observacion la altura á la que seria á una temperatura determinada é invariable. Siendo esta completamente arbitraria, se ha elegido la del hielo fundente, y, como se verá en el estudio del calor, se hace por medio del cálculo esta correccion. A fin de conocer la temperatura del mercurio en el barómetro, le acompaña siempre un termómetro, conforme se ve en las figuras 96 y 98.

Tambien se puede, por medio de un cálculo muy sencillo, reducir á 0 la altura del barómetro, sirviéndose de tablas de correccion que con este objeto se han formado y publicado en el Anuario de la Oficina ó seccion de longitudes del año 1838.

157. Variaciones de la altura barométrica. — Si se observa el barómetro durante muchos dias, se nota que varía su altura en cada lugar, no solo de un dia á otro, sino tambien en un mismo dia.

La amplitud de las variaciones, es decir, la diferencia media entre las alturas mayor y menor, no es la misma en todas partes, pues crece del Ecuador á los polos. Las mayores variaciones, esceptuados los casos estraordinarios, son de 6 milímetros en el Ecuador, de 30 en el trópico de Cáncer, de 40 en Francia, en la latitud media, y de 60, á 25 grados del polo. Por último, en invierno se verifican las mayores variaciones.

Llámase *altura media diurna* el número que se obtiene sumando las veinte y cuatro observaciones sucesivas del barómetro, hechas de hora en hora, y dividiendo esta suma por veinte y cuatro. M. Ramond comprobó esperimentalmente que, á la latitud de París, la altura del barómetro á medio dia es sensiblemente la media del dia.

La *altura media mensual* se obtiene sumando las alturas medias diurnas durante un mes, y dividiendo por 30.

Por último, la *altura media anual* se determina sumando las alturas medias de cada dia durante un año, y dividiendo la suma por 365.

En el Ecuador, la media anual al nivel del mar es $0^m,758$. Aumenta á medida que nos alejamos de aquel, y llega, entre las latitudes de 30 á 40 grados, al máximum de $0^m,763$. Decrece en las latitudes mas altas, y en Paris no asciende mas que $0^m,7568$

La media general al nivel de los mares es, al parecer, $0^m,761$.

La media mensual es mas alta en invierno que en verano, lo cual es una consecuencia del enfriamiento de la atmósfera.

Distínguense en el barómetro dos especies de variaciones, que son: 1.° las *variaciones accidentales*, que no ofrecen regularidad alguna en su marcha, y que dependen de las estaciones, de la direccion de los vientos y de la posicion geográfica, tales son las que se observan sobre todo en nuestros climas; 2.° las *variaciones diurnas*, que se produducen periódicamente á ciertas horas del dia.

En el Ecuador y en las regiones intertropicales no se conocen la primera clase de dichas variaciones, esto es, las que dependen de causas accidentales; pero las diurnas se repiten con una regularidad tal, que hasta cierto punto pudiera servir de reloj el barómetro. A contar del medio dia, baja este hasta las cuatro, que es la hora del mínimum, y luego vuelve á subir hasta las diez de la noche, en que llega á su máximum. Por último, baja de nuevo, siendo el mínimum á las cuatro de la madrugada, y el segundo máximum á las diez de la mañana.

En las zonas templadas hay tambien variaciones diurnas, pero se comprueban con mas dificultad que en el Ecuador, porque se confunden con las accidentales.

Las horas de máxima y de mínima de las variaciones diurnas son, al parecer, las mismas en todos los climas, sea cual fuere la latitud, variando tan solo algun tanto con las estaciones.

158. Causas de las variaciones barométricas. — Nótase que el

barómetro y el termómetro siguen opuesta marcha, es decir, que cuando sube la temperatura baja el termómetro, y vice-versa, lo cual indica que las variaciones barométricas en un punto determinado resultan de las dilataciones ó de las contracciones del aire en aquel punto, y por consiguiente de su cambio de densidad. Si fuese constante y uniforme en toda la estension de la atmósfera la temperatura del aire, no se produciria corriente alguna en el seno de aquella, y por lo tanto seria invariable, y por todas partes la misma presion atmosférica en igualdad de altura. Pero cuando cierta region de la atmósfera se calienta mas que las que la rodean, el aire dilatado sube en virtud de su ligereza específica, y se va por las altas regiones, resultando de aquí que decrece la presion y baja el barómetro. Igual efecto se obtendria si, conservando una region de la atmósfera la misma temperatura, se enfriasen las regiones vecinas; porque entonces ascenderia el aire de la primera en virtud de su menor densidad. Por esto sucede comunmente que un descenso estraordinario en un punto se halla compensado por una subida semejante en otro.

En cuanto á las variaciones diurnas, dependen, por lo visto, de las dilataciones y contracciones producidas periódicamente en la atmósfera por efecto de la accion calorífica del sol durante la rotacion de la tierra.

159. **Relacion entre las variaciones barométricas y el estado del cielo.** — Se observa en nuestros climas que el barómetro no pasa, en el buen tiempo, de $0^m,758$; baja del mismo punto en las épocas de viento, de lluvia, de nieve ó de tempestad; y por fin, que, por término medio, marcando el barómetro $0^m,758$, hay tantos dias de buen tiempo como de lluvia. En vista de esta coincidencia entre la altura del barómetro y el estado del cielo, se han marcado en el barómetro las siguientes indicaciones, contando de 9 en 9 milímetros, encima y debajo de $0^m,758$.

Altura.	Estado de la atmósfera.
731.	tempestad.
740.	gran lluvia.
749.	lluvia ó viento.
758.	variable.
767.	buen tiempo.
776.	buen tiempo fijo.
785.	muy seco.

Sin dejar de consultar el barómetro como un instrumento propio para anunciar los cambios ó mudanza de *tiempo*, no se pierda de vista que en realidad solo mide el peso del aire, subiendo ó bajando, segun aumente ó disminuya este peso. Ahora bien, aun cuando las mas de las veces coinciden esos cambios de tiempos con las variaciones de presion, no por eso debe suponerse que unos y otros esten invariablemente relacionados. Depende esta coincidencia de condiciones meteorológicas peculiares de nuestro clima, y no deja de tener sus

escepciones. Si el descenso del barómetro precede ordinariamente á la lluvia, debemos atribuirlo á la posicion de la Europa; pues, efectivamente, los vientos del sudoeste, que son los mas calientes, y por lo mismo los menos pesados, hacen bajar al barómetro, pero al mismo tiempo, como se cargan de vapor acuoso al atravesar el Océano, nos traen la lluvia. Como los vientos del norte y del noroeste, son, por el contrario, frios y mas densos, hacen subir el barómetro, pero como llegan, despues de una larga travesía por vastos continentes, ellos estan secos y acompañados, en general, de un cielo puro y sereno.

Los vientos calurosos del sudoeste tienden á aumentar la presion atmosférica por el peso y la tension del vapor que contienen, pero al propio tiempo tienden tambien á disminuirla mediante su dilatacion. Por ser mas enérgica esta segunda influencia, resulta en definitiva que la elevacion de temperatura es, en nuestros climas, la causa del descenso del barómetro. El efecto contrario producirian los vientos frios del mar. En la desembocadura de la Plata, por ejemplo, se presenta mas alto el barómetro cuando reinan los vientos orientales de mar, que cuando se dejan sentir los de oeste, que soplan del continente, lo cual se esplica por la elevada temperatura de estos últimos. Ignoramos las indicaciones del barómetro en Egipto, pero fácil es preveer que los vientos que soplan del golfo pérsico harán bajar el termómetro y producirán lluvias, porque son cálidos y húmedos; mientras que, por el contrario, los del sudoeste, que son calurosos y que han atravesado el desierto, deben hacer bajar el barómetro, pero causando sequía.

Cuando sube ó baja lentamente el barómetro, es decir, durante dos ó tres dias, hácia el buen tiempo ó hácia la lluvia, resulta de un gran número de observaciones, que las indicaciones que da este instrumento son entonces sumamente probables. En cuanto á las variaciones bruscas, en uno ú otro sentido, presagian el mal tiempo ó el viento.

Por efecto de la anterior observacion, así que de la direccion de los vientos y de la temperatura del aire, puede darnos el barómetro útiles indicaciones, particularmente para la agricultura. No se eche en olvido que el cuadro indicador, dado mas arriba, es el resultado de antiguas observaciones hechas en Paris. La mayor parte de los constructores de barómetros han adoptado uniformemente las mismas señales para toda la Francia y para todos los paises de la tierra. Claro está, pues, que esas indicaciones serán completamente falsas en localidades mas altas que Paris, ó situadas en condiciones geográficas diferentes. Véase por qué es necesario conocer la posicion geográfica del punto en que sirve el instrumento.

*160. **Barómetro de cuadrante.** — El *barómetro de cuadrante*, debido á Hook, es un barómetro de sifon que tiene por objeto sobre todo indicar el buen ó el mal tiempo. Dásele este nombre, porque lleva un cuadrante recorrido por una larga aguja (fig. 100), que pone en movimiento el mismo mercurio del aparato, mediante un mecanismo

representado en la fig. 101. En el eje de la aguja está fija una polea O, en la cual se arrolla un hilo que lleva en una de sus estremidades un peso P, y en la otra un flotador algo mas pesado y sostenido por el mercurio de la rama menor del tubo barométrico. Si aumenta la presion atmosférica, baja en la rama pequeña el nivel, desciende el flotador y arrastra la polea y la aguja de izquierda á derecha. Verifícase el movimiento contrario cuando disminuye la presion, porque sube el mercurio en la rama pequeña, sucediéndole otro tanto al flotador. Resulta de aquí que se para la aguja en las palabras *variable, lluvia, buen tiempo*, etc., cuando tiene la columna las correspondientes alturas, con tal que esté bien regulado el instrumento, cuya condicion raras veces satisfacen los del comercio.

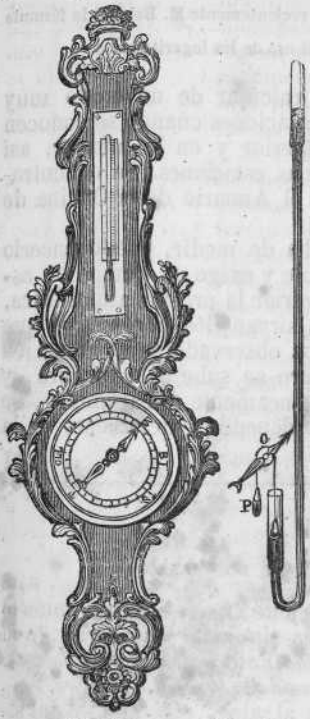


Fig. 100. Fig. 101.

161. Medicion de alturas por medio del barómetro—Como decrece la presion de la atmósfera á medida que se llega á sitios altos, claro está que debe bajar el barómetro tanto mas, cuanto mayor sea la altura, de modo que puede servirnos este instrumento para apreciar la altura de las montañas.

Si no variase la densidad del aire en todas las capas de la atmósfera, se deduciria, por medio de un cálculo muy sencillo, la altura á que se habia llegado en vista de la cantidad que hubiese descendido el barómetro. En efecto, siendo la densidad del aire 10466 veces menor que la del mercurio, si bajase un milímetro, por ejemplo, el barómetro, indicaria que la columna de aire que equilibra la de mercurio ha disminuido 10466 veces mas, es decir, 1 milímetro multiplicado por 10466, ó $10^m,466$. Tal seria, pues, la altura á que se hubiese subido. Si la depresion del mercurio fuese de 2, 3... milímetros, indicaria que el ascenso era igual á dos, tres... veces $10^m,466$, Pero como decrece la densidad del aire á medida que se asciende en la atmósfera, no es aplicable el cálculo anterior sino para alturas pequeñas.

Para medir la altura de las montañas por medio del barómetro, dió Laplace la fórmula $D = 18393\,(1 + 0{,}002837\,\cos.2\varphi)\left[1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right] log.\frac{A}{a}$, **en la cual D designa la distancia vertical entre los dos lugares cuya diferencia de nivel se busca, A representa la altura del barómetro en la estacion inferior, y *a* la de la estacion superior; T y *t* son las temperaturas del aire correspondientes á cada observacion; y φ es la latitud.**

Para la latitud de 45° *cos.* $2\varphi = 0$, y la fórmula es

$$D = 18393 \left[1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right] log. \frac{A}{a}.$$

Para alturas menores de 1000 metros, ha propuesto recientemente M. Babinet la fórmula $D = 16000m \left(\frac{A-a}{A+a}\right) \left[1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right]$ que dispensa del uso de los logaritmos.

M. Oltmanns ha formado tablas para calcular de un modo muy sencillo la diferencia de nivel entre dos estaciones cuando se conocen las alturas A y *a* del barómetro en la superior y en la inferior, así como las temperaturas T y *t* en las mismas estaciones. Se encontrarán estas tablas y el modo de usarlas en el Anuario de la Oficina de longitudes.

Si no es muy grande la altura que se ha de medir, puede hacerlo uno solo; pero si es un poco considerable y exige un tiempo de ascenso algo largo, durante el cual puede variar la presion atmosférica, es preciso que sean dos personas y que sirvan dos barómetros que concuerden muy bien entre sí. Uno de los observadores se queda en el pié de la montaña, mientras que el otro se sube á la cumbre, y luego, á una hora dada, observan simultáneamente el barómetro, de suerte que la diferencia de las columnas dependa enteramente de la de los niveles.

CAPITULO II.

MEDIDA DE LA FUERZA ELASTICA DE LOS GASES.

162. **Ley de Mariotte.**—El abate Mariotte, físico francés, muerto en 1684, fué el primero que estableció la siguiente ley acerca de la compresibilidad de los gases: *En igualdad de temperatura, el volúmen de una masa dada de gas está en razon inversa de la presion que sufre.*

Demuéstrase esta ley, por lo que toca al aire, por medio del siguiente aparato, conocido con el nombre de *tubo de Mariotte*. En una tabla de madera, mantenida verticalmente, está fijo un tubo de vidrio encorvado en forma de sifon, cuyas dos ramas son desiguales (fig. 102). A lo largo de la rama menor, que está cerrada, hay una escala que indica capacidades iguales, mientras que otra escala, situada en la rama mayor, señala las alturas en centímetros. Los ceros de las dos escalas se encuentran en una misma línea horizontal.

Para hacer el esperimento, se introduce primero mercurio en el aparato, de manera que el nivel del líquido corresponda al cero en ambas ramas, lo cual se obtiene despues de algunos tanteos. El aire encerrado en la rama menor se halla sometido entonces á la presion atmosférica que se ejerce en la mayor en la superficie del mercurio, pues de lo contrario no seria el mismo el nivel. Viértese, por fin, mercurio en la rama grande hasta que la presion que determina reduzca á la mitad el volúmen del aire encerrado en la rama pequeña, es decir, hasta que dicho volúmen, que era 10 en un principio, pase

á 5. Midiendo entonces la diferencia de nivel CA del mercurio en los dos tubos, se encuentra que es precisamente igual á la altura del barómetro en el momento en que se esperimenta. La presion de la columna CA equivale, pues, á una atmósfera. Añadiéndole la presion atmosférica que se ejerce en C, en el vértice de la columna, se ve que en el momento en que se ha reducido á la mitad el volúmen de aire, se ha duplicado la presion primera, con lo cual queda demostrada la ley.

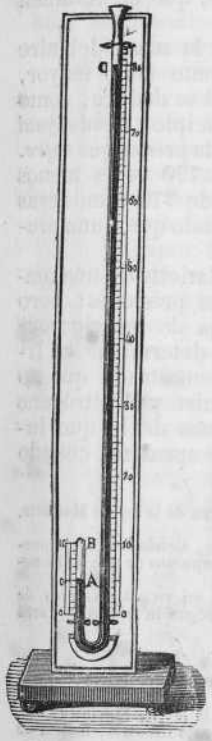


Fig. 102 (a = 1m,10).

Si la rama grande es bastante larga para que se pueda verter en ella mercurio hasta que el volúmen de aire de la rama menor se reduzca al tercio de su volúmen primitivo, se nota que la diferencia de nivel en los dos tubos es igual á dos veces la altura del barómetro, es decir, que equivale á dos presiones atmosféricas, las cuales, sumadas con la que directamente se ejerce en la superficie del mercurio del tubo mayor, dan una presion de tres atmósferas. De consiguiente, con una presion triple se ha hecho tres veces menor el volúmen de aire. De esta suerte ha sido comprobada la ley de Mariotte respecto del aire, hasta 27 atmósferas, por los Sres. Dulong y Arago, quienes se sirvieron de un aparato análogo al que acabamos de describir.

Para demostrar la ley de Mariotte en otro gas cualquiera, deberia modificarse el aparato anterior, á fin de introducir en él el gas que se quisiera.

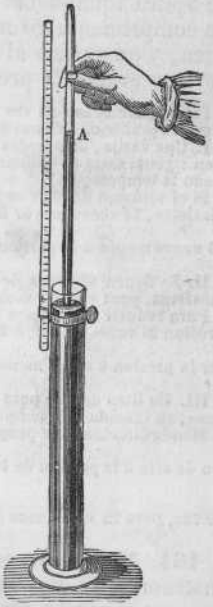


Fig. 103.

La ley de Mariotte se comprueba tambien bajo presiones inferiores á una atmósfera. Al efecto, se llenan de mercurio las dos terceras partes de un tubo barométrico, conteniendo aire el resto; luego se le invierte y se le introduce en una vasija ó recipiente profundo, lleno de azogue (fig. 103), metiendo el tubo hasta tanto que el nivel del líquido sea el mismo, así interior como esteriormente. Llegado este momento, la escala de la vasija indica el volúmen de aire encerrado. Se sube en seguida el tubo, conforme lo indica la figura, hasta que, á beneficio de la menor presion, se duplique el volúmen de aire. Entonces se observa que la altura del mercurio es igual á la mitad de la del

barómetro. El aire, pues, cuyo volúmen se ha duplicado, se encuentra á media presion atmosférica, porque la fuerza elástica del aire es la que, sumada con el peso de la columna elevada, equilibra á la presion atmosférica esterior. Es exacto, de consiguiente, que el volúmen se halla en razon inversa de la presion.

En el esperimento del tubo de Mariotte no varía la masa del aire encerrado, y por esto su densidad es necesariamente tanto mayor, cuanto mas reducido está su volúmen; de lo cual se deduce, como consecuencia de la ley de Mariotte, el siguiente principio: *Siendo igual la temperatura, la densidad de un gas es proporcional á la presion que sufre.* Por lo tanto, si á la presion ordinaria es el aire 770 veces menos denso que el agua, claro está que á una presion de 770 atmósferas ofrecerá aquel la misma densidad que esta, suponiendo que á una presion tal continuara siendo gaseoso, lo cual se ignora.

Se habia admitido, hasta hace poco, la ley de Mariotte de una manera absoluta para todos los gases y bajo todas las presiones; pero M. Despretz fué el primero en hacer ver que deja de ser rigorosa cuando la presion se acerca ya á la necesaria para determinar la liquefaccion del gas. Por último, M. Regnault ha demostrado que no se aplica igualmente esta ley á todos los gases. El aire y el nitrógeno se comprimen algo mas, el hidrógeno un poco menos de lo que indica, y en cuanto al ácido carbónico, ni siquiera se aproxima cuando es muy grande la presion.

163. **Aplicaciones de la ley de Mariotte.**—Hé aquí, acerca de la ley de Mariotte, algunos problemas de uso frecuente en física y en química.

I. Una vasija, de paredes compresibles, contiene 4 lit., 3 de aire, siendo 0m,74 la presion: ¿cuál sería el volúmen del aire á la presion de 0m,76, en el supuesto de que no ha variado la temperatura?

Si el volúmen del aire es 4 litros, 3 á la presion de 0m,74, sería, en virtud de la ley de Mariotte, 74 veces mayor á la presion de 0m,01, ó 4 lit., 3×74; y segun la misma ley, será 76 veces menor á la presion de 0m,76, esto es, $\frac{4,3 \times 74}{76} = 4$ lit.,186.

II. Se tienen 20 litros de gas á la presion ordinaria: ¿qué presion se necesitaria, en atmósferas, para reducir dicho volúmen á 8 litros?

Para reducir el volúmen de 20 litros á uno solo, se requeria, por la ley de Mariotte, una presion 20 veces mayor, ó 20 atmósferas; para hacerlo pasar de un solo litro á 8, habria de ser la presion 8 veces menor, es decir, $\frac{20}{8} = 2\frac{1}{2}$ atmósferas.

III. Un litro de aire pesa 1gr.,3, á 0° y á la presion de 76c de mercurio: ¿cuál será su peso, en igualdad de temperatura, si baja la presion á 72c?

Siendo directamente proporcional á la presion el peso de un volumen dado de gas, un litro de aire á la presion de 1c pesaria 76 veces menos que á la de 76, es decir, $\frac{1gr,3}{76}$, y á la de 72c, pesa 72 veces mas, ó $\frac{1gr,3 \times 72}{76} = 1gr,23$.

164. **Manómetros.** — Dáse el nombre general de *manómetros* á unos instrumentos destinados á medir la tension de los gases ó de los vapores, cuando esta es superior á la presion atmosférica. Se admiten el manómetro de aire libre, el de aire comprimido y el metálico.

En estos diferentes géneros de manómetros, la unidad de medida es la presion atmosférica cuando la altura del barómetro llega á $0^m,76$. Se ha visto ya (149) que esta presion, en un centímetro cuadrado,

equivale al peso de $1^{quil},033^{gr}$; por consiguiente, si se dice de un gas que tiene la tension de dos, de tres atmósferas, se da á entender que ejerce en cada centímetro cuadrado de las paredes que lo contienen una presion igual á dos ó tres veces $1^{quil},033^{gr}$.

165. Manómetro de aire libre.—El *manómetro de aire libre* se compone de un tubo BD (fig. 104) de cristal, de unos 5 metros de longitud, y de una cubeta de hierro forjado que contiene el mercurio en que se ha de introducir el tubo. Este, abierto por sus dos estremidades, se halla sólidamente masticado en la cubeta y fijo en una tabla de abeto, á lo largo de la cual se ve un segundo tubo AC de hierro y de 4 metros de altura. Por este tubo se trasmite al mercurio de la cubeta la presion del gas ó del vapor. Como las mas de las veces funcionan los manómetros en contacto con vapor que reblandecerian el mástic que fija el tubo de cristal á la cubeta, se llena el tubo AC de agua, á fin de que reciba esta directamente la presion del vapor y la trasmita al azogue.

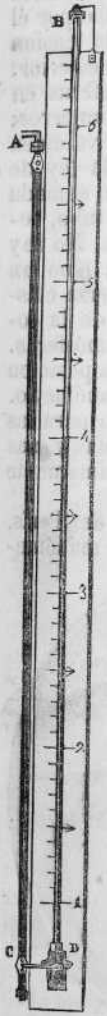


Fig. 104. (a=4m,80).

Para graduar el manómetro, se deja el orificio A en comunicacion con la atmósfera, y en el nivel, en donde se para entonces el mercurio en el tubo de cristal, se pone el número 1, es decir, una atmósfera; luego, á partir de este punto, de 76 en 76 centímetros, se marcan las cifras 2, 3, 4, 5, 6, que indican el número de atmósferas, pues sabido es que una columna de mercurio de 76 centímetros representa la presion atmosférica. Divídense, por último, los intervalos de 1 á 2, de 2 á 3... en 10 partes iguales, que dan los décimos de atmósfera.

Poniendo en seguida el tubo A en comunicacion con una caldera de vapor, sube el mercurio en el tubo BD á una altura que mide la tension de aquel. En nuestro dibujo marca el manómetro 4 atmósferas, que están representadas por 3 veces la altura de 76 centímetros, mas la presion atmosférica que se ejerce en el vértice de la columna.

El manómetro de aire libre solo se usa para presiones que no pasan de 5 á 6 atmósferas. Mas allá de este término, fuera preciso dar al tubo BD una longitud que le haria no menos frágil que embarazoso. En tal caso se recurre al siguiente manómetro.

166. Manómetro de aire comprimido.—El *manómetro de aire comprimido*, fundado en la ley de Mariotte, se compone de un tubo de cristal, cerrado en su estremidad superior y lleno de aire seco. Introdúcese este tubo en una cubeta llena en parte de mercurio, y en la cual se halla masticado. Esta, por medio de un tubo lateral A (fig. 105), se pone en comunicacion con una vasija cerrada, que contiene el gas ó el vapor cuya fuerza elástica se trata de medir.

En cuanto á la graduacion de este manómetro, es tal la cantidad de aire encerrada en el tubo, que cuando el orificio A comunica con la atmósfera, el nivel del mercurio es el mismo en el tubo y en la cubeta. De consiguiente, se escribe el número 1 en este nivel en la placa que sostiene al tubo. Nótese, para el resto de la graduacion, que si crece la presion que se trasmite por el tubo A, sube por él el mercurio hasta que su peso, sumado con la tension del aire comprimido, equilibra á la presion esterior. Resulta de ahí que, si se marcan 2 atmósferas en medio del tubo, á partir de 1, se cometeria un error; porque cuando está reducido á la mitad el volúmen del aire del tubo, su tension, en virtud de la ley de Mariotte, vale 2 atmósferas; por consiguiente, sumada con el peso de la columna de mercurio del tubo, representa una presion mayor que 2 atmósferas. No hay que marcar el número 2 en medio del tubo, sino un poco mas abajo, á una altura tal, que la fuerza elástica del aire comprimido, añadida al peso de la columna de mercurio del tubo, equivalga á 2 atmósferas. Por medio del cálculo se determinará la exacta posicion de las cifras 2, 3, 4... en la escala del manómetro.

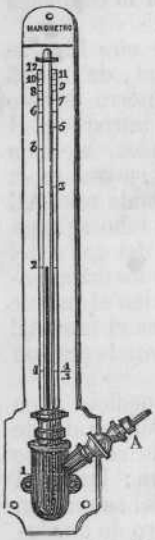


Fig. 105 (a=80).

Poca es la precision de este instrumento para las grandes presiones, porque siendo cada vez mas y mas pequeño el volúmen de aire, llegan á estar sumamente aproximadas las divisiones.

* 167. **Manómetro de M. Bourdon.** — Un mecánico de París, llamado M. Bourdon, ha inventado recientemente un nuevo manómetro (fig. 106), metálico por completo, sin mercurio, y cuya base estriba en el siguiente principio que se funda en la deformacion de los tubos por efecto de la presion. Siempre que un tubo de paredes flexibles y ligeramente aplanadas sobre sí mismas se halla arrollado en espiral, en el sentido de su diámetro menor, *cualquiera presion interna sobre las paredes desarrolla el tubo, y al contrario, toda presion esterior le arrolla mas.*

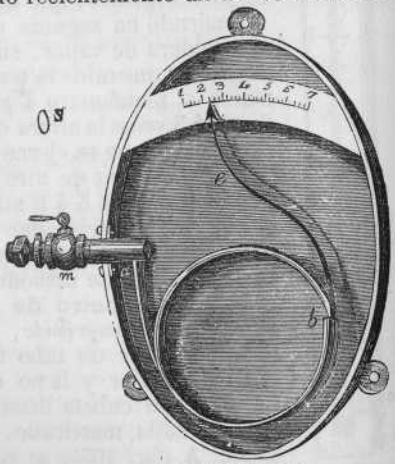


Fig. 106 (a=26).

En virtud de este principio, se compone el manómetro de M. Bourdon de un tubo encorvado de laton y de $0^m,7$ de longitud, cuyas paredes son delgadas y flexibles. Su seccion S es una elipse que mide 11 milímetros en

su eje mayor y 4 en el menor. La estremidad *a*, que está abierta, se fija á un tubo con llave *m*, que comunica con una caldera de vapor. La estremidad *b* se encuentra cerrada, y es móvil, lo mismo que el resto del tubo.

Sabido esto, si abrimos la llave *m*, la presion que produce la tension del vapor en el interior de las paredes del tubo, le desarrolla, y la estremidad *b* se mueve entonces de izquierda á derecha, y con ella una larga aguja *e*, que señala ó marca en un cuadrante la tension del vapor en atmósferas. Este cuadrante se gradua de antemano comparativamente con un manómetro de aire libre, haciendo marchar el aparato con aire comprimido.

El manómetro de M. Bourdon reune, sobre los demás, la doble preciosa ventaja de ser muy portátil y nada frágil; y así es que ya hoy funciona en las locomotoras de muchos caminos de hierro.

* 168. **Barómetro metálico de M. Bourdon.** — M. Bourdon es el inventor de un barómetro metálico fundado en el mismo principio que su manómetro. Se compone (figura 107) de un tubo semejante al del anterior manómetro, pero menos largo, herméticamente cerrado y fijo tan solo en su parte media; de suerte que, hecho de antemano en él el vacío, siempre que disminuye la presion atmosférica, se desarrolla dicho tubo en virtud del principio enunciado mas arriba (167), comunicándose en seguida el movimiento á una aguja que indica la presion sobre un cuadrante. En cuanto á la trasmision del movimiento, se efectúa por medio de dos alambres *b* y *a*, que enlazan las estremidades del tubo con una palanca fija en el eje de la aguja. Si, por el contrario, aumenta la presion, se cierra por sí mismo el tubo, moviéndose entonces la aguja de izquierda á derecha sobre el cuadrante, merced á un resorte en espiral *c*. Este barómetro es de corto volúmen, muy sensible y notable por su gran sencillez.

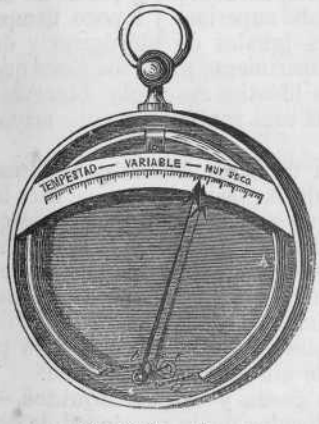


Fig. 107 (a=10).

169. **Leyes de las mezclas de los gases.** — Se ha visto que en las mezclas de los líquidos no es posible el equilibrio sino en tanto que se hallan estos superpuestos por órden de densidades crecientes de arriba abajo (89), siendo además horizontal la superficie de separacion de los diferentes líquidos. Los gases, por efecto de su fuerza espansiva, presentan en su mezcla otras condiciones de equilíbrio, que son las dos siguientes:

1.ª *La mezcla, que se efectúa siempre rápidamente, es homogénea y persistente, de suerte que todas las partes del volúmen total contienen la misma proporcion de cada uno de los gases mezclados.*

1.ª *Siendo constante la temperatura, si la mezcla se verifica en una vasija de paredes inestensibles, la fuerza elástica de la mezcla es siempre igual á la suma de las fuerzas elásticas de los gases mezclados, referida cada una al volúmen total, en virtud de la ley de Mariotte.*

Esta segunda ley puede tambien enunciarse diciendo que, *en una mezcla de muchos gases, la presion ejercida por cada uno de ellos es la misma que si estuviese solo.*

La primera ley es una consecuencia de la suma porosidad de los gases y de su fuerza espansiva. Demostróla por vez primera el químico francés Berthollet, sirviéndose de un aparato (fig. 108), que se compone de dos globos de vidrio, provistos cada uno con su cuello y llave correspondientes, y atornillados entre sí. El globo superior estaba lleno de hidrógeno, cuya densidad es 0,0692, y el otro de gas ácido carbónico de un peso específico igual á 1,529, es decir, 22 veces mayor. Colocó el aparato en las cuevas del Observatorio de Paris, á fin de preservarle de cualquiera agitacion y de las variaciones de temperatura. Abiertas las llaves, el ácido carbónico, á pesar de su esceso de peso, subió en parte al globo superior, y á poco tiempo contenian ambos globos proporciones iguales de hidrógeno y de ácido carbónico. Sometidos al mismo esperimento todos los gases que no ejercen entre sí accion química, dan idéntico resultado, observándose que se verifica la mezcla con tanta mas rapidez, cuanto mayor es la diferencia de las densidades.

La segunda ley es una consecuencia de la de Mariotte. Dedúcese de esta, además, que si las paredes de la vasija en que se hace la mezcla son estensibles, y si los gases que se mezclan se hallan sometidos á la presion atmosférica, la fuerza elástica de la mezcla es tambien igual á esta presion; pero entonces el volúmen de aquella es precisamente igual á la suma de los volúmenes de los gases mezclados. Por último, las mezclas gaseosas se encuentran sometidas á la ley de Mariotte, lo mismo que los gases simples, conforme se demostró ya para el aire (162), que es una mezcla de nitrógeno y de oxígeno.

170. **Leyes de las mezclas de los gases y de los líquidos.**— El agua y muchos líquidos se hallan dotados de la propiedad de dejarse penetrar por los gases; pero, dadas las mismas condiciones de temperatura y de presion, no absorbe un mismo líquido cantidades iguales de diferentes gases. Por ejemplo, á la temperatura y presion ordinarias disuelve el agua 25 milésimas de su volúmen de nitrógeno, 46 de oxígeno, un volúmen igual al suyo de ácido carbónico y 430 veces su volúmen de amoniaco. El mercurio se resiste, al parecer, por completo á la penetracion de los gases.

La esperiencia demuestra que las mezclas de los gases y de los líquidos se hallan sometidas á las tres leyes siguientes:

1.ª *Para un mismo gas, un mismo líquido y una misma temperatura, el peso de gas absorbido es proporcional á la presion*, lo cual vale tanto como decir, que, á todas las presiones es igual el volúmen disuelto, ó tambien, que la densidad del gas absorbido se halla en una relacion constante con la del gas esterior no absorbido.

2.ª *La cantidad absorbida de gas es tanto mayor, cuanto mas baja es la temperatura*, esto es, cuanto menor es la fuerza elástica del gas.

3.ª *La cantidad de gas que un líquido puede disolver es independiente de la naturaleza y de la cantidad de los demás gases que tiene ya en disolucion.*

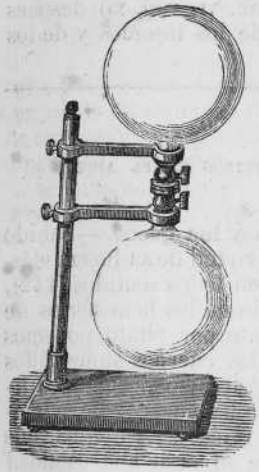


Fig. 108.

En efecto, si en vez de un solo fluido elástico contiene muchos la atmósfera superior al líquido, se nota que cada uno de estos gases, sea cual fuere su número, se disuelve en la misma proporcion que si estuviera solo, tomando en cuenta, no obstante, la presion que le es propia. Por ejemplo, el oxígeno no forma sensiblemente mas que $1/5$ del aire, pues bien, en las condiciones ordinarias, absorbe precisamente el agua la misma cantidad de oxígeno que si estuviera constituida por este gas la atmósfera, bajo una presion igual á $1/5$ de la de esta última.

En virtud de la primera ley, debe decrecer la cantidad disuelta de gas siempre que disminuye la presion. Puede esto demostrarse colocando una disolucion gaseosa debajo del recipiente de la máquina neumática y haciendo el vacío, pues se vé así que obedece el gas á su fuerza espansiva, desprendiéndose bajo la forma de burbujas. Se obtiene tambien el mismo efecto mediante la elevacion de temperatura, porque así aumenta la fuerza elástica del gas disuelto.

171. Equilibrio de los fluidos de desigual densidad en sus diversas partes. — Es imposible el equilibrio en una masa fluida, líquida ó gaseosa, si la presion no es la misma en todos los puntos de cada capa horizontal (81). Lo propio decimos de la densidad, pues de lo contrario, las partes menos densas suben á la manera de los cuerpos flotantes (98), y bajan las mas densas. De consiguiente, para el equilibrio de una masa fluida se requiere: 1.° *que la densidad sea la misma para todos los puntos de una capa horizontal*; y 2.° para que sea estable el equilibrio, *deben hallarse dispuestas las capas fluidas por órden de densidades crecientes de arriba abajo* (89).

Siendo muy dilatables los gases y los líquidos por la accion del calor, decrece su densidad cuando aumenta la temperatura; de consiguiente, no puede satisfacerse la segunda condicion arriba espuesta, por lo menos en punto á los líquidos, sino en el caso en que las capas inferiores sean mas frias que las superiores. Mas en cuanto á los gases, que son muy compresibles, no es necesario que estas sean mas calientes que aquellas, porque tienden las inferiores á ser mas densas á medida que están mas comprimidas. Basta, pues, que la densidad aumente, por efecto de la presion en las capas inferiores, mas de lo que disminuye á causa de la elevacion de temperatura, que es lo que generalmente sucede en la atmósfera.

Las corrientes que se originan en una masa fluida por efecto de las diferencias de densidades dependientes de las diferencias de temperatura de una capa á otra, han recibido su aplicacion en el tiro de las chimeneas y en los aparatos caloríferos por circulacion de agua caliente. Ya espondrémos estas aplicaciones (lib. VI, cap. XI) despues que hayamos dado á conocer la dilatacion de los líquidos y de los gases.

CAPITULO III.

PRESIONES QUE SUFREN LOS CUERPOS SUMERGIDOS EN EL AIRE, GLOBOS AEROSTATICOS.

172. **Principio de Arquímedes aplicado á los gases.** —Sabido es que las presiones que ejercen los gases en virtud de su fuerza elástica y de su peso, se trasmiten con igualdad en todos sentidos (142), segun se demostró respecto del aire por medio de los hemisferios de Magdeburgo (146). Claro está, pues, que punto por punto podemos aplicar á los cuerpos sumergidos en la atmósfera todo cuanto dijimos (95) de los cuerpos introducidos en los líquidos, y deducir que pierden de su peso una cantidad igual al peso del aire que desalojan.

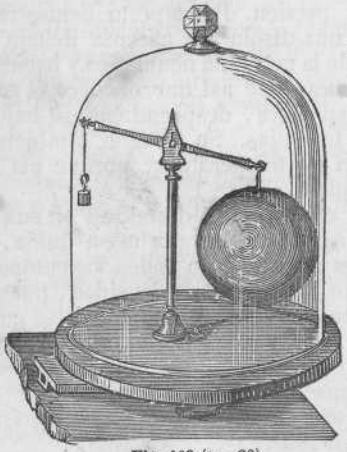


Fig. 109 (a=20).

Esta pérdida de peso en el aire se demuestra por medio del *baróscopo*, que consiste en un fiel de balanza que sostiene en su estremidad una pequeña masa de plomo, y en la otra una esfera hueca de cobre que viene á tener cerca de medio decímetro cúbico (figura 109). En el aire se equilibran ambos cuerpos; pero en el vacío del recipiente de la máquina neumática se inclina el fiel hácia la esfera mayor, lo cual indica que en realidad pesa mas que la pequeña masa de plomo; porque actualmente, ni la primera ni la segunda masa sufren presion alguna, no obedeciendo mas que á la gravedad. Por lo tanto, perdia en el aire la esfera cierta parte de su peso. Si se desea comprobar por medio del mismo aparato, que es exactamente igual dicha pérdida al peso del aire desalojado, se mide el volúmen de la esfera, que supondrémos igual á un semilitro; y como el peso de un volúmen igual de aire vale $0^{gr.},65$ (141), se añade este peso á la pequeña masa de plomo, notándose entonces que cesa el equilibrio en el aire para restablecerse en el vacío.

Supuesto que es exacto para los cuerpos sumergidos en el aire el principio de Arquímedes, se les puede aplicar todo cuanto digimos de los introducidos en los líquidos (98), es decir, que cuando un cuerpo es mas pesado que el aire, cae, por efecto del esceso de su peso sobre el empuje del fluido. Si es de la misma densidad que el aire, su peso y el empuje de abajo arriba se equilibran flotando el cuerpo en la atmósfera. Por último, si el cuerpo es menos denso que el aire, domina el empuje y asciende el cuerpo en la atmósfera hasta llegar á una capa de aire tan densa como él. La fuerza de ascension es igual entonces al esceso del empuje sobre el peso del cuerpo. Tal es la causa de que el humo, los vapores, las nubes y los globos aerostáticos se eleven en la atmósfera.

GLOBOS AEROSTATICOS.

173. Descubrimiento de los globos aerostáticos. — Los *globos aerostáticos* son globos de tela ligera é impermeable que, llenos de aire caliente ó de gas hidrógeno, se elevan en la atmósfera en virtud de su ligereza relativa.

Débese la invencion de estos globos á los hermanos Estéban y José Montgolfier, fabricantes de papel en la pequeña ciudad de Annonay, en donde se hizo el primer ensayo el dia 5 de junio de 1783. Hízose el globo de tela forrada de papel, teniendo 36 metros de circunferencia y pesando 250 quilógramos. Como estaba abierto en su parte inferior, le llenaron de aire caliente, quemando debajo papel, lana y paja mojada.

«Al recibir esta noticia, escribia el académico Lalande, esclamamos todos: Así debe suceder; ¿cómo es que no se pensó antes?» Sí se habia pensado, pero va mucha distancia de la concepcion de una idea á su realizacion. Black, que era profesor de física en Edimburgo, habia espuesto en sus cursos, en 1767, que una vejiga llena de hidrógeno se elevaba naturalmente en la atmósfera, pero jamás hizo el esperimento, por creerle puramente recreativo. Por fin, Cavallo comunicó, en 1782, á la Sociedad real de Lóndres varios esperimentos que habia hecho, y que consistian en llenar de hidrógeno algunas burbujas de jabon, que ascendian por sí mismas en la atmósfera por ser mas ligero que el aire el gas que las llenaba.

Como quiera que sea, lo cierto es que los hermanos Montgolfier no tenian noticia de los trabajos de Cavallo ni de los de Black, cuando hicieron su descubrimiento. Por haberse servido esclusivamente del aire caliente para llenar sus globos, se ha dado el nombre de *mongolfieras* á los globos llenos de aire caliente, para distinguirlos de los de hidrógeno, que son los que hoy dia se usan.

Charles, catedrático de física en Paris, y muerto en 1823, fué el primero que sustituyó el gas hidrógeno al aire caliente. El 27 de agosto de 1783, fué despedido ó lanzado en el Campo de Marte un globo así henchido. «Jamás, escribe Mercier, se dió leccion de física ante un auditorio mas numeroso ni mas atento.»

El 21 de noviembre del mismo año emprendió Pilatre de Rozier,

en compañía del caballero d'Arlandes, el primer viaje aéreo en un globo lleno de aire caliente. Verificóse la ascension en el jardin de la Muette, cerca del bosque de Boloña. Los aereonautas alimentaban debajo del globo un fuego de paja mojada para conservar la dilatacion del aire interior. ¡Véase, pues, con cuánta facilidad podia comunicarse á cada instante la llama á la cubierta del globo!

A los diez dias repetian el mismo esperimento Charles y Robert en el jardin de las Tullerías, con un globo lleno de hidrógeno.

El 7 de enero de 1785, hicieron la travesía de Douvres á Calais los señores Blanchard y Jeffries. Los dos aereonautas llegaron á duras penas á las costas de Francia, como que tuvieron que arrojarlo todo al mar, inclusos sus propios vestidos, á fin de hacer mas ligero el globo.

Posteriormente se han ejecutado innumerables ascensiones; pero la mas interesante es la de Gay-Lussac, en 1804, por los hechos con que enriqueció á la ciencia, y por la altura á que llegó el célebre físico, altura que fué de 7016 metros sobre el nivel del mar. M. Green se elevó aun á mas altas regiones. A aquella altura, habia bajado el barómetro á 32 centímetros; y el termómetro centígrado, que marcaba 31 grados en la superficie del suelo, señalaba entonces 9°,5 bajo cero. Una reciente ascension ha dado, para la misma altura, una temperatura aun mucho mas baja.

En aquellas altas regiones, era tal la sequedad el dia de la ascension de Gay-Lussac, en julio, que las sustancias higrométricas, tales como el papel y el pergamino, se secaban y se torcian, como si actuara sobre ellas el fuego. La respiracion y la circulacion de la sangre se aceleraron á causa del grande enrarecimiento del aire. Cercioróse Gay-Lussac de que daba su pulso entonces 120 pulsaciones en vez de 66 que era su estado normal. A tan grande altura tomaba el cielo un tono azul muy oscuro, casi negro, y un silencio absoluto y solemne cercaba al aereonauta.

A las seis horas de haber partido del patio del Conservatorio de artes y oficios, bajaba Gay-Lussac cerca de Rouen, es decir, que habia recorrido unas 30 leguas.

174. **Construccion, modo de llenar y ascension de los globos.** — La cubierta de los globos consiste en largas tiras fusiformes de tafetan, cosidas entre sí y barnizadas, con objeto de que sea impermeable el tejido. En el vértice del globo hay una válvula que se mantiene cerrada, merced á un resorte, pero que puede abrirla á voluntad el aereonauta por medio de una cuerda. Una ligera barquilla de mimbres capaz para muchas personas, pende debajo del globo, sostenida por una red de cuerda que envuelve á este por completo (fig. 110 y 111).

Un globo de dimension ordinaria, que puede elevar fácilmente á tres personas, tiene unos 15 metros de altura, 11 de diámetro, y su volúmen, una vez henchido por completo, es de cerca de 700 metros cúbicos. La cubierta pesa 100 quilógramos y 50 los accesorios, tales como la red y la barquilla.

Se llenan los globos, ya con el hidrógeno puro, ya con el hidrógeno carbonado, que sirve para el alumbrado. Este es hoy el preferido generalmente, no obstante su mayor densidad, por ser mas barato y de mas fácil obtencion que el hidrógeno puro. Basta, en efecto, procurarse un tubo de tela engomada que vaya de la fábrica del gas al globo.

La fig. 110 representa un globo lleno de hidrógeno puro. A la derecha del dibujo hay una série de toneles con pedazos de hierro,

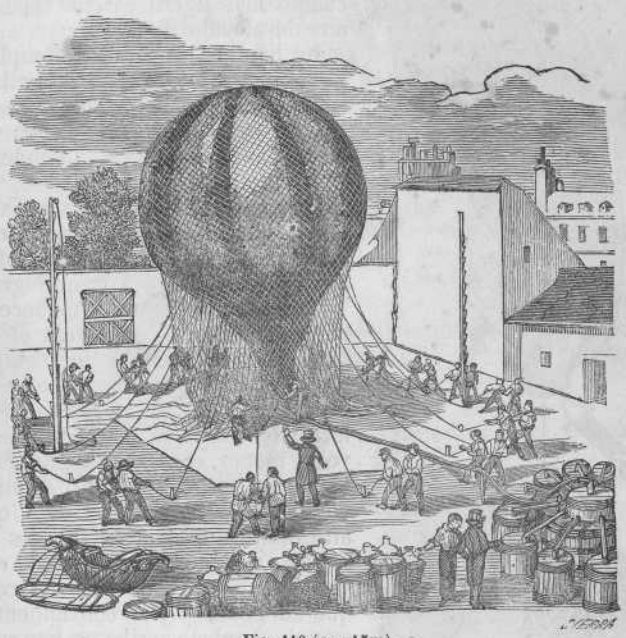


Fig. 110 (a=15m).

agua y ácido sulfúrico, que son las sustancias con que se prepara el hidrógeno. Desde cada tonel va el gas al central, que carece de la tapa inferior, á fin de introducirse en un recipiente lleno de agua, en donde se lava el gas, pasando en seguida al globo por un largo tubo de tela fijado por un estremo en el tonel central, y por el otro en el globo.

Para facilitar la introduccion del gas, se clavan en el suelo dos mástiles, en cuyo vértice hay poleas, en las cuales se arrolla una cuerda que pasa por un anillo fijo en la corona de la válvula. Levantado de esta suerte el globo como cosa de un metro sobre el suelo, se llena con mas facilidad, procurando levantarle poco á poco á medida que se hincha, y cuidando de deshacer sus dobleces, hasta que ya no necesite de tutela; bien que, llegado este momento, es preciso opo-

nerse á su fuerza de ascension. Para esto, varios hombres le retienen por medio de cuerdas atadas á la red, y entonces ya no falta mas que quitar el tubo que conducia el gas y colocar la barquilla. Por lo menos exigen dos horas estos diversos preparativos. Entra, por fin en su barquilla el aereonauta, y á una señal dada se sueltan las cuerdas y se eleva el globo con una velocidad tanto mayor, cuanto mas ligero es con relacion al aire desalojado (fig. 111).

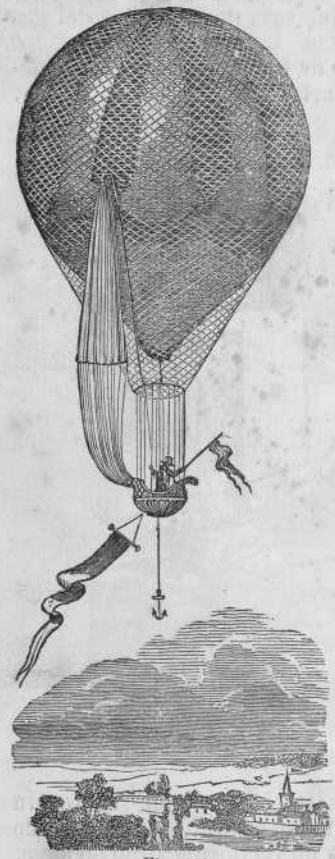


Fig. 111.

No hay que llenar por completo el globo, porque como disminuye la presion atmosférica á medida que se eleva, se dilata el gas interior en virtud de su fuerza espansiva, y tiende á reventarle.

Basta que la fuerza de ascension, es decir, que el esceso de peso del aire desalojado, respecto del peso total del aparato, sea de 4 á 5 quilógramos. Téngase presente que permanece constante esta fuerza, mientras el globo no se halla henchido por completo, merced á la dilatacion del aire interior. En efecto, si la presion atmosférica ha quedado, por ejemplo, dos veces menor, el gas del globo, en virtud de la ley de Mariotte, duplica su volúmen, resultando de aquí que el aire desalojado es á la vez dos veces mayor; y como por otra parte es dos veces menor su densidad, claro está que su peso, y por consiguiente, el empuje de abajo arriba no han sufrido alteracion. Pero si el globo está lleno por completo y continúa subiendo, decrece la fuerza de ascension, porque no variando el volúmen de aire desalojado, disminuye la densidad; y así es que llega un momento en que el empuje es igual al peso del globo, el cual ya no se mueve mas que horizontalmente arrastrado por las corrientes de aire que reinan en la atmósfera.

Por el barómetro tan solo sabe el aereonauta si se eleva ó si desciende, pues en el primer caso baja la columna de mercurio, y en el segundo sube. Mediante el mismo instrumento evalúa la altura á que se encuentra. Una larga banderola, fija en la barquilla (fig. 111), indica tambien, por su situacion hácia arriba ó hácia abajo, si se baja ó se sube.

Cuando trata de descender el aereonauta, tira de la cuerda que abre la válvula situada en la parte superior del globo, mezclándose entonces el hidrógeno con el aire, con lo cual baja el globo. Por el contrario, para disminuir un descenso demasiado rápido, ó para remontarse, si se efectúa este en un punto peligroso, vacia el aereonauta varios sacos de arena que le servian de lastre. Así aligerado, sube de nuevo el globo para descender luego en un sitio mas propicio. Se facilita tambien el descenso suspendiendo de una larga cuerda una áncora en la barquilla. Una vez que se fija aquella en un obstáculo, se baja lentamente tirando de la cuerda.

Hasta ahora carecen de importancia las aplicaciones de los globos aerostáticos. En la batalla de Fleurus, en 1794, se hizo uso de un globo cautivo, es decir, retenido por una cuerda, á fin de que un observador, metido en él, diese á conocer, por medio de señales, los movimientos del enemigo. Muchas son tambien las ascensiones que se han emprendido con la idea de hacer observaciones meteorológicas en las altas regiones de la atmósfera; pero los globos no serán realmente útiles hasta que se les pueda dar direccion. Las tentativas que al efecto se han hecho hasta ahora han fracasado por completo, y así es que por hoy no hay mas recurso que elevarse en la atmósfera hasta encontrar una corriente de aire que tenga poco mas ó menos la direccion que se desea seguir [1].

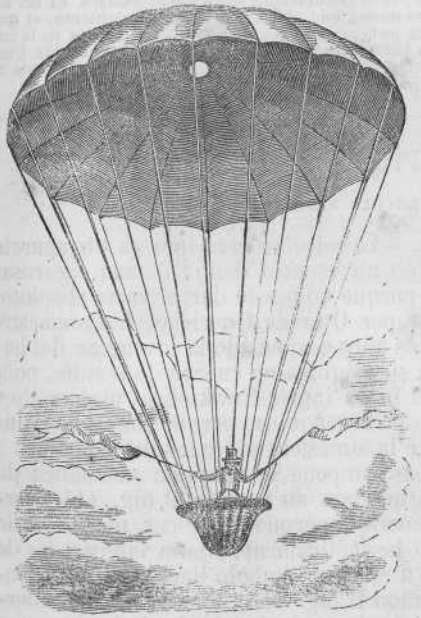


Fig. 112.

175. **Paracaidas.**—El *paracaidas* tiene por objeto permitir al aereonauta que abandone su globo, dándole el medio de debilitar la velocidad del descenso. Este aparato se compone de una gran pieza circular (fig. 112) de tela, de unos 5 metros de diámetro, y que por efecto de la resistencia del aire se estiende bajo la forma de un gran paraguas, y desciende por lo mismo con lentitud. En el contorno estan atadas varias cuerdas, que sostienen una barquilla, en la que se coloca el aereonauta. En el

[1] Tal vez la fuerza de reaccion que se desarrolla por la salida de un gas comprimido, pueda servir de punto de partida para emprender trabajos de esta especie. *(N. de J. P.)*

centro del paracaidas se vé una abertura que da paso al aire comprimido por efecto del descenso, pues, de lo contrario, se producen oscilaciones que, comunicadas á la barquilla, pueden ser fatales.

Se observa en el lado del globo (fig. 111) un paracaidas, plegado y atado á la red, por medio de una cuerda que pasa por una polea para ir á parar á la barquilla. Basta soltar esta cuerda para que el paracaidas abandone al globo.

J. Garnerin fué la primera que se entregó á un paracaidas; pero su invencion, segun parece, es debida á Blanchard.

176. **Cálculo del peso que puede elevar un globo.**—Para calcular el peso que puede elevar un globo de dimensiones dadas, se le supone perfectamente esférico y se hace uso de la fórmula $V=\frac{4\pi R^3}{3}$, que representa en geometria el volúmen de una esfera, siendo R el radio y π la relacion de la circunferencia al diámetro. Sea, pues, un globo lleno de hidrógeno y de 11 metros de diámetro. Si estuviese completamente henchido, valdria su volúmen 696 metros cúbicos, segun la fórmula arriba indicada. Pero como, en general, en el momento de la partida no está lleno mas que hasta la mitad el globo, se pueden tomar por volúmen 348 metros cúbicos. Tal es, pues, el volúmen de aire desalojado en el momento en que principia el ascenso. Como un litro de aire pesa 1gr,3 (138), y 1 metro cúbico 1q,300gr, resulta que 348 metros cúbicos de aire pesan 452 quilógramos. Este es el empuje que tiende á elevar al globo (172). Para calcular la fuerza efectiva de ascension, hay que sustraer el peso del hidrógeno, el de la cubierta y el de los accesorios. El del hidrógeno es con corta diferencia 14 veces menor que el del aire, y de consiguiente, el que hay en el globo pesará 1/14 de 452, ó 32 quilógramos. Añadiendo á este peso el de la cubierta y de los accesorios, evaluado en 150 quilógramos, habrá que restar 182 de 452. Quedan, pues, 270 quilógramos para la fuerza de ascension, y como basta que valga esta 5, resulta que puede elevar el globo 265 quilógramos.

CAPÍTULO IV.

APARATOS FUNDADOS EN LAS PROPIEDADES DEL AIRE.

177. **Máquina neumática.**—La *máquina neumática* es un aparato que sirve para hacer el vacío en un espacio dado, ó mas rigurosamente para enrarecer el aire, porque no puede dar el vacío absoluto.

Fué inventada esta máquina por Otto de Guericke, burgomaestre de Magdeburgo, en 1650, pocos años despues de la invencion del barómetro. Dicho físico solo dió á su máquina un cuerpo de bomba, pues el segundo fué añadido por el físico inglés Hawksebee, acelerando y facilitando así la manipulacion de la máquina, porque tienden á equilibrarse las presiones que ejerce la atmósfera sobre los dos émbolos.

Tal cual se construye hoy, se compone la máquina neumática de dos cilindros de cristal, cada uno con un émbolo P (fig. 113), formado de muchas rodajas de cuero superpuestas y con una capa de aceite, á fin de que, cerrando herméticamente contra las paredes de los cilindros, no dé entrada al aire. Cada émbolo lleva una barra dentada, en la que engrana un piñon H (fig. 115), que se mueve alternativamente de derecha á izquierda y de izquierda á derecha por medio de un manubrio MN; de suerte que cuando un émbolo sube, el otro baja.

Los dos cuerpos de bomba se hallan masticados en su base sobre un pié de cobre que termina, por la estremidad opuesta, en un plati-

llo D, recubierto por un cristal grueso y bien plano. Sobre este platillo, llamado *platina*, se coloca el *recipiente* E en que se trata de hacer el vacío. En el centro de la platina hay una abertura C que pone en comunicacion el interior del recipiente con los cuerpos de bomba por medio de un canal (fig. 114), que se bifurca en *Kcbs* y *Kcdo*.

La figura 115 representa un corte vertical y anterior de los cuerpos de bomba, y en ella se ve cómo el piñon H, movido por el manubrio MN, trasmite el movimiento á las dos barras dentadas, y por

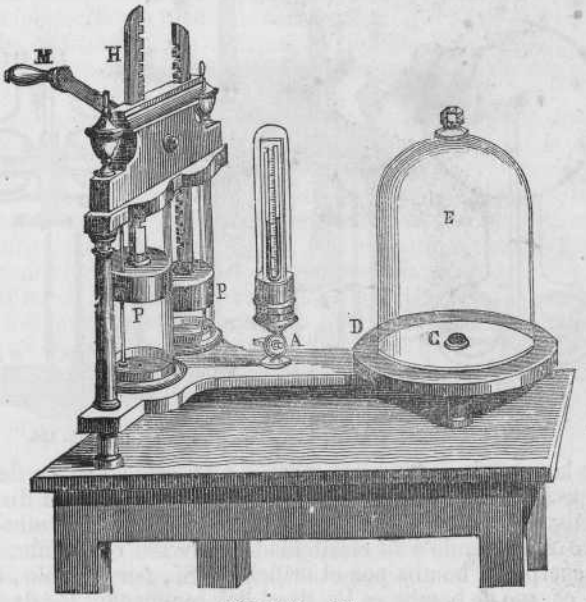


Fig. 113 (a=70).

consiguiente, á los émbolos P y Q. No son estos macizos, sino que en su interior contienen una cavidad cilíndrica cerrada en su base por una valvulita sostenida por un débil resorte. Las cavidades en donde se hallan situadas estas válvulas, comunican con la capacidad superior de los cuerpos de bomba, mediante un agujero que hay en la parte superior de cada émbolo, y que está siempre abierto para la salida del aire. Además de las válvulas dichas, hay otras dos *o* y *s* en la base de los cuerpos de bomba, cónicas y fijas cada una en un vástago de hierro que resbala á frotamiento suave en la masa de los émbolos. Estas válvulas abren y cierran alternativamente la comunicacion entre los cuerpos de bomba y el recipiente. Si baja, por ejemplo, el émbolo P, arrastra consigo al vástago de hierro y cierra la válvula *s*; y si sube, se eleva la varilla y la válvula, pero muy poco, porque la longitud de aquella es tal que choca desde luego contra el

platillo superior del cuerpo de bomba, de suerte que luego no hace ya mas que resbalar en el émbolo que sube solo.

Para comprender el juego de la máquina, basta considerar lo que pasa en uno de los cuerpos de bomba, porque todo es idéntico en el otro. Cuando el piston Q, por ejemplo, situado primero en la parte mas baja de su carrera, sube por la accion del manubrio, arrastra consigo la varilla y la válvula *o*, pues la del interior del émbolo permanece cerrada mientras este asciende, en virtud de su propio peso

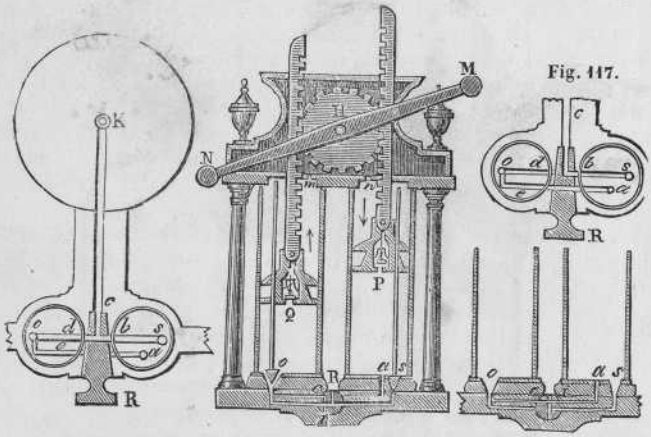


Fig. 114. Fig. 115. Fig. 116.

y del de la atmósfera que actúa merced á los orificios *m* y *n* de los platillos superiores del cuerpo de bomba. Por efecto de esta disposicion de las válvulas, tiende á producirse el vacío debajo del émbolo al subir; pero obedeciendo á su elasticidad el aire del recipiente, pasa en parte al cuerpo de bomba por el orificio *o*. Si, por ejemplo, el volúmen del cuerpo de bomba es $^1/_{20}$ de el del recipiente, $^1/_{21}$ de la masa del aire de este último pasa á aquel.

Cuando baja el émbolo, la varilla de la válvula *o* es arrastrada de arriba abajo, se cierra esta válvula, y el aire del cuerpo de bomba no puede retroceder al recipiente. Si continúa bajando el émbolo, se comprime cada vez mas y mas el aire que está debajo, hasta que, llegando á ser mayor su fuerza elástica que la presion atmosférica, levanta la válvula que se halla en el interior del piston, y el aire comprimido va á situarse entonces encima del mismo, saliéndose por *m* á la atmósfera. Luego que llega el émbolo á la parte inferior de su carrera, ha sido ya sensiblemente espulsado todo el aire estraido del recipiente. A un segundo golpe del piston se renueva la misma série de fenómenos, y así sucesivamente en ambos cuerpos de bomba, hasta que se llega á un límite en que el aire que sale del recipiente se halla tan enrarecido, que no puede ya levantar la válvula interior del piston, aun cuando se halle este en el punto mas bajo de su carrera.

178. Probeta de la máquina neumática. — Despues de haber funcionado por algun tiempo los émbolos, se mide la fuerza elástica del aire que queda en el recipiente, por medio de la diferencia de nivel que toma el mercurio en las dos ramas de un tubo de vidrio encorvado en forma de sifon, estando cerrada una de ellas y abierta la otra como en el barómetro. Este instrumentito se llama *probeta ó barómetro truncado*, porque es un verdadero barómetro de sifon que tiene menos de 76 centímetros de altura; se halla fijo en una escala vertical y colocado debajo de una campana de cristal (fig. 113), que comunica con el recipiente E por medio de una llave A, que se vé en el conducto que va del orificio C á los cuerpos de bomba. Por último, la rama cerrada y la parte curva del tubo se encuentran préviamente llenas de mercurio.

Antes de que se principie á aspirar el aire que se halla debajo del recipiente, se equilibra su fuerza elástica con el peso de la columna de mercurio de la rama cerrada, quedando esta llena; pero á medida que se enrarece el aire por el juego de los émbolos, decrece la fuerza elástica y cesa aquel equilibrio, de manera que desciende la columna de mercurio, tendiendo este á nivelarse en ambas ramas. Si se llegara á hacer el vacío absoluto, se restableceria exactamente el nivel, porque ni en el uno ni en el otro lado habria presion; pero con las mejores máquinas queda siempre un milímetro, por lo menos, mas alto el nivel en la rama cerrada; lo cual indica que el vacío no es perfecto, y que la tension de este resíduo de aire equilibra á una columna de mercurio de un milímetro de altura.

Prácticamente, no puede dar la máquina neumática el vacío absoluto, porque llega un momento en que se halla tan enrarecido el aire, que, aun cuando se encuentren los émbolos en la parte mas baja de su carrera, no puede vencer su fuerza elástica la presion atmosférica que pesa sobre las válvulas situadas en el interior de los pistones, no abriéndose ya estas por lo mismo. Teóricamente es tambien imposible el vacío absoluto, porque, siendo, por ejemplo, el volúmen de cada cuerpo de bomba $^1/_{20}$ del del recipiente, solo se estrae á cada golpe $^1/_{21}$ de la masa de aire que queda en este último, y así es que jamás se agota todo el aire. El cálculo demuestra, en efecto, que se requeririan un número infinito de golpes de piston para obtener el vacío perfecto.

179. Llave de doble accion. — M. Babinet ha aplicado á la máquina neumática una llave que permite llevar á un alto grado el enrarecimiento del aire. Se pone esta llave en la bifurcacion del canal que conduce el aire del recipiente á los dos cuerpos de bomba, y ofrece muchos orificios que se utilizan, dándola dos posiciones diferentes. La figura 114 representa un corte ó una seccion horizontal de la llave R, en una posicion tal, que por su orificio del centro y por dos aberturas laterales establece la comunicacion entre la platina K y las válvulas *o* y *s*. La máquina funciona segun digimos mas arriba (177). En la figura 117, ha dado sobre sí misma la llave un cuarto de vuelta; el conducto trasversal *db*, que era horizontal en la figura 114, es ahora

vertical, y sus orificios se encuentran cerrados por las paredes que están en contacto con la llave. Pero un segundo conducto, que antes no funcionaba, y que ha remplazado al primero, pone actualmente al cuerpo de bomba, del lado derecho *solo*, en comunicacion con el recipiente por medio del canal *cbs* (fig. 117), y además hace que se relacione el cuerpo de bomba derecho con el izquierdo por un conducto *aeo* (fig. 117) ó *aico* (fig. 116). Este conducto parte de una abertura central *a*, situada en la base del cuerpo de bomba derecho, y va á la válvula *o* del otro cuerpo de bomba, al traves de la llave (fig. 116 y 117); pero el mismo conducto se encuentra interrumpido por dicha llave cuando se encuentra esta en su primera posicion (fig. 114 y 115).

Ahora bien, al elevarse el émbolo derecho aspira el aire del recipiente; mas al bajar, repele el aire espirado al cuerpo de bomba izquierdo al traves del orificio *a*, del canal *ci* y de la válvula *o* (fig. 116) entonces abierta. Cuando se eleva de nuevo el mismo émbolo, baja el izquierdo, pero el aire que se encuentra debajo no vuelve al cuerpo de bomba derecho por estar cerrada ahora la válvula *o*. Como el émbolo derecho continúa aspirando así el aire del recipiente y rechazándole al cuerpo de bomba izquierdo, se acumula en este y acaba por adquirir allí la suficiente tension para levantar la válvula del piston, lo cual era imposible antes del uso de la llave de doble accion. Cada vez que se consigue hacer abrir así la válvula Q, es espulsado el aire.

180. **Usos de la máquina neumática.** — Ya hemos dado á conocer muchísimos esperimentos hechos con la máquina neumática, como son los de la lluvia de mercurio (15), de la caida ó del descenso de los cuerpos en el vacío (51), de la vejiga en el vacío (135), del rompevejigas (149), de los hemisferios de Magdeburgo (146) y del baróscopo (172).

La máquina neumática sirve tambien para demostrar que el aire, por el oxígeno que contiene, es necesario para el sosten de la combustion y de la vida. En efecto, si se coloca debajo del recipiente un cuerpo inflamado, una vela, por ejemplo, se vé que palidece la llama á medida que se hace el vacío, hasta que por fin se apaga. De igual manera cae asfixiado un animal y muere, si despues de haberle colocado debajo del recipiente se hace el vacío. Los mamíferos y las aves perecen en él muy pronto; los peces y los reptiles resisten mucho mas tiempo la privacion del aire, y en cuanto á los insectos, pueden permanecer dias enteros en el vacío sin morir.

En el vacío se conservan las sustancias fermentescibles sin alteracion durante un tiempo muy largo, por no encontrarse en contacto con el oxígeno que es necesario para la fermentacion. Varios alimentos conservados en cajas herméticamente cerradas, en las que se habia hecho el vacío, se encontraron al cabo de muchos años tan frescos como el primer dia.

La *fuente en el vacío* (fig. 118) es tambien un esperimento que se hace con la máquina neumática, y que sirve para demostrar la fuerza espansiva del aire. Consiste en un frasco lleno de agua en parte y de aire el resto, con un tapon que dá paso al tubo que se introduce en

el líquido. Puesto el frasco debajo del recipiente, se vé que salta el agua por el vértice del tubo, luego que se enrarece el aire de aquel, por efecto de la fuerza elástica del aire encerrado en el frasco.

Por último, la figura 119 representa un esperimento que comprueba el efecto de la presion atmostérica en el cuerpo humano. El recipiente es un cilindro abierto por sus dos estremidades, con objeto de que en la superior se aplique bien la mano, mientras

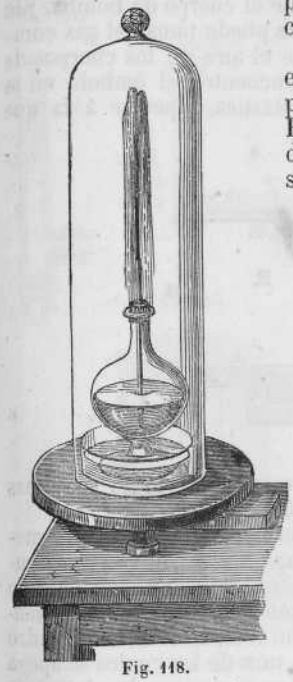


Fig. 118.

Fig. 119.

otra persona hace el vacío. Entonces, como ya no se equilibra la presion en las dos caras de la mano, se ve esta muy comprimida contra los bordes del cilindro, de suerte que se requiere un grande esfuerzo para retirarla. Además, no hallándose tampoco contrabalanceada la elasticidad de los fluidos que contienen los órganos por el peso de la atmósfera, se hincha la palma de la mano, tendiendo á salir la sangre por los poros.

181. **Máquina de compresion.** — Se denomina *máquina de compresion* un aparato que sirve para comprimir el aire ó cualquiera otro gas. Como no difiere, en cuanto á la forma, de la máquina neumática (105), nos limitarémos á dar de ella aquí una seccion longitudinal, á fin de demostrar el juego de las válvulas que se abren de arriba abajo, mientras que en la neumática lo hacen de abajo arriba. Estas válvulas (*a* en la base del émbolo y *o* en el cuerpo de bomba, fig. 120) son cónicas y permanecen cerradas por pequeños resortes en espiral. Cuando el émbolo P sube, se enrarece el aire debajo, permanece cerrada la válvula *o*, y la *a* se abre por efecto de la presion atmosférica, permitiendo así que el aire esterior entre en el cuerpo de bomba. Cuando baja el piston, se comprime el aire que se halla debajo, se cierra la

válvula *a*, pero se abre la *o* y dá paso al aire repelido, el cual se dirige al recipiente R. A cada golpe de piston, penetra de esta suerte en el recipiente la masa de aire que contiene el cuerpo de bomba. Sin embargo, reconoce un límite la tension que puede tomar el gas comprimido, porque llega un momento en que el aire de los cuerpos de bomba no adquiere ya, aun cuando se encuentre el émbolo en la parte mas baja de su carrera, una fuerza elástica superior á la que

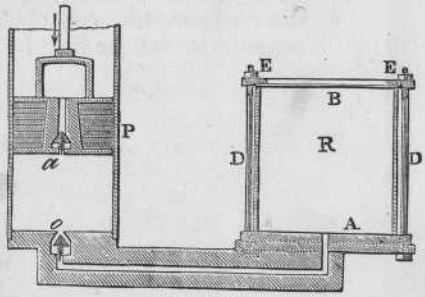


Fig. 120.

tiene el del recipiente, y así es que desde este momento no pasa mas aire á este, porque tampoco se abren las válvulas.

En la máquina de compresion, se mide la tension del aire por medio de un pequeño manómetro de aire comprimido (166) que comunica con el recipiente. Por último, en dicha máquina debe fijarse fuertemente el recipiente en la platina, porque de lo contrario lo levantaria la elasticidad del gas. Se compone dicho recipiente de un cilindro de vidrio, abierto por sus dos estremidades, una de las cuales se apoya en la platina A, y la otra se halla cerrada por una segunda platina de cristal B, con cuatro orificios que dan paso á cuatro barras de hierro D fijas en la platina. Por medio de estas y de tuercas E se aplica bien el cristal B sobre el cilindro, y á fin de prevenir los accidentes que pueden sobrevenir, dado caso que se rompiera el cilindro por la tension del gas comprimido, se le proteje con una rejilla de alambre.

Pocas son las aplicaciones de esta máquina de compresion, de tan frecuente uso, lo contrario sucede cuando tiene la forma siguiente.

* **182. Bomba de compresion.** — La *bomba de compresion*, que es una verdadera bomba impelente, no se compone mas que de un cuerpo de bomba A, de pequeño diámetro (fig. 122), en el cual entra y se mueve á mano un piston macizo ó sin válvula. El cuerpo de bomba termina en una rosca que le fija en un recipiente K, en el que se ha de comprimir el aire ó un gas cualquiera. En la figura 121 puede verse la disposicion de las válvulas, situadas de manera que la latera *o* se abre de fuera adentro, y al reves la inferior *s*, encontrándose todas cerradas por medio de pequeños resortes en espiral. Su juego es el mismo que en la máquina de compresion.

En la bomba que nos ocupa, lo mismo que en el aparato anterior,

depende el límite de compresion de la relacion entre los dos volúmenes de aire que hay debajo del émbolo, cuando se encuentra en la parte superior y en la inferior de su carrera. Si el segundo volúmen es, por ejemplo, $1/60$ del primero, no pasará de 60 atmósferas la compresion, porque, salvando este término, la tension, en el recipiente K, seria mayor que en el cuerpo de bomba, y en tal caso no podria abrirse la válvula inferior de este para dar paso á una nueva cantidad de aire.

Fig. 121.

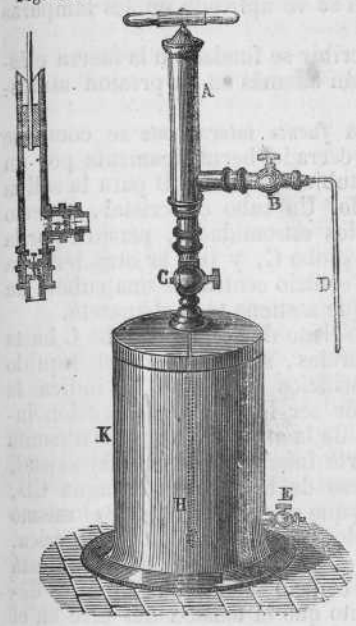


Fig. 122 (a=62).

Este aparato sirve, sobre todo, para hacer absorber los gases por el agua. Al efecto, se pone en comunicacion la llave B, por medio de un tubo D, con un depósito lleno del gas que se trata de disolver, por ejemplo, de ácido carbónico; la bomba aspira este gas y le repele á la vasija K, en donde se disuelve en una cantidad tanto mayor, cuanto mas comprimido está (170, 1.°). Con aparatos análogos se fabrican las aguas gaseosas artificiales.

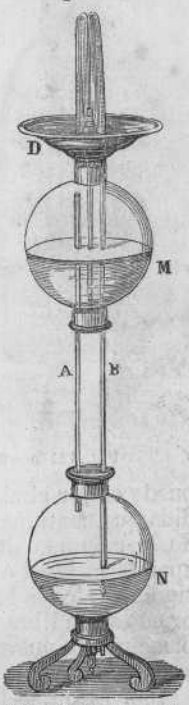


Fig. 123 (a=1m,17).

* 183. **Fuente de Heron.** — La *fuente de Heron*, así llamada del apellido de su inventor, que vivia en Alejandría 120 años antes de la era cristiana, se compone de una cubeta de cobre D (fig. 123) y de dos globos de vidrio M y N de 2 á 3 decímetros de diámetro. La cubeta comunica con la parte inferior del globo N por medio de un largo tubo de cobre B; un segundo tubo A relaciona entre sí los dos globos, y por último, un tercer tubo mas pequeño atraviesa la cubeta y va á la parte inferior del globo M. Dicho tercer tubo se quita para llenar este globo hasta la mitad; y luego, colocándolo de nuevo, se vierte agua en la cubeta. Desciende el líquido por el tubo B al globo inferior espulsando su aire, el cual es repelido al globo superior, en donde reacciona sobre el agua haciéndola saltar, conforme se ve en el grabado.

Sin la resistencia del aire y el rozamiento, se elevaria el líquido, encima de la cubeta, á una altura igual á la diferencia de nivel en los dos globos.

El principio de la fuente de Heron se ve aplicado en las lámparas hidrostáticas de Girard.

Los aparatos que acabamos de describir se fundan en la fuerza elástica del aire, y los siguientes lo están además en la presion atmosférica.

184. **Fuente intermitente.** — La *fuente intermitente* se compone de un globo de vidrio C (fig. 124) cerrado herméticamente por un tapon esmerilado, y con dos ó tres tubitos capilares D para la salida del líquido. Un tubo de cristal, abierto por sus dos estremidades, penetra por la una en el globo C, y por la otra termina cerca del orificio central de una cubeta de cobre B que sostiene todo el aparato.

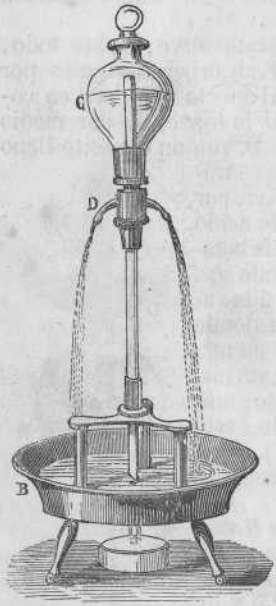


Fig. 124 (a=65).

Estando lleno de agua el globo C hasta los dos tercios, sale primero el líquido por los orificios D, segun lo indica la figura, por ser igual en D la presion interna á la de la atmósfera que se trasmite por la parte inferior del tubo de cristal, mas al peso de la columna de agua CD, siendo así que esteriormente, en el mismo punto, solo existe la presion atmosférica. Persisten estas condiciones mientras está abierto el orificio inferior del tubo, es decir, en tanto que la tension del aire en el interior es igual á la presion de la atmósfera, pues el aire entra á medida que fluye el agua; pero como se halla regulado el aparato de manera que el orificio practicado en el fondo de la cubeta B deje salir menos agua que la que dan los tubitos D, sube el nivel poco á poco en la vasija, hasta que por fin queda sumergido por completo el tubo en el líquido. Como no puede entrar el aire esterior en el globo C, se enrarece en este á medida que continúa la salida, llegando un momento en que la presion de la columna de agua CD y de la tension del aire encerrado en el aparato es igual á la presion esterior que se ejerce en D, y por consiguiente, cesa la salida. Pero la cubeta, continuando vaciándose, pronto se ve libre la estremidad del tubo, y entrando entonces el aire, principia de nuevo la salida, y así sucesivamente mientras quede agua en el globo C.

185. **Sifon.** — El *sifon* es un tubo encorvado de ramas desiguales, que sirve para trasvasar los líquidos, introduciendo en estos la rama mas corta (fig. 125).

Llénase primero por completo de líquido, y luego, cerrando momentáneamente sus dos orificios, se le coloca segun indica la figura; ó bien introduciendo la rama menor en el líquido, se aspira con la boca por el orificio B el aire del aparato. Hecho así el vacío, sube por el tubo el líquido de la vasija C, y le llena por efecto de la presion atmosférica.

Si el líquido que se va á trasvasar pudiese ser nocivo, sirve un sifon con un segundo tubo M (fig. 126) paralelo á la rama mayor. Por el orificio O de este tubo adicional se aspira el aire, cerrando al mismo tiempo el P, y no permitiendo que suba hasta la boca el líquido en el tubo adicional. Pero de cualquier modo que se le haya llenado, continúa pasando el líquido de la rama menor á la mayor, mientras permanezca aquella dentro del líquido.

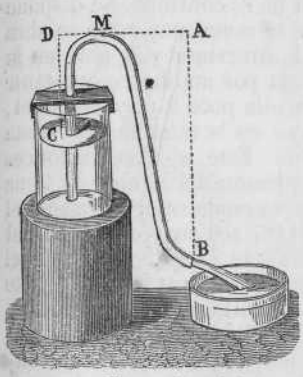


Fig. 125 (a=40).

Para hacerse cargo de esta salida, nótese que la fuerza que actúa sobre el líquido en C (fig. 125) y le solicita en la direccion CMB, es igual á la presion atmosférica, menos el peso de una columna de agua cuya altura es CD. De igual manera, en B, la fuerza que solicita al líquido en la direccion BMC es la presion atmosférica, menos el peso de una columna de agua que tiene por altura AB; y como esta es mayor que DC, claro está que la fuerza efectiva que obra en B es menor que la que actúa en C. La salida se verifica, pues, en virtud de la diferencia de estas dos fuerzas. De consiguiente, será tanto mayor la velocidad de salida, cuanto mayor sea tambien la diferencia de nivel entre el orificio B y la superficie líquida en C.

Dedúcese de la teoría del sifon que no funcionaria este aparato en el vacío, ni tampoco si la altura CD fuese mayor que la columna líquida que equilibra la presion atmosférica.

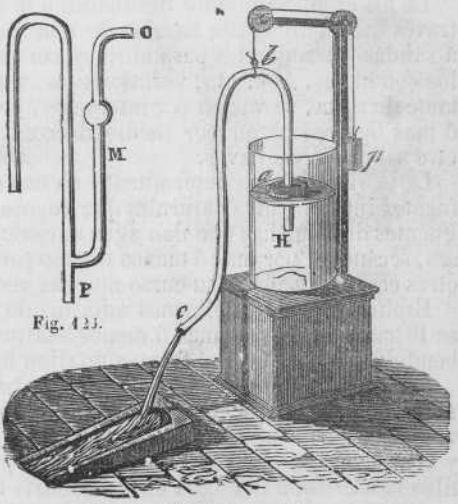


Fig. 126.

Fig. 127 (a=55).

186. Sifon de salida constante.—En atencion á lo que pre-

cede, es preciso, para que sea constante en este aparato la salida, que no sufra variacion alguna la diferencia entre las alturas del líquido en las dos ramas. Se obtiene este resultado disponiendo el aparato conforme se ve en la fig. 127. Mantiénese en equilibrio el aparato por medio de un flotador *a* y de un peso *p*, de manera que, á medida que baja el nivel en el depósito H, descienda con él el sifon, permaneciendo así invariable la diferencia entre las alturas.

* 187. **Sifon intermitente.** — El *sifon intermitente*, como ya su nombre lo indica, es aquel en el cual la salida no es contínua. Se dispone este sifon en una vasija, de manera que la rama mas corta se abra cerca del fondo, mientras que la mayor le atraviesa y se abre en la parte esterna (fig. 128). Alimentada la vasija por un chorro constante de agua, sube en ella poco á poco el nivel, y al mismo tiempo en la rama menor hasta el vértice del sifon. Este se llena entonces por efecto de la presion del líquido, y tiene lugar la salida; pero como se procura que el gasto del sifon (118) sea mayor que el del caño que alimenta á la vasija, desciende el nivel en esta, con lo cual queda muy pronto en seco la rama pequeña; se vacia el sifon, y se interrumpe la salida. Mas la vasija continúa llenándose por efecto del caño en contínua accion; sube de nuevo el nivel, y periódicamente se renueva la misma série de fenómenos.

Fig. 128.

En los establecimientos destinados á la distribucion de las aguas al través de los diferentes barrios de una ciudad, se recurre á menudo á salidas intermitentes para abrir y cerrar á horas fijas las llaves de los conductos. Al efecto, varias vasijas, alimentadas por un hilito constante de agua, se vacian por intervalos, y volviéndose así mas pesados ó mas ligeros, obran por medio de contrapesos en un sentido ó en otro sobre dichas llaves.

La teoría del sifon intermitente da una cumplida esplicacion de las fuentes intermitentes naturales que se observan en muchas comarcas. Fuentes de estas hay que dan agua durante muchos dias ó muchos meses, secándose por mas ó menos tiempo para volver á fluir de nuevo; y otras cesan y recobran su curso muchas veces en una hora.

Esplícanse estos fenómenos admitiendo cavidades subterráneas que se llenan de agua con mas ó menos lentitud, y que se vacian luego por hendiduras que vienen á formar un sifon intermitente.

* 188. **Diferentes especies de bombas.** — Las *bombas* son máquinas que sirven para elevar el agua por aspiracion, por presion ó por ambos efectos combinados: de aquí su division en *aspirantes, impelentes* y *aspirante-impelentes*. Atribuíase en las épocas anteriores á la de Galileo la ascension del agua en las bombas aspirantes al *horror de la naturaleza al vacío;* pero dicho fenómeno es un simple efecto de la presion atmosférica.

189. **Bomba aspirante.** — La fig. 129 representa un modelo de

bomba aspirante que sirve para la demostracion en las cátedras, pero con las mismas disposiciones que las usadas en la industria. Se compone : 1.° de un *cuerpo de bomba* cilíndrico B, con una válvula S en la base, que se abre de abajo arriba; 2.° de un *tubo de aspiracion* A, que se introduce en el depósito del agua que se va á elevar, y 3.° de un *piston* con un vástago que le hace subir ó bajar en el cuerpo de bomba, y con un agujero protegido en su parte superior por una válvula que se abre tambien de abajo arriba. Una *palanca* P pone en movimiento al vástago y piston.

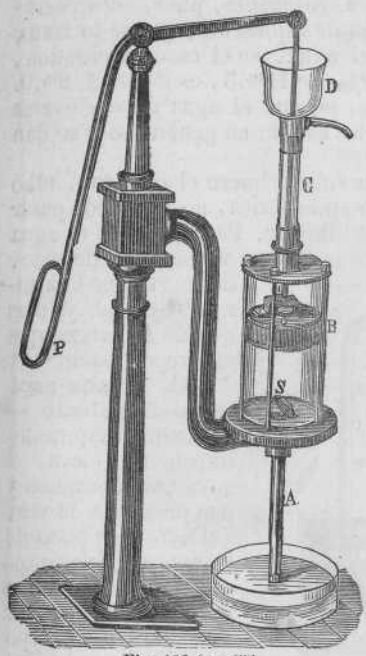


Fig. 129 (a=75).

Si sube el émbolo, tiende á hacerse el vacío debajo, y permanece cerrada la válvula O por la presion atmosférica, mientras que el aire del tubo A, en virtud de su elasticidad, levanta la válvula S, y pasa en parte al cuerpo de bomba. Enrarecido así el aire, sube el agua en el tubo hasta que la presion de la columna líquida elevada, añadida á la tension del aire enrarecido que queda en el tubo, equilibra la presion atmosférica que se ejerce en el agua del depósito.

Si baja el émbolo, se cierra por su propio peso la válvula S, y se opone á que el aire vuelva desde el cuerpo de bomba al tubo de aspiracion. El aire, comprimido por el piston, abre la válvula O, y se va á la atmósfera por el tubo C que se halla encima del cuerpo de bomba, y que se llama *tubo de ascension*. A un segundo golpe de piston se reproduce la misma série de fenómenos, y al cabo de algunos golpes penetra el agua por fin en el cuerpo de bomba. A partir de este momento, se modifica el efecto producido. Durante el descenso del émbolo se cierra la válvula S; el agua comprimida abre la válvula O, y se coloca encima del piston, el cual la eleva en seguida cuando sube hasta el depósito superior D. Entonces ya no hay aire en el cuerpo de bomba, y el agua, oprimida por la presion atmosférica, asciende con el piston; á no ser que el término de su carrera se halle á mas de $10^m,3$ encima del nivel del agua en el depósito en que entra el tubo de aspiracion A, pues se ha visto (148) que una columna de agua de $10^m,3$ equilibra la presion atmosférica.

Para cerciorarse de la altura que se puede dar al tubo de aspiracion A, obsérvese que, en la práctica, jamás se aplica exactamente el

piston sobre la base del cuerpo de bomba, y que, cuando se halla en la parte mas baja de su carrera, queda todavía debajo de él un *espacio perjudicial* lleno de aire á la presion atmosférica. Supongamos que vale este espacio $^1/_{30}$ del volúmen del cuerpo de bomba: el aire que contiene se dilata á medida que sube el émbolo, y llegado que haya este á la parte mas alta de su carrera, su tension será, segun la ley de Mariotte, $^1/_{30}$ de la presion atmosférica. No puede, pues, enrarecerse mas allá de este límite el aire del tubo de aspiracion, y por lo tanto, no es posible que suba en este tubo el agua, en el caso en cuestion, mas que á una altura igual á los $^{29}/_{30}$ de $10^m,3$, es decir, á $9^m,9$. Esta altura es aun demasiado grande, porque el agua debe elevarse cierta cantidad sobre la válvula S, y así es que en general solo se dan 8 metros á los tubos de aspiracion.

En resúmen, en la bomba aspirante sube primero el agua en el tubo de aspiracion por efecto de la presion atmosférica, no pudiendo pasar de 8 á 9 metros la altura que así se obtiene. Pero una vez el agua encima del piston, sube por efecto de la fuerza ascensional de este, de suerte que la altura no depende ya mas que de la fuerza que mueve al piston.

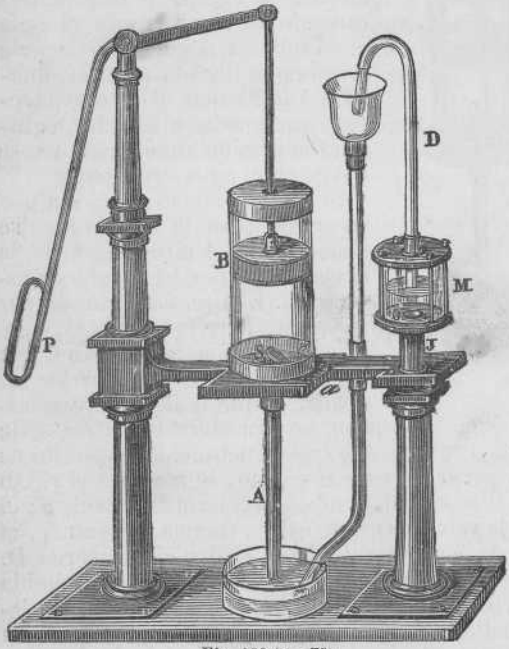


Fig. 130 (a=75).

190. **Bomba aspirante-impelente.** — La bomba aspirante-impelente eleva el agua por aspiracion y por presion á la vez, y difiere muy poco de la anterior, por presentar tan solo lleno ó macizo el piston. En la base del cuerpo de bomba, sobre el orificio del tubo aspirador, continúa aun la válvula S (fig. 130) abriéndose de abajo arriba. Otra válvula O, que se abre en el mismo sentido, cierra la abertura de un tubo encorvado que, partiendo del orificio *o*, practicado cerca de la válvula S, va á terminar, debajo del platillo *a*, en una vasija M, que es el *depósito de aire*. Por último, de este depósito parte un tubo de ascension D, que eleva el agua á una altura mas ó menos considerable.

A cada ascension del piston B, sube el agua por el tubo A y pene-

tra en el cuerpo de bomba. Al bajar el piston se cierra la válvula S, y el agua comprimida levanta la válvula O para pasar al depósito M, y de aquí al tubo D, en el cual no tiene mas límite la altura que la fuerza del motor que hace funcionar á la bomba.

Si fuese el tubo D la prolongacion del de comunicacion *Jao*, seria intermitente la salida, verificándose al bajar el émbolo y cesando al subir. Pero entre estos dos tubos hay una solucion de continuidad, la cual, por medio del aire encerrado en M, facilita la salida contínua. En efecto, repelida el agua al depósito M, se divide en dos partes, una de las cuales, al elevarse en el tubo D, comprime al líquido del depósito, y la otra, en virtud de esta presion, asciende en el mismo encima del orificio inferior del tubo D, comprimiendo al aire que tiene encima. De consiguiente, cuando sube el piston y no actúa ya para repeler el agua, el aire del depósito, por el esceso de presion que ha recibido, reacciona sobre el líquido y se eleva en el tubo D, hasta que baja de nuevo el piston, de suerte que no hay intermitencia en la salida.

191. Bomba impelente. — La *bomba impelente* no obra mas que por presion, y no utiliza el peso de la atmósfera. Esta bomba difiere simplemente de la anterior por carecer de tubo de aspiracion, teniendo introducido su cuerpo de bomba en el agua misma que se trata de hacer subir. La continuidad de la salida se obtiene por medio de un depósito de aire, semejante al que ya hemos descrito, ó bien sirviéndose de un sistema de dos bombas que obran alternativamente. Tales son las de los incendios.

192. **Carga que sufre el émbolo.** — En la bomba aspirante (fig. 129), luego que el agua llena al tubo de aspiracion y cuerpo de bomba hasta el orificio de salida, *el esfuerzo necesario para levantar el piston es igual al peso de una columna de agua que tuviese por base el piston y por altura la distancia vertical del orificio de salida al nivel del agua en el depósito de donde se saca, es decir, la altura á que ha de elevarse el agua.* En efecto, sea A la presion atmosférica, a la altura del agua en C, encima del piston, y a' la de la columna de agua que llena el tubo de aspiracion y la parte inferior del cuerpo de bomba. La presion encima del piston es evidentemente $A+a$ y la de abajo $A-a'$, pues el peso de la columna a' tiende á equilibrar la presion atmosférica. Como la presion $A-a'$ tiende á levantar el piston, la resistencia efectiva es igual al esceso de $A+a$ sobre $A-a'$, es decir, $a+a'$, que es lo que debia demostrarse.

En la bomba aspirante-impelente (fig. 130) es fácil ver que la presion que sufre el émbolo es tambien igual al peso de una columna de agua que tuviese por base la seccion del émbolo, y por altura la que debe alcanzar el agua.

193. **Frasco de Mariotte, su uso.** — El *frasco de Mariotte* es un aparato que ofrece muchos efectos notables de presion atmosférica, y que dá una salida constante. Consiste en un frasco algo grande, con el tapon (fig. 131) atravesado por un tubo de vidrio abierto por sus dos estremidades. En el lado del frasco hay tres tubitos a, b, c, de orificio estrecho y cerrado por un taponcito de madera.

Suponiendo enteramente llenos de agua el frasco y el tubo, consideremos lo que pasa cuando se abre sucesivamente uno de los tubitos a, b, c, siempre que la estremidad inferior del tubo g se halle entre los dos tubitos b y c.

1.° Si se abre primero el tubito b, sale el agua, baja el nivel en el tubo g, y luego que este nivel es el mismo que en b, cesa la salida. Esplicanse estos fenómenos por el esceso de presion que desaparece luego que el nivel es el mismo en el tubo g que en b. En efecto, antes de que principiase la salida, no era igual la presion sobre todos los puntos de la capa horizontal be; pues en e se componia de la presion atmosférica, mas del peso de la columna de agua ge, mientras que en b era la presion igual á la atmosférica. Pero luego que el nivel es el mismo en e y en b, hay equilibrio, porque en el frasco y en el tubo es entonces idéntica la presion en todos los puntos de la capa horizontal be (81, 3.°). Efectivamente, la presion que se ejerce en este caso es igual á la de la atmósfera, y tambien es fácil demostrar que la misma presion actúa en un punto cualquiera o de la capa be. Al efecto, representemos por A la presion de la atmósfera, y como esta fuerza obra directamente en b y

en *e*, se trasmite en todos sentidos en el interior del frasco, segun el principio de Pascal (80), y la pared *k* resiste de abajo arriba una presion igual á A — *ko*, porque el peso de la columna de agua *ko* destruye en parte la presion que tiende á trasmitirse en *k*. Ahora bien, en virtud del principio de mecánica que sienta que *la reaccion es siempre igual y contraria á la accion*, la presion A— *ko* es rechazada de arriba abajo por la pared *k* sobre la capa *be*; de suerte que la molécula *o* resiste en realidad dos presiones, igual la una al peso de la columna *ko*, y la otra á la presion A—*ko* que resulta de la reaccion de la pared *k*. La presion real que sufre la molécula *o* es, pues, *ko*+ A — *ko*, ó A, que es lo que íbamos á demostrar.

2.° Si se cierra el tubito *b* y se abre el *a*, no hay salida [1]; al contrario, entra el aire en el frasco por el orificio *a*, y sube el agua en el tubo *g* hasta la capa *ad*, y llegado ya este momento se restablece el equilibrio. En efecto, fácil es reconocer, por medio de un razonamiento igual al anterior, que la presion es entonces la misma en todos los puntos de la capa horizontal *ad*.

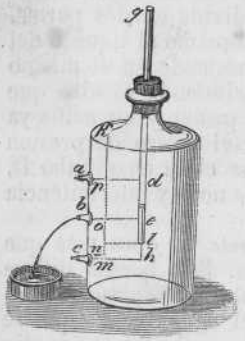


Fig. 131 (a=44).

3.° Cerrados ahora los tubos *a* y *b*, abrimos el orificio *c*. En este caso hay salida con una velocidad constante, mientras el nivel del agua en el frasco no es inferior al orificio *l* del tubo. Entra en este caso á burbujas el aire por dicho orificio, y se acumula en la parte superior del frasco, en donde ocupa el sitio del agua que fluye.

Para demostrar que la salida es constante por el orificio *c*, preciso es hacer ver que la presion que se ejerce en la capa horizontal *ch* es invariablemente igual á la presion de la atmósfera aumentada con la de la columna de agua *hl*. Supongamos, en efecto, que haya bajado en el frasco el nivel hasta la capa *ad*: el aire que ha penetrado sufre entonces una presion igual á A — *pn*; presion que, en virtud de su elasticidad, trasmite á la capa *ch*, la cual resiste además el peso de la columna de agua *pm*; de manera que la presion que se nota en *m* es en realidad *pm*+ A — *pn*, ó A + *mn*, es decir A + *hl*. Demostrariase de igual manera que esta presion es tambien la misma cuando el nivel baja á *eb*, y así sucesivamente interin está mas alto aquel que el orificio. Por lo tanto, es constante la presion en la capa *ch*, y de consiguiente la velocidad de salida. Pero luego que el nivel es inferior al punto *l*, decrece esta presion, y por lo mismo la velocidad.

Vése, por lo que precede, que el frasco de Mariotte dá el medio de obtener una salida constante; para lo cual se le llena de agua, y se tiene abierto el tubito situado debajo del orificio *l* del tubo. La velocidad de la salida es entonces proporcional á la raiz cuadrada de la altura *lh* (117).

---

[1] Esto es en el supuesto de que ya de antemano se abrió el tubito *b*; pues si esto no hubiera sucedido, saldria líquido del tubo *g* hasta ponerse á nivel con el orificio *a*, por razones análogas á las espuestas para el primer caso. *(N. de J. P.)*

LIBRO QUINTO.

ACUSTICA.

CAPITULO PRIMERO.

PRODUCCION, PROPAGACION Y REFLEXION DEL SONIDO.

194. **Objeto de la acústica.** —La *acústica* tiene por objeto el estudio del sonido y el de las vibraciones de los cuerpos elásticos.

La música considera los sonidos bajo el punto de vista de los sentimientos y de las pasiones que pueden escitar en nosotros, mientras que la acústica solo atiende á las propiedades de los sonidos, abstraccion hecha de las sensaciones que esperimentamos.

195. **Sonido y ruido.** —El *sonido* es una sensacion particular escitada en el órgano del oido por el movimiento vibratorio de los cuerpos, siempre que puede trasmitirse este movimiento al órgano del oido, al traves de una sustancia intermedia.

No son idénticos todos los sonidos, pues presentan diferencias suficientemente sensibles para distinguirlos entre sí, compararlos y determinar sus relaciones.

Distínguese, en general, el sonido del *ruido*. El sonido propiamente dicho, ó el *sonido musical*, es el que produce una sensacion contínua, siendo factible apreciar su valor musical; mientras que el ruido es un sonido de muy escasa duracion para que sea dable su exacta apreciacion, como sucede en el estampido de los cañonazos; ó bien es una mezcla confusa de muchos sonidos discordantes, como el retumbo de los truenos ó el murmullo de las olas. Con todo, no se tenga por bien deslindada la diferencia entre el sonido y el ruido, pues oidos hay tan perfectamente organizados, que determinan el valor musical del ruido de los carruages que circulan por el empedrado de las calles.

196. **Causa del sonido.** —El sonido es siempre el resultado de rápidas oscilaciones comunicadas á las moléculas de los cuerpos elásticos, cuando algun choque ó algun rozamiento ha roto su equilibrio. Tienden entonces á recobrar su posicion primitiva, lo cual no lo consiguen sino despues de haber ejecutado varios movimientos oscilatorios ó de vaiven sumamente veloces, y cuya amplitud decrece con no menor rapidez.

Llámase *cuerpo sonoro* el que produce un sonido, *oscilacion ó vibracion sencilla*, el movimiento que no comprende mas que una *ida* ó una *vuelta* de las moléculas vibrantes, y *vibracion doble ó completa* si comprende *ida* y *vuelta*. Se comprueban esperimentalmente las vibraciones con la mayor facilidad, pues si se proyecta finísimo polvo sobre un cuerpo que produce sonidos, se nota que toma aquel un rápido movimiento,

haciendo así visibles las vibraciones de los cuerpos. De igual manera, si se dá un golpe á una cuerda tensa y algo larga, son aparentes á simple vista sus vibraciones.

197. El sonido no se propaga en el vacío. — Las vibraciones de los cuerpos elásticos solo causan en nosotros la sensacion del sonido cuando se trasmiten al través de un medio ponderable, interpuesto entre el órgano del oido y el cuerpo sonoro, y vibrando á la par con él. Este medio es ordinariamente el aire; pero no obstante, los gases, los vapores, los líquidos y los sólidos trasmiten tambien el sonido.

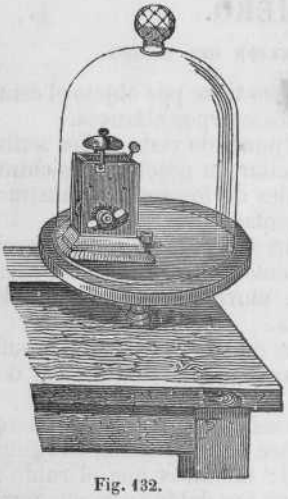


Fig. 132.

Para demostrar que es necesaria la presencia de un medio ponderable para la propagacion del sonido, se hace el siguiente esperimento: se coloca debajo del recipiente de la máquina neumática una campanita de reloj que esté batida de una manera contínua, por un martillito puesto en relacion con un aparato de relojería (fig. 132). Mientras se halla el recipiente lleno de aire, se oyen con la mas perfecta claridad los golpes del martillito; mas á medida que va enrareciéndose el aire, se nota que pierde parte de su intensidad, cesando al fin de ser perceptible luego que está hecho el vacío. Queda demostrado, pues, que en este no se propaga el sonido.

Para obtener bien el esperimento, se dispone el aparatito sobre sustancias blandas, como pluma, etc., porque las piezas metálicas de que aquel se compone pueden trasmitir sus vibraciones á la platina de la máquina neumática, y esta al aire esterior.

Fácil es repetir tambien este mismo esperimento de un modo mas sencillo, por medio de un globo de vidrio con llave, y que contenga una campanita suspendida de un hilo. Si se agita el globo mientras está lleno de aire, se oye aquella distintamente; pero luego que este se enrarece por medio de la máquina neumática, ya nada se percibe.

198. El sonido se propaga en todos los cuerpos elásticos. — Si en los dos esperimentos que acabamos de indicar, una vez hecho el vacío, se deja que penetre en el recipiente ó en el globo un gas cualquiera ó un vapor, se oye muy bien el sonido de la campanita, con lo cual queda demostrado que se propaga el sonido en los gases y en los vapores del mismo modo que en el aire.

De igual manera se trasmite el sonido en los líquidos. En efecto, cuando dos cuerpos se chocan debajo del agua, se oye perfectamente el choque; y los buzos que bajan hasta el fondo de las aguas entienden perfectamente todo lo que se les dice desde la superficie.

En cuanto á los sólidos, es tal su conductibilidad, que basta un ruido sumamente ligero, como el del roce de las barbas de una plu-

ma, producido en la estremidad de una alfagía, para que se oiga en la otra. Tan perfectamente conduce el suelo el sonido, que de noche, con solo aplicar el oido sobre la tierra, pueden percibirse, á grandes distancias, los pasos de caballerías ó cualquiera otro ruido.

199. **Modo de propagacion del sonido en el aire.** — Con objeto de simplificar la teoría de la propagacion del sonido, consideraremos primero el caso en que se propaga por un tubo cilíndrico indefinido. Sea, pues, un tubo MN (fig. 133) lleno de aire á una presion y temperatura constantes, y con un piston P que oscila con gran velocidad de *a* á A, y recíprocamente. Este piston, al pasar de *a* á A, comprime al aire que contiene el tubo, y por efecto de la gran compresibilidad de este fluido, no se verifica la condensacion en toda la longitud del tubo, sino simplemente en cierta parte AH, que se llama la *onda condensada*.

Pero no todas las porciones de esta onda ofrecen igual condensacion, ni tampoco es la misma su velocidad; porque el piston, en su movimiento de vaiven, se halla animado por velocidades variables. La velocidad, nula primeramente en *a*, crece de un modo progresivo hasta la parte media de la carrera, para decrecer luego hasta A, en

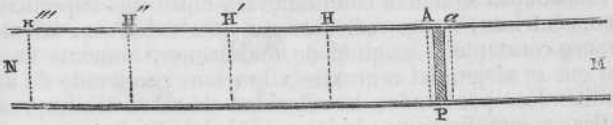


Fig. 133.

donde vuelve á ser nula. Resultan, pues, de aquí, en la onda AH, densidades y velocidades del aire que varían á la par que la velocidad del piston. En A, donde se halla este en reposo, es nula la velocidad del aire, por lo que ha recobrado este su densidad primitiva. En H, que es el punto en que finaliza la onda, la velocidad y la densidad son las mismas que en A; pero en los puntos intermedios crecen estas cantidades desde A hasta la seccion media de la onda, decreciendo en seguida hasta H.

Si suponemos dividido el tubo MN en longitudes iguales á AH, y subdividida cada una de estas en secciones paralelas al piston, se demuestra, por medio del cálculo, que en el momento en que la primera seccion de la onda AH queda en reposo, principia á participar del movimiento la primera seccion de la parte HH'; luego, cuando la segunda seccion de la onda AH pasa al estado de reposo, se comunica el movimiento á la segunda de HH', y así sucesivamente de seccion en seccion en las longitudes H'H'', H''H'''.... La onda condensada avanza, pues, en el tubo, pasando sucesivamente cada una de sus partes por los mismos grados de velocidad y de condensacion.

Al retroceder el piston en la direccion A*a*, se forma detrás de él un vacío, en el cual se enrarece la capa de aire en contacto con la cara posterior del piston. Enrareciéndose luego la capa siguiente, de-

vuelve á la primera á su estado primitivo de condensacion, y así sucesivamente de capa en capa, de suerte que, cuando regresa á *a* el piston, se produce una *onda dilatada* [1] de igual longitud que la condensada, á la cual sigue inmediatamente en el tubo cilíndrico, donde se propagan juntas, por poseer las secciones correspondientes de ambas ondas velocidades iguales y contrarias.

El conjunto de la onda condensada y de la enrarecida forma una *ondulacion*, es decir, que una ondulacion comprende la parte de la columna de aire modificada durante una ida y una vuelta del piston. Por *longitud de la ondulacion* se entiende el espacio que recorre el sonido mientras dura una vibracion completa del cuerpo que le produce. Esta longitud es tanto menor, cuanto mas rápidas son las vibraciones.

Fácilmente se pasa de la teoría de las ondas sonoras en un cilindro á la de su movimiento en un medio indefinido en todos sentidos. Basta para esto aplicar en todas direcciones, á cada molécula de los cuerpos vibrantes, cuanto acabamos de decir de un piston móvil en un tubo. Prodúcense, en efecto, alrededor de cada centro de vibracion, una série de ondas esféricas, alternativamente condensadas y enrarecidas. Como estas ondas se hallan comprendidas entre dos superficies esféricas concéntricas, cuyos radios crecen gradualmente, mientras que permanece constante la longitud de ondulacion, aumenta su masa á medida que se alejan del centro de vibracion, resultando de aquí que va debilitándose por grados la velocidad de vibracion impresa á las moléculas, y que disminuye la intensidad del sonido.

Estas ondas esféricas, alternativamente condensadas y enrarecidas, son las que, al propagarse en el espacio, trasmiten en él el sonido. Si se agitan á un tiempo muchos puntos, fórmase alrededor de cada uno de ellos un sistema de ondas semejante al anterior. Todas estas ondas se trasmiten las unas al través de las otras, sin modificar su longitud ni su velocidad. Unas veces, las ondas condensadas ó enrarecidas se superponen sobre ondas de la misma naturaleza, determinando así un efecto igual á su suma; y otras se encuentran y producen un efecto que equivale á su diferencia. Basta agitar en muchos puntos la superficie de una agua tranquila, para hacer sensible á la vista la *coexistencia de las ondas*.

200. **Causas que hacen variar la intensidad del sonido.** — Muchas causas modifican la fuerza ó la *intensidad* del sonido, á saber: la distancia del cuerpo sonoro, la amplitud de las vibraciones, la densidad del aire en el sitio en que se produce el sonido, la direccion de las corrientes de aire, y por último, la inmediacion ó proximidad de otros cuerpos sonoros.

1.° *La intensidad del sonido se halla en razon inversa del cuadrado de la distancia del cuerpo sonoro al órgano auditivo.* Esta ley, á que nos conduce el cálculo, se puede demostrar tambien esperimentalmente.

En efecto, concibamos muchos sonidos exactamente de igual inten-

---

[1] Ó mejor dicho, *enrarecida*. *(N. de J. P.)*

sidad, por ejemplo, campanitas idénticas, heridas por macitos de igual peso, y cayendo de alturas iguales. Si se colocan cuatro de estas campanitas á una distancia de 20 metros del oido, y una sola á la distancia de 10 metros, se observa que esta última, herida ella sola, produce un sonido de igual intensidad que las cuatro primeras, heridas simultáneamente; lo cual hace ver que para una distancia doble, la intensidad es cuatro veces menor.

2.° *La intensidad del sonido aumenta con la amplitud de las vibraciones del cuerpo sonoro.* La dependencia que se nota entre la intensidad del sonido y la amplitud de las vibraciones, se evidencia fácilmente por medio de las cuerdas vibrantes, pues si son estas un poco largas, se hacen sensibles á la simple vista las oscilaciones, notándose que, cuando decrece su amplitud, se debilita el sonido.

3.° *La intensidad del sonido depende de la densidad del aire en el sitio en que se produce.* Colóquese debajo del recipiente de la máquina neumática un aparato de relojería, y se observará que decrece la intensidad del sonido á medida que se enrarece el aire.

En el hidrógeno, que viene á ser unas 14 veces menos denso que el aire, son mucho menos intensos los sonidos, por mas que permanezca invariable la presion. Lo contrario sucede en el ácido carbónico, que por ser su peso específico 1,52, da mas intensidad á los sonidos. En las altas montañas, que tienen un aire muy enrarecido, es necesario hablar muy alto para hacerse oir, y además puede notarse que son mas débiles las esplosiones de las armas de fuego.

4.° *La agitacion del aire y la direccion de los vientos modifican la intensidad del sonido.* Está probado que, en tiempo de calma, se propaga siempre mejor el sonido, que cuando reina algun viento, y en este último caso, es mas intenso aquel, en igualdad de distancia, en la direccion del viento que en el sentido opuesto.

5.° Por último, *la proximidad de un cuerpo sonoro refuerza el sonido.* Una cuerda de instrumento, tensa al aire libre, da un sonido muy débil cuando se la hace vibrar lejos de todo cuerpo sonoro; pero si se la coloca encima de una caja que lo sea, como puede verse en una guitarra, en un violin ó en un contrabajo, produce un sonido lleno é intenso, debido á que la caja y el aire que contiene vibran al unísono con la cuerda. Ahora se comprenderá ó se reconocerá el orígen del uso de las cajas sonoras en los instrumentos de cuerda.

* 201. **Aparato para reforzar el sonido.**—Para demostrar la influencia de las cajas llenas de aire en el refuerzo del sonido, construyó Savart un aparato (fig. 134), que consiste en una vasija hemisférica A de bronce, que se hace vibrar por medio de un arco, junto al cual hay un cilindro hueco B de carton, abierto en su estremidad anterior y cerrado por la posterior. A beneficio de un mango, puede tomar este cilindro todas las posiciones que se quieran, pues además de poder girar sobre su montante, insiste este sobre la pieza C, de suerte que es fácil alejar el cilindro B de la vasija A. Dispuesto el aparato conforme se ve en el grabado, los sonidos que produce cuando se le hace vibrar adquieren una fuerza y una claridad tal, que, solo

oyéndolos, se comprende; pero pierden casi toda su intensidad si se da una vuelta al cilindro, debilitándose gradualmente cuando este va separándose poco á poco, lo cual demuestra que el refuerzo del sonido depende de las vibraciones del aire contenido en el cilindro. En este aparato, el cilindro B debe tener una profundidad determinada, á

Fig. 134.

fin de que el aire que contiene vibre al unísono con la vasija de bronce, pues de lo contrario vibraria solo esta.

Refiere Vitruvio que, antiguamente, se colocaban en los teatros vasijas resonantes que reforzasen la voz de los actores.

202. **Influencia de los tubos en la intensidad del sonido.**— Hemos dicho que la intensidad del sonido está en razon inversa del cuadrado de la distancia, pero no es aplicable esta ley á los sonidos trasmitidos por tubos, sobre todo si son cilíndricos y rectos. Las ondas sonoras no se propagan ya entonces bajo la forma de esferas concéntricas crecientes, y por lo mismo se puede trasmitir el sonido á una distancia considerable sin alteracion muy sensible. M. Biot demostró que, en un tubo de conduccion de las aguas de Paris, que contaba 951 metros de longitud, perdia tan poco de su intensidad la voz, que de un estremo á otro del tubo se podia seguir una conversacion en voz baja. Con todo, la debilitacion del sonido se hace sensible en los tubos de gran diámetro ó cuyas paredes presentan asperezas. Tal es lo que se observa en los subterráneos y en las galerías muy largas.

Esta propiedad de los tubos fué utilizada primero en Inglaterra, colocando en las fondas y en los grandes establecimientos *speaking tube* (tubos parlantes) para la trasmision de las órdenes. Consisten en unos tubos de goma elástica de pequeño diámetro, que pasan de una á otra pieza al través de las paredes. Hablando con voz poco alta en un estremo, se oye todo muy distintamente en el otro.

En vista de los esperimentos ya citados de M. Biot, es evidente que por medio de tubos acústicos se podria establecer una correspondencia de viva voz de una á otra ciudad. Como el sonido recorre por término medio 337 metros por segundo, en cuatro minutos recorreria una distancia de 20 leguas de á 4,000 metros.

203. **Velocidad del sonido en los gases.** — Siendo sucesiva la propagacion de las ondas sonoras, debe tardar un intervalo de tiempo mas ó menos largo en trasmitirse el sonido de un punto á otro; y así lo demuestran efectivamente muchísimos fenómenos. Por ejemplo, el trueno no se oye hasta pasados algunos momentos despues de visto el relámpago, por mas que tanto este como aquel se produzcan simultáneamente en la nube.

Muchas son las tentativas que se han hecho para determinar la velocidad del sonido en el aire, es decir, el espacio que recorre en un segundo. Hízose la última en el verano de 1822, de noche, por los indivíduos de la Oficina ó del departamento de longitudes. Eligiéronse para estaciones dos alturas, situadas en Villejuif la una, y en Montlhéry la otra, cerca de Paris. En cada estacion se disparaba un cañonazo de 10 en 10 minutos. Los observadores de Villejuif oyeron muy distintamente los doce que se tiraron en Montlhéry, pero los de esta estacion solo oyeron siete de los doce disparados en aquella, por serles contraria la direccion del viento.

En cada estacion anotaban los observadores el tiempo, marcado por cronómetros, que trascurria entre la aparicion de la luz en el momento del estampido y la percepcion de este. Este tiempo podia tomarse muy bien como si fuera el empleado por el sonido en propagarse de una á otra estacion, porque el intervalo entre ambas solo era de $18612^{m},52$, y en la óptica verémos que, para recorrer esta distancia, tarda la luz un tiempo inapreciable. Encontróse así que el tiempo gastado en la trasmision era $54'',6$, y dividiendo por este número la distancia, resulta que la velocidad del sonido es de $340^{m},89$ por segundo á la temperatura de 16^{0}, que era la de la atmósfera durante el esperimento.

La velocidad del sonido en el aire decrece con la temperatura, pues á 10 grados solo corre 337, y á cero 333 metros; pero á una misma temperatura es independiente de la densidad del aire, y por lo tanto, de la presion. Siendo igual la temperatura, la velocidad es la misma para todos los sonidos, fuertes ó débiles, graves ó agudos. En efecto, Biot demostró, en los mencionados esperimentos sobre la conductibilidad de los tubos, que cuando se tocaba la flauta en la estremidad de un tubo de fundicion de 951 metros de longitud, conservaban su armonía los sonidos en la otra estremidad, lo cual indica que los diferentes sonidos se propagan con velocidades iguales.

Varía la velocidad del sonido, segun la naturaleza de los gases, aunque permanezca constante la temperatura. Haciendo resonar un mismo tubo de órgano con diferentes gases, obtuvo Dulong, por medio del cálculo, que, á la temperatura de cero, la velocidad del sonido, en los gases siguientes, es:

Acido carbónico.	116m
Oxígeno.	317
Aire.	333
Oxido de carbono.	337
Hidrógeno.	1269

* 204. **Fórmulas para calcular la velocidad del sonido en los gases.**— Para calcular la velocidad del sonido en los gases, á la temperatura de cero, Newton fué el primero que dió la fórmula

$$v=\sqrt{\frac{e}{d}},$$

en la cual v representa la velocidad del sonido, es decir, el espacio que recorre en un segundo, e la elasticidad del gas á cero, y d su densidad tambien á cero.

Se deduce de esta fórmula que la velocidad de propagacion del sonido, en los gases, *es directamente proporcional á la raiz cuadrada de la elasticidad del gas que se considera, é inversamente proporcional á la raiz cuadrada de su densidad.* Se observa al mismo tiempo que esta velocidad queda constante, cualquiera que sea la presion, porque aumentando la elasticidad, aumenta en la misma relacion la densidad, segun la ley de Mariotte.

Representando por g la intensidad de la gravedad, por a la altura de barómetro referida á cero, y por δ la densidad del mercurio tambien á cero, es evidente que, para un gas sometido á la presion atmosférica, la elasticidad e, creciendo como cada una de estas cantidades, se puede establecer $e=ga\delta$. La fórmula de Newton se convierte entonces, para la temperatura cero,

$$v=\sqrt{\frac{ga\delta}{d}};$$

pero aumentando la temperatura de un gas desde o á t grados, su densidad varía en razon inversa del volúmen; por consiguiente, si representamos por 1 el volúmen del gas á cero, su volúmen á t grados será $1+\alpha t$, α siendo el coeficiente de dilatacion del gas (CALÓRICO, cap. IV); y su densidad será $\frac{d}{1+\alpha t}$ á t grados. La fórmula de Newton, para una temperatura t, debe representarse por

$$v=\sqrt{\frac{ga\delta}{d}(1+\alpha t)}.$$

Los valores de v obtenidos por esta fórmula, han sido siempre menores que los obtenidos por la esperiencia. Laplace dió, como causa de esta diferencia, el calor que se desarrolla, por efecto de la presion, en las ondas condensadas. Poisson y M. Biot, apoyándose en las ideas de Laplace, han encontrado que la fórmula de Newton debia de ser representada bajo la forma

$$v=\sqrt{\frac{ga\delta}{d}(1+\alpha t)\frac{c}{c'}};$$

c representando el calórico especifico, bajo presion constante, del gas en que se propaga el sonido (CALÓRICO, cap. VIII), y c' su calórico especifico bajo el volúmen constante. Modificada así, esta fórmula da valores de v acordes con los de la esperiencia.

205. **Velocidad del sonido en los sólidos y los líquidos.**— La velocidad del sonido en los líquidos es mucho mayor que en el aire; pues los señores Colladon y Sturm encontraron en los esperimentos hechos en 1827 en el lago de Ginebra, que la velocidad del sonido en el agua vale 1435 metros, es decir, que es cuádruple de la que tiene en el aire.

Mucho mayor es aun en los sólidos. M. Biot encontró directamente, haciendo varios esperimentos con tubos de fundicion destinados para la conduccion de las aguas, que en la fundicion se propaga el sonido con una velocidad 10,5 mas considerable que en el aire. Chladni, Savart, M. Masson y M. Wertheim la determinaron teóricamente en los

demás sólidos, apoyándose, ya en el número de vibraciones longitudinales ó trasversales de los cuerpos, ya en su coeficiente de elasticidad. Valiéndose de las vibraciones longitudinales encontró Chladni que en las maderas es la velocidad del sonido de 10 á 16 veces mayor que en el aire. En los metales es mas variable esta velocidad, y de 4 á 16 veces superior á la que tiene en el aire.

206. Reflexion del sonido. — Mientras nada se opone al desenvolvimiento de las ondas sonoras, se propagan estas bajo la forma de esferas concéntricas; pero luego que tropiezan con algun obstáculo, siguen la ley general de los cuerpos elásticos, es decir, que retroceden sobre sí mismas, formando nuevas ondas concéntricas, que emanan, al parecer, de un segundo centro situado al otro lado del obstáculo : esta accion se espresa diciendo que las ondas se *reflejan*.

La fig. 135 representa una série de ondas incidentes reflejadas sobre un obstáculo PQ. Si se considera, por ejemplo, la onda incidente

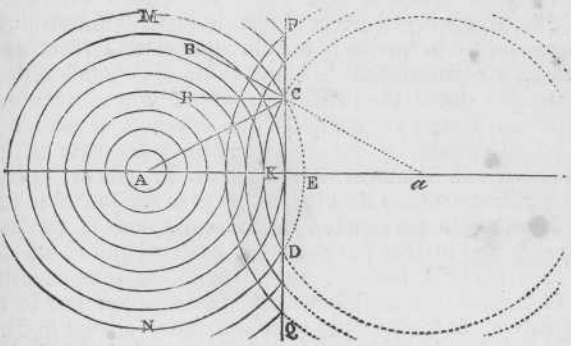


Fig. 135.

MCDN, emitida del centro A, la reflejada correspondiente se halla indicada por el arco CKD, que tiene en *a* el *centro virtual*.

Si se junta un punto cualquiera C del cuerpo reflector con el centro sonoro A, y se tira la perpendicular CH á la superficie de dicho cuerpo, el ángulo ACH es el *ángulo de incidencia*, y el BCH el *ángulo de reflexion*.

Ahora bien, la reflexion del sonido se halla sujeta á las dos leyes siguientes, que son las mismas para el calor y la luz.

1.ª *El ángulo de reflexion es igual al de incidencia.*

2.ª *El rayo sonoro de reflexion y el de incidencia se hallan situados en un mismo plano perpendicular á la superficie reflejante.*

En virtud de estas leyes, la onda que en la figura se propaga en el sentido AC, toma despues de la reflexion el camino CB; de suerte que un observador situado en B oye, además del sonido que parte del punto A, otro que le parece emitido en la direccion CB.

207. Refraccion del sonido. — Verémos mas adelante que se entiende por *refraccion* un cambio de direccion que esperimentan la luz

y el calórico al pasar de un medio á otro. Recientemente ha demostrado M. Sondhauss, en Alemania, que las ondas sonoras se refractan lo mismo que el calor y la luz.

Al efecto, construyó lentes gaseosas llenando de ácido carbónico varias cubiertas membranosas de forma esférica ó lenticular. Con cubiertas de papel ó de intestino no es sensible la refraccion del sonido, pero con las de *colodion* sale perfectamente bien el esperimento.

M. Sondhauss corta en un globo muy grande de colodion dos segmentos iguales, y los fija en las dos caras de un anillo de palastro de 31 centímetros de diámetro, de manera que formen una lente biconvexa, hueca y de unos 12 centímetros de espesor en el centro. Llenando luego de ácido carbónico la lente así formada, pone un reloj ordinario en la direccion del eje, y busca en seguida en el otro lado de la lente los puntos en que es mas intenso el sonido. Obsérvase así que es apenas perceptible fuera del eje, pero que es muy distinto en este á una regular distancia de la lente. Las ondas sonoras, pues, al salir de la lente convergen hácia el eje, lo cual demuestra que variaron de direccion, ó lo que es lo mismo, que estan refractadas.

208. **Ecos y resonancias.** — Llámase *eco* la repeticion de un sonido en el aire por efecto de su reflexion sobre algun obstáculo.

Para que haya eco, es menester que se refleje el sonido en la direccion del observador, y que la superficie reflectante se encuentre por lo menos á una distancia de 17 metros. En efecto, apenas es posible distinguir un sonido de otro, si no pasa por lo menos un décimo de segundo entre la percepcion de ambos. Como el sonido recorre sensiblemente 340 metros por segundo, es claro que en un décimo de segundo recorrerá 34 metros; por lo tanto, si se encuentra el obstáculo á 17 metros, el sonido tendrá que recorrer por lo menos 34 para ir y volver. El tiempo que trascurre entre el sonido directo y el reflejado, valdrá, pues, á lo menos un décimo de segundo; de suerte que ya no se confundirán los sonidos, oyéndose distintamente el reflejado. Vése, por lo que precede, que si se habla en alta voz delante de un reflector que diste 17 metros, no puede oirse mas que la última sílaba reflejada, por lo que el eco se llama *monosilábico*; pero si distase aquel dos, tres veces 17 metros, seria el eco *bisilábico*, *trisilábico*, y así sucesivamente.

Cuando la distancia de la superficie reflectora no llega á 17 metros, se confunden los sonidos directo y reflejado; pero si bien no es posible oirlos separadamente, sin embargo, en compensacion se encuentra reforzado el sonido único, circunstancia que se espresa diciendo que hay *resonancia*. Tal es lo que se observa en las habitaciones espaciosas. Las salas desamuebladas resuenan mucho; mas si, por el contrario, hay tapices y cortinajes, que reflejan mal el sonido, hacen á aquellas *sordas*.

Denomínanse *ecos múltiples* los que repiten muchas veces el mismo sonido, que es lo que sucede cuando dos obstáculos, situados el uno enfrente del otro, dos paredes paralelas, por ejemplo, se envian sucesivamente el sonido. Ecos hay que repiten así hasta 20 ó 30 veces el

mismo sonido, y en ninguna obra de física deja de citarse particularmente el del castillo de Simonetta, en Italia.

Siendo las leyes de la reflexion del sonido las mismas que las de la luz y del calor, dan orígen las superficies curvas á *focos acústicos* análogos á los luminosos y caloríficos que se producen delante de los reflectores cóncavos (336). Por ejemplo, si se habla debajo del arco de un puente de piedra, con la cara vuelta hácia uno de los pilares, puede reproducirse la voz junto al otro pilar, bastante intensa para mantener así una conversacion en voz baja, sin que puedan oirla las personas que se hallan en el espacio intermedio.

En el Conservatorio de artes y oficios de Paris hay en el piso bajo una sala cuadrada, de bóveda elíptica, que ofrece este fenómeno de un modo notable, al situarse dos personas en los dos focos de la elipse.

Por lo demás, obsérvese que, no solo se refleja el sonido en la superficie de los cuerpos sólidos, como las paredes de un edificio, las maderas y las rocas, sino tambien en las nubes, en las capas de aire de diferente densidad que la que acaba de atravesar, y por fin en las mismas vejiguillas ó vesículas de las nieblas. Nótase, en efecto, que si el aire está cargado de niebla, sufren los sonidos una multitud de reflexiones parciales, apagándose con rapidez. De noche, y con un aire puro, tranquilo y de densidad uniforme, es cuando pueden oirse á mayor distancia los sonidos.

209. **Bocinas, trompetilla acústica.**—La *bocina* y la *trompetilla acústica* son dos instrumentos fundados á la vez en la reflexion del sonido y en la conductibilidad de los tubos cilíndricos (202).

La bocina, conforme su nombre lo indica, sirve para trasmitir la voz á grandes distancias. Consiste en un tubo de hojadelata ó de laton (fig. 136), ligeramente cónico, y muy ancho en una de sus aberturas,

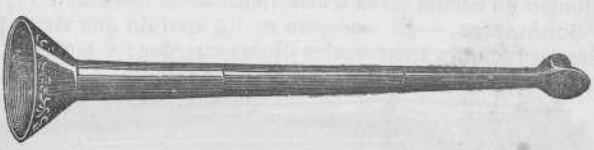


Fig. 136.

que se conoce con el nombre de *pabellon*. Este instrumento, que se aplica á la boca por la otra estremidad, trasmite la voz tanto mas lejos, cuanto mayores son sus dimensiones. Esplícase su efecto por las sucesivas reflexiones de las ondas en las paredes del tubo, reflexiones en virtud de las cuales tienden las ondas á propagarse paralelas al eje del instrumento. Se ha objetado á esta teoría, que los sonidos emitidos al traves de la bocina, no son solo reforzados en la direccion de su eje, sino tambien en todas direcciones, y que todavía el pabellon seria inútil al paralelismo de los rayos sonoros, mientras que, por el contrario, él ejerce una influencia notable sobre la intensidad de los sonidos trasmitidos. Algunos físicos atribuyen los efectos de la bocina

á un refuerzo producido por la columna de aire que está en el tubo, la cual vibra al unísono á medida que se habla en su estremidad. En cuanto al efecto del pabellon, no se ha dado hasta ahora una esplicacion satisfactoria.

La trompetilla acústica sirve para las personas que tienen el *oido duro*. Es un tubo cónico de metal, con una estremidad en forma de pabellon para recibir el sonido, mientras que la otra se introduce en el oido. El pabellon sirve aquí de embocadura, es decir, que recibe los sonidos que salen de la boca de la persona que habla. Trasmítense estos sonidos mediante una série de reflexiones en el interior de la trompetilla, de suerte que las ondas que hubiesen adquirido un gran desarrollo, se encuentran concentradas en el aparato auditivo, produciendo en él un efecto mucho mas sensible que siendo divergentes.

CAPITULO II.

VIBRACIONES DE LAS CUERDAS, NUMERO DE VIBRACIONES QUE CORRESPONDEN A UN SONIDO DADO.

210. Vibraciones de las cuerdas. — Dáse el nombre de *cuerdas*, en acústica, á los cuerpos filiformes elásticos por tension.

Distínguense en las cuerdas dos especies de vibraciones, *trasversales* las unas, ó en una direccion perpendicular á las cuerdas, y *longitudinales* las otras, ó en el sentido de la longitud. Se escitan las primeras con un arco, como en el violin, ó pulsando las cuerdas, como en el arpa y en la guitarra. En cuanto á las longitudinales, se originan frotando las cuerdas en el sentido de su longitud con un pedazo de tela espolvoreada con colófano.

Solo tratarémos de las vibraciones trasversales, que son las únicas que se toman en cuenta en la teoría física de la música.

211. Sonómetro. — El *sonómetro* es un aparato que sirve para estudiar las vibraciones trasversales de las cuerdas; y como á menudo

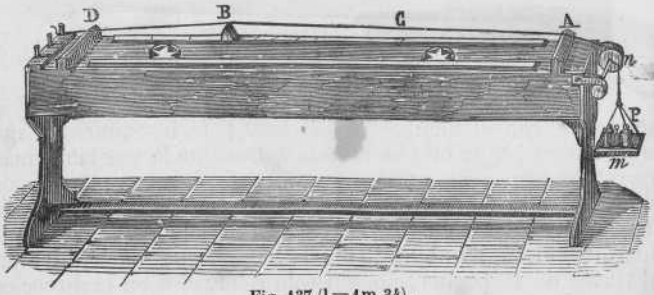


Fig. 137 (l = 1m,34).

solo lleva una de estas, recibe tambien por esto mismo el nombre de *monocordio*. Consta este aparato de una caja de madera delgada, que refuerza el sonido; de dos caballetes A y D (fig. 137), por las cuales

pasa una cuerda metálica, fija por un estremo y tensa por el otro, mediante diversas pesas P, que pueden aumentarse á voluntad. Un tercer caballete B sirve para variar la longitud de la parte de la cuerda que se quiere poner en vibracion.

212. **Leyes de las vibraciones trasversales de las cuerdas.**— Representando por l la *longitud* de una cuerda, es decir, la parte vibrante comprendida entre los dos caballetes A y B (fig. 137), por r al radio de su seccion, por d su densidad, por P el peso que la tiende, y por n el número de vibraciones en cada segundo, se encuentra, por medio del cálculo, $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}$; ya sabemos que π es la relacion de la circunferencia al diámetro.

Dedúcense de esta fórmula las cuatro leyes siguientes:

1.ª *Siendo constante la tension de una cuerda, el número de vibraciones, en un tiempo dado, está en razon inversa de la longitud.*

2.ª *En igualdad de condiciones, el número de vibraciones está en razon inversa del radio de la cuerda.*

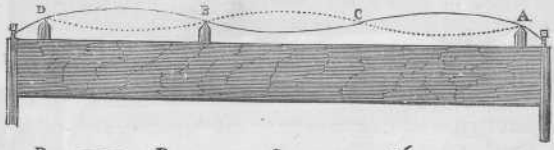
3.ª *El número de vibraciones de una misma cuerda es directamente proporcional á la raiz cuadrada del peso que la tiende.*

4.ª *En igualdad de circunstancias, el número de vibraciones de una cuerda es inversamente proporcional á la raiz cuadrada de su densidad.*

En música, tienen su aplicacion estas leyes en los instrumentos de cuerda, en los cuales se hace variar la longitud, el diámetro y la tension de las cuerdas hasta que den tal ó cual nota.

213. **Nodos y líneas nodales.** — Siempre que un cuerpo vibra, no solo lo verifica en su conjunto, sino que generalmente se divide

Fig. 138.



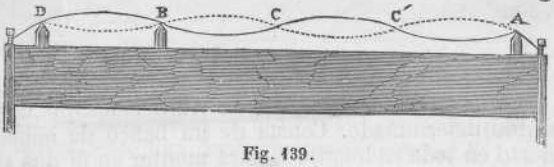


Fig. 139.

en cierto número de partes alicuotas, animada cada una de vibraciones que le son propias.

Entre estas diversas partes hay puntos ó líneas que vibran menos que las otras, y que podemos mirar como sensiblemente fijas. Estos puntos y estas líneas son las que se designan con los nombres de *nodos* y de *líneas nodales*. Las partes vibrantes comprendidas entre dos nodos ó dos líneas nodales se llaman *concameraciones*. La parte media de una concameracion, ó sea el punto en que las vibraciones miden su máximum de amplitud, es un *vientre*.

Las cuerdas vibrantes presentan curiosos ejemplos de nodos y vien-

tres, cuando no se hace vibrar mas que una parte alicuota de su longitud, es decir, un tercio, un cuarto, un quinto. Para esto se fija una cuerda por sus dos estremidades, haciendo correr ó resbalar por debajo un pequeño caballete que se sitúa sucesivamente en el tercio, en el cuarto ó en el quinto de la cuerda. Cuando se encuentra en el tercio el caballete (fig. 138), se hace vibrar la porcion BD con un arco, subdividiéndose entonces la AB en dos partes AC y CB, que vibran por separado, permaneciendo fijo el punto C. Compruébase esto colocando varios papelitos doblados, uno en C, otro entre B y C, y otro entre C y A, pues el primero ni aun siquiera se mueve, mientras que los otros dos son arrojados á lo lejos. Hay, por lo tanto, un nodo en el primer punto, y vientres en los otros dos. Si B se coloca en el cuarto de la cuerda, se forman entre A y B dos nodos y tres vientres (fig. 139); y si en el quinto, se notan entre los mismos puntos tres nodos y cuatro vientres, y así sucesivamente.

Pronto verémos cómo se comprueban la presencia y la forma de las líneas nodales en las placas y en las membranas vibrantes.

* **214. Rueda dentada de Savart.** — La *rueda dentada de Savart*, así denominada del apellido de su inventor, es un aparato que sirve

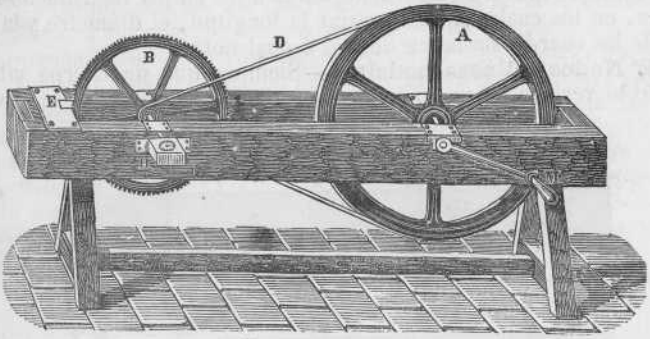


Fig. 140 (a = 1m,05).

para dar á conocer el número absoluto de vibraciones que corresponden á un sonido determinado. Consta de un banco de encina, bien sólido y abierto en toda su longitud, para montar en él dos ruedas A y B (fig. 140), de las cuales sirve la primera para imprimir una gran velocidad á la menor, y esta última, que es dentada, hacer vibrar un naipe E fijo en el banco. Este naipe, chocado por cada diente, dá en cada revolucion de la rueda menor, un número de vibraciones igual al de dientes. Por último, en un pequeño cuadrante H hay un contador que recibe un movimiento del eje de la rueda dentada, y que indica el número de vueltas, y por lo mismo el de vibraciones, en un tiempo dado.

Si se comunica primero á la rueda dentada un movimiento pausado, se oyen distintamente los choques sucesivos de los dientes contra el

naipe; pero si se aumenta gradualmente la velocidad, se obtiene un sonido contínuo cada vez mas y mas subido. Luego que se ha logrado reproducir el sonido cuyo número de vibraciones desea conocerse, se sostiene la misma velocidad durante cierto número de segundos; y leyendo en seguida en el contador las vueltas de la rueda dentada, ya no hay mas que multiplicar este número por el de dientes para obtener el total de vibraciones. Divídase, por último, este producto por los segundos correspondientes, y el cociente indica las vibraciones por segundo.

215. Sirena. — La *sirena* es un aparatito que sirve, como la rueda de Savart, para medir con exactitud las vibraciones de un cuerpo sonoro en un tiempo dado. M. Cagniard-Latour, que es su inventor, le

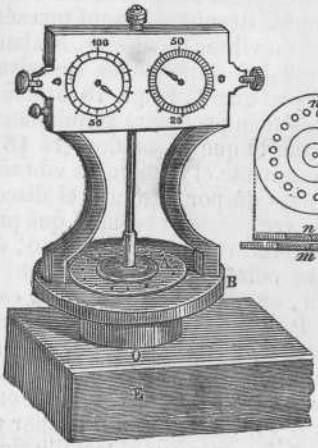


Fig. 141 (a=17).

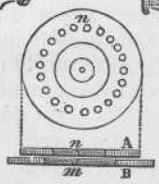


Fig. 142.

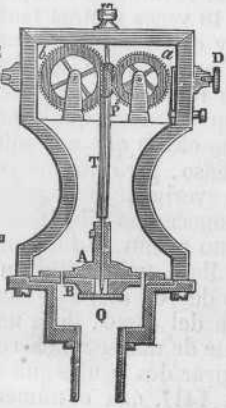


Fig. 143.

dió el nombre de sirena, porque puede producir sonidos debajo del agua.

La sirena es enteramente de cobre. La figura 141 la representa montada en una caja acústica (fig. 144), que tiene por objeto hacer pasar al instrumento una corriente contínua de aire. Las figuras 142 y 143 revelan los detalles interiores de la sirena. Consiste la parte interna en una caja cilíndrica O, recubierta por una platina fija B, en la cual se apoya un vástago vertical T con su disco A que gira libremente con él. Vénse en la platina B varios orificios circulares equidistantes, y en el disco A otros tantos de igual magnitud, y á la misma distancia del centro que los de aquella. Estos orificios no son perpendiculares á los planos de la platina y del disco, sino que todos ofrecen cierta inclinacion constante con respecto á aquella y en sentido contrario relativamente á este, de suerte que, cuando están los unos enfrente de los otros, se hallan dispuestos como se vé en *mn* (fig. 142). Resulta de esta disposicion, que cuando pasa del fuelle á la caja ci-

líndrica y al orificio *m* una corriente de aire, hiere de un modo oblícuo las paredes del orificio *n*, é imprime al disco A un movimiento de rotacion en el sentido *n*A.

A fin de simplificar la esplicacion del juego de la sirena, supongamos primero que, teniendo el disco móvil A 18 orificios, solo haya uno en la platina B, y consideremos el caso en que coincide con uno de los superiores. Como el aire va á herir oblícuamente la pared de este último, principia á girar el disco móvil, cerrando el orificio del platillo inferior la parte llena que se encuentra entre dos orificios, consecutivos. Pero como continúa girando el disco en virtud de su velocidad adquirida, al encontrarse de nuevo enfrente dos orificios resulta un nuevo impulso, y así sucesivamente. De esta suerte, durante una revolucion completa del disco, se halla el orificio inferior abierto 18 veces y otras tantas cerrado. Resultan de aquí una série de salidas y de suspensiones que ponen en vibracion al aire, acabando al fin por producir un sonido, cuando las impulsiones sucesivas son bastante rápidas. Si suponemos ahora que B tenga 18 orificios, lo mismo que el disco que gira, cada orificio producirá simultáneamente el mismo efecto que uno solo; de suerte que el sonido será 18 veces mas intenso, pero sin que por esto aumente el número de vibraciones.

Falta averiguar cuántas revoluciones dá por segundo el disco A, á fin de conocer las vibraciones que corresponden al sonido que produce el aparato mientras dura su movimiento rotatorio. Al efecto, el vástago T lleva un tornillo sin fin que comunica el movimiento á una rueda *a* de 100 dientes. Esta rueda, que avanza un diente á cada revolucion del disco, lleva un tope P, el cual á cada vuelta hace pasar un diente de una segunda rueda *b* (fig. 143). Los ejes de estas ruedas hacen girar dos agujas que marcan, en sus correspondientes cuadrantes (fig. 141), una el número de vueltas del disco A, y la otra los centenares de vueltas. Dos botones D y C sirven para engranar ó para desengranar, á voluntad, la pequeña rueda *a* con el tornillo sin fin.

Como aumenta de tono el sonido á medida que crece la velocidad del disco A, basta forzar el viento para conseguir del aparato el sonido que se desea. Mantiénese entonces por cierto tiempo la misma corriente de aire, dos minutos, por ejemplo, y en seguida se lee en los cuadrantes las vueltas que dió el disco. Multiplicando este número por 18 y dividiendo el producto por los 120 segundos, indica el cociente las vibraciones por segundo.

Siendo igual la velocidad de la sirena, el mismo sonido produce debajo del agua que en el aire; sucediendo tambien lo mismo en todos los gases, lo cual hace ver que un sonido determinado solo depende del número de vibraciones, sin que en nada influya la naturaleza del cuerpo sonoro.

216. **Fuelles acústicos.** — Los *fuelles acústicos* sirven, en acústica, para poner en accion á los instrumentos de viento, tales como las sirenas y los órganos. Entre los cuatro pies de una mesa de madera se vé un fuelle S (fig. 144), puesto en movimiento por el pedal P. Un depósito D, de piel flexible, sirve para almacenar el aire que le envia

el fuelle. Si se comprime este depósito por medio de pesas colocadas encima ó de un vástago T que mueva la mano, es repelido el aire por un conducto E á una caja que hay fija sobre la mesa, caja que lleva

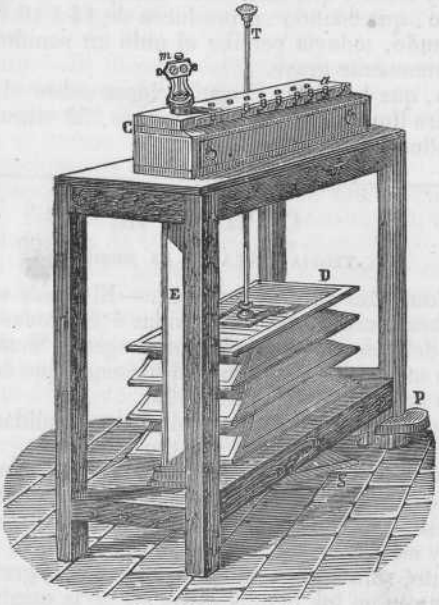


Fig. 144 (a = 1m,30).

varios orificios cerrados por valvulitas de cuero que se abren á voluntad, apoyándose en topes situados delante de aquella. En estos agujeros se fijan la sirena, ó bien tubos con lengüeta.

217. Límite de los sonidos perceptibles. — Antes que publicara Savart sus trabajos, admitian los físicos que el oido dejaba de percibir el sonido cuando el número de vibraciones sencillas por segundo era inferior á 32 en los sonidos graves, y superior á 18000 en los agudos. Pero aquel eminente físico hizo ver que tales límites estaban demasiado circunscritos, y que la facultad de percibir mas ó menos fácilmente sonidos muy graves ó muy agudos depende mas bien de la intensidad que del tono; de suerte que, cuando no se oyen los sonidos estremos, debemos atribuirlo á que no tienen la suficiente intensidad para impresionar el órgano del oido.

Aumentando el diámetro de su rueda dentada (214), y por consiguiente, la amplitud y la intensidad de las vibraciones, dió mas ensanche Savart al límite de los sonidos agudos hasta 48000 vibraciones sencillas por segundo.

Para los sonidos graves, sustituyó, en vez de una rueda dentada, una barra de hierro de 65 centímetros de longitud, que gira entre dos

láminas delgadas de madera, distantes de la barra dos milímetros solamente. A cada paso se produce un sonido seco, debido al desalojamiento del aire. Cuando se acelera el movimiento, se hace contínuo el sonido, muy lleno y que ensordece. Cercioróse Savart, por medio de este aparato, que cuando se producen de 14 á 16 vibraciones sencillas por segundo, todavía percibe el oido un sonido bien determinado, pero sumamente grave.

M. Desprets, que ha hecho investigaciones sobre el mismo objeto, encuentra, para límite de los sonidos graves, 32 vibraciones simples, y para los agudos, 73700.

CAPITULO III.

TEORIA FISICA DE LA MUSICA.

218. Cualidad del sonido musical. —El *sonido musical* es el resultado de vibraciones contínuas, rápidas é isócronas, que producen en el órgano del oido una sensacion prolongada. Siempre se le puede comparar con otros sonidos y tomar el unísono, que es cabalmente lo que no puede hacerse con el ruido (195).

El oido distingue en el sonido musical tres cualidades particulares, como son : el tono, la intensidad y el timbre.

El *tono* es la impresion que resulta, para el órgano del oido, del mayor ó menor número de vibraciones en un tiempo dado.

Denomínanse *sonidos graves* los producidos por un corto número de vibraciones, y *sonidos agudos* los que son el resultado de muchísimas. De consiguiente, solo serán sonidos absolutamente graves ó agudos los que se encuentren en los puntos estremos de la escala de los sonidos perceptibles, pues todos los intermedios no son mas que graves ó agudos de un modo relativo. Con todo, se dice que un sonido es grave ó agudo, así como se espresa que es alta ó baja una temperatura, comparando el sonido con los que de ordinario se oyen.

La relacion de gravedad ó de agudeza de los sonidos se llama *tono*. Es decir, que esta palabra espresa el grado de altura de un sonido, y bajo el punto de vista músico, indica el grado de altura de la gama que se está ejecutando.

Se ha visto ya (200), que la *intensidad* ó la fuerza del sonido depende de la amplitud de las oscilaciones, pero no de su número. Un mismo sonido puede conservar igual grado de gravedad ó de agudeza, y adquirir mayor ó menor intensidad cuando se varía la amplitud de las oscilaciones que le producen. Tal es lo que sucede en una cuerda tensa, segun se la separe mas ó menos de su posicion de equilibrio.

El *timbre* es lo que hace que dos distintos instrumentos produzcan un sonido de igual tono é intensidad, pudiéndose distinguir perfectamente el uno del otro. El sonido del oboe, por ejemplo, es muy distinto del de la flauta, y el de la trompa de el del fagot. De igual manera la voz humana presenta un timbre muy diferente segun los indivíduos, la edad ó el sexo.

No está bien conocida la causa del timbre. Esta cualidad depende, al parecer, no solo de la materia de los instrumentos, sino tambien de su forma y de su modo de vibrar. Se cambia por completo el sonido de una trompeta de laton templado, si se la recuece en un horno. Obsérvase tambien que la trompeta recta tiene un sonido mas chillon que la curva.

219. **Unísono.** — Se dice que están *al unísono* dos sonidos producidos por un mismo número de vibraciones por segundo, en cuyo caso son igualmente graves ó agudos. Por ejemplo, la rueda de Savart y la sirena están al unísono cuando sus contadores indican un mismo número de vibraciones en el mismo tiempo.

Siempre se puede tomar el unísono de un sonido musical, pero no el de un ruido. Poniendo la sirena al unísono con un cuerpo sonoro, se constituye el número de vibraciones de este.

220. **Escala musical, gama.** — Dáse el nombre de escala musical á una série de sonidos separados entre sí por intervalos, que tienen, al parecer, su orígen en la naturaleza de nuestra organizacion.

Como en esta série se reproducen los sonidos en el mismo órden, por períodos de siete, cada período se designa con el nombre de *gama*, y los siete sonidos ó *notas* de cada gama por los nombres *do, re, mi, fa, sol, la, si.*

Se pueden representar por medio de números las notas de la gama. Al efecto, se toma para el *do* el *sonido fundamental* del sonómetro (211), es decir, el que produce la cuerda cuando vibra en toda su longitud. Haciendo variar en seguida la posicion del caballete móvil B, (fig. 137), un observador de oido ejercitado encuentra fácilmente la longitud que hay que dar sucesivamente á la parte vibrante AB, para obtener las otras seis notas. Representando por 1 la longitud de la cuerda que produce el *do*, se encuentra que las longitudes de las cuerdas que dan las demás notas, están representadas por las fracciones siguientes:

(A)	Notas.	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*
	Longitudes relativas de las cuerdas.	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$

La cuerda que da el *re* no es, pues, mas que los $\frac{8}{9}$ de la que da el *do*; la del *mi* los $\frac{4}{5}$ de la misma, y así sucesivamente. Tales son los números que sirven para representar las notas de la gama en vista de la longitud relativa de las cuerdas que las producen.

Si se continúa moviendo el caballete sobre el sonómetro, se ve que el octavo sonido es producido por la mitad de la cuerda que formaba el sonido fundamental. La série de las mismas relaciones que las indicadas se reproduce á partir de este sonido, obteniéndose así una nueva gama enteramente comparable con la primera, siendo la longitud de cuerda correspondiente á cada nota de esta segunda gama la mitad de la cuerda que corresponde á la nota del mismo nombre en la gama anterior, y así sucesivamente para una tercera y una cuarta gama.

Para tener el número relativo de vibraciones correspondientes á

cada nota, en un tiempo dado, basta invertir las fracciones del cuadro anterior; porque, en virtud de la primera ley de las vibraciones de las cuerdas (212), el número de vibraciones de una cuerda está en razon inversa de su longitud. Representando, pues, por 1 el número de vibraciones que da el sonido fundamental *do*, se forma el cuadro siguiente :

(B)	Notas.	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*
	Números relativos de vibraciones.	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$

La gama, cuyas relaciones de vibraciones acabamos de indicar, se llama *escala diatónica*; así como se llama *escala cromática* la que procede por semitonos y se compone de 13 sonidos.

221. **Número absoluto de vibraciones para cada nota.** — La sirena da un medio sencillo de deducir del cuadro anterior el número real de vibraciones que produce cada una de las notas de la escala musical. En efecto, si se la pone al unísono del *do* fundamental, precisa su número exacto de vibraciones. No hay mas que multiplicar, pues, este número por las relaciones $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$ del cuadro anterior, para tener el número de vibraciones de las demas notas.

Como el sonido fundamental tomado por *do* varía con la longitud de la cuerda del sonómetro, con su tension y con su naturaleza, lo mismo le sucede al número de vibraciones correspondiente al *do*. Los números reales de vibraciones, calculados, segun acabamos de decir, podrian representarse, pues, por medio de una infinidad de cifras, á las cuales corresponderian otras tantas gamas diferentes.

Entre todas las gamas que así pueden representarse, se ha elegido la del *do* correspondiente al sonido mas grave del contrabajo, conviniéndose, en física, en distinguir las notas de esta gama dándoles e índice $_1$, mientras que se da á las notas de las gamas mas altas los índices $_2$, $_3$,... y á las de los mas graves, los índices $_{-1}$, $_{-2}$,... es decir, que se escribe do_1, re_1, do_{-1}, re_{-1}...

Sabido por esperiencia que el número de vibraciones correspondiente al sonido mas grave del contrabajo es 128, basta multiplicar este número por las relaciones inscritas en el cuadro B (219), para obtener el número absoluto de vibraciones de cada nota, resultando así el siguiente cuadro :

(C)	Notas.	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*
	Números absolutos de vibraciones sencillas.	128	144	160	170	192	214	240

Los números absolutos de vibraciones, para las gamas superiores, se obtiene multiplicando sucesivamente por 2, por 4, por 8... los números del cuadro C; y para las inferiores, se dividen estos mismos números por 2, por 4... Por ejemplo, el número de vibraciones simples de sol_3 es igual á 192×4, ó 768 por segundo.

222. **Longitud de las ondas.** — Cuando se conoce el número de vibraciones simples que produce un cuerpo sonoro por segundo, es fácil deducir de él la longitud de las ondas. Sabido es, en efecto, que el so-

nido recorre 337 metros, ó unos 1024 piés [1] por segundo. Luego si un cuerpo no diera mas que una vibracion simple por segundo, valdria la longitud de la onda 1024 piés; si diera dos, valdria la mitad de 1024, y así sucesivamente. Se ha visto ya que al do_1 corresponden 128 vibraciones sencillas por segundo, por manera que la longitud de sus ondas es el cociente de 1024 piés por 128, es decir, 8 piés.

La tabla siguiente indica la longitud de una onda correspondiente á la primera nota de las gamas sucesivas.

	Long. de la onda en pies.	Número de vibraciones.
do_{-3}	64	16
do_{-2}	32	32
do_{-1}	16	64
do_1	8	128
do_2	4	256
do_3	2	512
do_4	1	1024

223. **Intervalos, sostenidos y bemoles.**—Denomínase *intervalo*, en música, la relacion de un sonido á otro, es decir, el número que indica cuánto un sonido es mas alto que otro. El intervalo de *do* á *re* se llama *segunda*; de *do* á *mi*, *tercera*; de *do* á *fa*, *cuarta;* de *do* á *sol*, *quinta;* de *do* á *la*, *sesta*; de *do* á *si*, *sétima*, y de *do* á *do*, *octava*. La tabla siguiente da los intervalos de las notas consecutivas, obtenidos dividiendo el número de vibraciones de una nota cualquiera por el de vibraciones de la nota inmediatamente inferior :

(D)	Notas.	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
	Números relativos de las vibraciones..	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
	Intervalos.	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	

Vése que los intervalos diferentes se reducen á tres, que son $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$ y $\frac{16}{15}$. El primero, que es el mas considerable, se llama *tono mayor*; el segundo, *tonor menor*, y el tercero, ó sea el mas pequeño, *semitono mayor*.

El intervalo entre el tono mayor y el menor es $\frac{80}{81}$. Es el intervalo mas pequeño que se considera, y se le denomina *comma*, requiriéndose un oido muy ejercitado para apreciarle.

Los músicos intercalan entre las notas de la gama otras intermedias que se designan con los nombres de *sostenidos* y de *bemoles*. *Sostener* una nota es aumentar el número de sus vibraciones en la razon de 24 á 25; y *bemolizarla* es disminuir este mismo número en la de 25 á 24. En música, el signo del sostenido es ♯, y el del bemol ♭.

224. **Acorde perfecto, disonancia.**—Llámase acorde, en general, la coexistencia de muchos sonidos que producen en el oido una sensacion agradable. Solo hay acorde cuando los números de vibra-

---

[1] Adviértase que el autor se refiere á medidas francesas; pues la velocidad del sonido en medidas españolas es de 1200 piés próximamente. *(N. de J. P.)*

ciones de los sonidos simultáneos se hallan en una relacion sencilla, pues si esta es complicada, se afecta desagradablemente el oido, y se dice que hay *disonancia*. El acorde mas sencillo es el unísono, siguiendo luego la octava, la quinta, la tercera, la cuarta y la sesta.

Dáse el nombre de *acorde perfecto* á tres sonidos simultáneos, tales que el tercero y el segundo formen una tercera mayor; el segundo y el tercero una tercera menor, el primero y el tercero una quinta; es decir, tres sonidos, tales que, los números de vibraciones que les correspondan, estén entre sí como los números 4, 5, 6. Ejemplo : *do, mi, sol; sol, si, re,* forman dos acordes perfectos. Esos acordes son los que producen en el oido la sensacion musical mas grata.

225. **Pulsaciones.** — Cuando dos sonidos, que no estan al unísono, se producen simultáneamente, se oye á intervalos iguales un refuerzo del sonido que se llama *pulsacion (battement)*. Supongamos, por ejemplo, que sean 30 y 31 el número de las vibraciones para estos dos sonidos; despues de 30 vibraciones del primero ó 31 del segundo, habrá coincidencia, y por lo mismo, pulsacion. Si las pulsaciones estan bastante aproximadas para producir un sonido contínuo, será este evidentemente mas grave que los de que deriva, pues proviene de una sola pulsacion, siendo así que los demás dan 30 y 31.

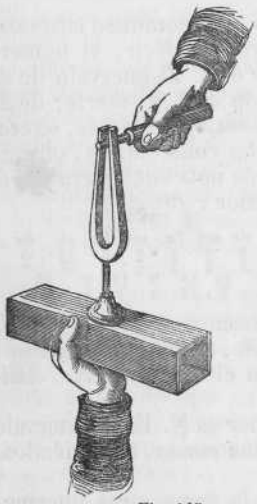


Fig. 145.

226. **Diapason.**—El *diapason* (1) es un instrumentito por medio del cual se reproduce, á voluntad, una nota invariable, por lo que es muy propio para regular los instrumentos de música. Consiste en una barra de acero encorvada sobre sí misma en forma de pinzas (fig. 145), que se hace vibrar, ya pasando un arco por sus bordes, ya separando bruscamente sus dos ramas por medio de un cilindro de hierro que á la fuerza se hace pasar entre ellas, conforme lo indica la figura. Las dos ramas, así separadas de su posicion de equilibrio, la recobran vibrando y produciendo un sonido constante para cada diapason. Se refuerza el sonido de este aparato fijándole en una caja de madera abierta por una de sus estremidades. La nota que de ordinario produce es el *la*, correspondiente á 856 vibraciones sencillas.

(1) Llamado con mas propiedad *hierro de tono ó corista.* *(N. de J. P.)*

CAPITULO IV.

VIBRACION DEL AIRE EN LOS TUBOS SONOROS.

227. **Tubos sonoros.** — Denomínanse *tubos sonoros* unos tubos en los que se producen sonidos, haciendo vibrar la columna de aire que contienen. Tambien se designan estos tubos con el nombre de *instrumentos de viento*. En los diversos aparatos descritos hasta ahora, resulta el sonido de las vibraciones de cuerpos sólidos, no siendo el aire mas que su vehículo; pero en los instrumentos de viento, cuando tienen los tubos suficientemente resistentes sus paredes, el cuerpo sonoro es simplemente la columna de aire encerrada en dichos tubos. Compruébase, en efecto, que la naturaleza de los tubos no ejerce el menor influjo en el sonido, el cual no varía, en igualdad de dimensiones, sean de madera, de cristal ó de metal los tubos. Solo se modifica el timbre.

En cuanto al modo de poner en vibracion el aire en los tubos, podemos dividir los instrumentos de viento en unos de *boca* y otros de *lengüeta*.

228. **Instrumentos de boca.** — En los instrumentos de boca son fijas todas las partes de la embocadura. La fig. 147 representa la de un tubo de órgano, y la 146 la del silbato ó caramillo. En las dos figuras se llama *luz* la abertura *i* que sirve para dar entrada al aire, y *bo* es la *boca* cuyo *labio* superior está cortado á bisel. En la parte superior de ambos grabados se vé el tubo que puede estar abierto ó cerrado. En el 147, el pié P sirve para fijar el tubo en un fuelle acústico (fig. 144).

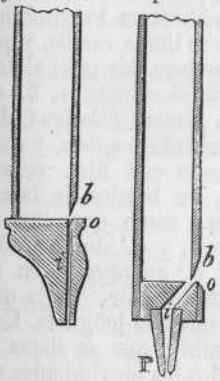


Fig. 146. Fig. 147.

Cuando llega por la luz una rápida corriente de aire, tropieza en el labio superior, resultando de aquí un choque que hace que el aire no salga de un modo contínuo por la boca *bo*, sino por intermitencias. Prodúcense, pues, pulsaciones que, trasmitiéndose al aire del tubo, le hacen vibrar y producir un sonido. Para que este sea puro, debe establecerse cierta relacion entre las dimensiones de los labios, la abertura de la boca y la magnitud de la luz. Por último, ha de ser muy largo el tubo relativamente á su diámetro. El número de vibraciones depende, en general, de las dimensiones del tubo y de la velocidad de la corriente de aire.

En la flauta travesera, consistè la boca en una simple abertura lateral y circular; y, merced á la disposicion que se dá á los labios, se quiebra la corriente de aire contra los bordes de dicha abertura, sucediendo otro tanto en la flauta de Pan, y en una llave de cañon con la cual se silba.

229. **Instrumentos de lengueta.** — En los instrumentos de boquilla, una simple laminita elástica de metal ó de madera pone en vibracion al aire, advirtiendo que la corriente de este es la que comunica el movimiento á aquella. Estas especies de boquillas se encuentran en los oboes, los fagots, el clarinete, la trompeta de los niños, y en la trompa, que es el instrumento mas sencillo de esta especie. Algunos tubos de órgano son de boca simplemente (fig. 147), y otros de lengüeta.

La figura 148 representa uno de estos últimos, con la disposicion que se les dá para la demostracion en las cátedras. Se halla montada sobre el depósito de aire Q, y un vidrio ó cristal E, engastado en las paredes del tubo, deja ver las vibraciones de la lengüeta. Una corneta de madera H sirve para reforzar el sonido.

El grabado 149 representa la lengüeta fuera de su cañon, pudiéndose ver así que consta de las cuatro piezas siguientes; 1.ª de un tubo rectangular de madera, cerrado en su parte inferior y abierta la superior en *o*; 2.ª de una placa de cobre *cc* con una abertura longitudinal que se llama *canilla*, y que sirve para dar paso al aire hasta el orificio *o*; 3.ª de una lámina elástica *i*, denominada *lengüeta*, y que, cuando está fija, enrasa con los bordes de la canilla, como que casi la cierra; y 4.ª de un alambre *r*, encorvado en su parte inferior, por la que oprime á la lengüeta. Este alambre, que se llama *el muelle*, puede bajar mas ó menos para regular todos los movimientos de la lengüeta y determinar la altura del sonido que se desea producir. Este alambre permite templar perfectamente los tubos de lengüeta, porque al ser repelida esta en el tubo MN por la entrada de una corriente de aire por el pie P, se encuentra comprimida la lengüeta, se encorva de fuera adentro y dá paso al aire que se escapa por el orificio *o*; pero, al revolver sobre sí misma la lengüeta, en virtud de su elasticidad, forma una série de oscilaciones qne abren y cierran sucesivamente la canilla, de manera que pasa y se interrumpe por intermitencias la corriente de aire, resultando de aquí ondas sonoras que producen un sonido creciente con la velocidad del aire.

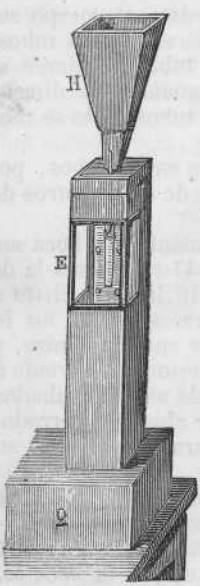


Fig. 148.

Fig. 149.


Fig 150.

La lengüeta que acabamos de describir oscila alternativamente há-

cia adelante y hácia atrás sin batir los bordes de la canilla, por lo cual se la llama *lengüeta libre*. Pero tambien se construyen *lengüetas batientes*, en las cuales la lengüeta, que es mas ancha que la canilla, hiere sobre sus bordes, y no puede oscilar mas que de un lado. Esta clase de lengüeta está representada en la figura 150, que representa una embocadura de clarinete; aquí no hay alambre para regular la oscilacion de la lengüeta, sino que se consigue esto mismo por la presion de los labios. Lo mismo sucede para las embocaduras del fagot y del oboe.

230. Leyes de las vibraciones del aire en tubos cerrados por un estremo. — El caso mas simple de los tubos sonoros es el de los tubos cerrados por un estremo; por ejemplo, la flauta de Pan, ó cuando

Fig. 151.

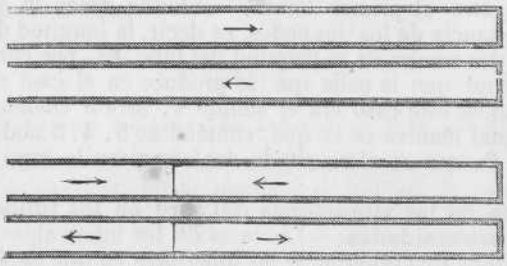


Fig. 152.

se sopla en una llave de cañon. La columna de aire puede entonces vibrar entera, ó dividirse espontáneamente en partes iguales que vibran separadamente y al unísono. Las superficies de separacion de las masas de aire así formadas no esperimentan mas que cambios de compresion y son sensiblemente inmóviles; esta es la razon de llamarlos *nodos de vibracion*. Por el contrario, los medios de las columnas de aire comprendidas entre dos nodos consecutivos tienen siempre la misma compresion, pero esperimentan las mayores oscilaciones; se los llama vientres de vibracion.

Daniel Bernoulli, célebre geómetra que murió en 1782, ha hecho conocer el primero las siguientes leyes de los sonidos producidos por los tubos sonoros:

1.ª Un tubo cerrado por un estremo y provisto de una lengüeta en el otro, estando fijo sobre la tabla de un fuelle, *produce sonidos de mas en mas agudos á medida que se esfuerza el aire; y si se representa por 1 el sonido mas grave ó el sonido fundamental, se observa que el tubo produce sucesivamente los sonidos 1, 3, 5, 7, 9..., representados por la série de los números impares.*

2.ª *Para tubos desiguales, los sonidos del mismo órden corresponden á números de vibraciones que están en razon inversa de las longitudes de los tubos.*

3.ª *Las vibraciones del aire, en los tubos, son longitudinales, y la columna de aire vibrante se halla dividida en partes iguales por nodos y vientres, siendo siempre un nodo el fondo de los tubos, y un vientre la boca.*

4.ª *Los nodos, ó la superficie de separacion de las partes vibrantes, son inmóviles y no sufren cambios de densidad, mientras que los vientres, ó las mitades de las partes vibrantes, conservan la misma densidad, pero se hallan constantemente en vibracion.*

5.ª *En el caso de un solo nodo, produce el tubo el sonido fundamental, y la longitud de la onda es igual á dos veces la del tubo.*

En el caso de un solo nodo, este se encuentra siempre en el fondo del tubo, y entonces hay un vientre en la boca. La figura 151 hace ver, por la direccion de las flechas, en qué sentido se propagan sucesivamente las ondulaciones del aire en el tubo, cuando en aquel no hay mas que un nodo. Del mismo modo, la figura 152 muestra segun que direccion marcha el aire alternativamente en cada vibracion, cuando allí tiene dos nodos. Uno de los nodos está entonces en el fondo del tubo; el otro al primer tercio, contando desde la estremidad abierta. La distancia de los dos nodos, es decir, la longitud de la onda, es, pues, los dos tercios de la longitud del tubo. Es, por consiguiente, tres veces menor que la onda que se produce en el caso de un solo nodo, y como en este caso era el sonido 1, será 3 cuando haya dos nodos. De igual manera se vé que, contándose 3, 4, 5 nodos, será el sonido 5, 7, 9, que es el resultado conforme con lo mas arriba espuesto.

231. Leyes de las vibraciones del aire en los tubos abiertos por las dos estremidades. —Las leyes de los tubos abiertos por las dos estremidades solo difieren de las anteriores en que *los sonidos producidos por un mismo tubo están representados sucesivamente por la série natural de los números* 1, 2, 3, 4, 5, 6..., y en que *las estremidades de los tubos son siempre vientres.*

Además, *el sonido fundamental de un tubo abierto por sus dos estremidades es siempre la octava aguda del mismo sonido en un tubo abierto por una sola.*

Si no hay mas que un nodo, se encuentra en el centro, comprendiendo cada mitad del tubo una semi-onda sonora. Si hay dos nodos, se les observa en el primer cuarto á partir de cada estremidad. Si hay tres nodos, se sitúan en el primero, tercero y quinto sesto; pero en todos los casos, siempre hay un vientre en la embocadura, y otro en la estremidad opuesta. En esta distribucion de los vientres está fundado el uso de los orificios que se practican en las paredes de los instrumentos de viento, como la flauta, clarinete. En presencia de un vientre, está sin efecto el orificio, y no modifica el sonido en manera alguna, mientras que delante de un nodo cambia al momento el sonido, trasformando el nodo en vientre, y haciendo variar así la longitud de la columna de aire vibrante.

Para reconocer la existencia de los nodos en los tubos sonoros, se introduce en ellos un piston móvil, y se observa, introduciéndole á profundidades diferentes, que el sonido no esperimenta alteracion siempre que el piston corresponde á una superficie nodal.

Todavía se puede reconocer la existencia de los nodos y vientres haciendo resonar un tubo rectangular horizontal, cuyas paredes tie-

nen poco espesor. Estas paredes entran entonces en vibracion con la columna de aire interior, y si se las recubre de arena, se ve que esta abandona las partes donde estan los vientres para colocarse donde estan los nodos.

Las diferentes leyes que acabamos de dar á conocer sobre las vibraciones del aire en los tubos sonoros, son conocidas bajo el nombre de *leyes de Bernoulli*; ellas, sin embargo, no pueden ser exactamente verificadas por la esperiencia. Si los tubos son de boca ó de lengüeta, se obtienen sonidos mas graves que los que indica la teoría. Para que estas leyes estuviesen acordes con la esperiencia, serian necesarios unos tubos cuya seccion fuese infinitamente pequeña con relacion á su longitud, y el aire deberia ser puesto directamente en vibracion por todo el contorno del tubo, y no por un solo lado, como se efectúa comunmente.

* CAPITULO V.

VIBRACION DE LAS VARILLAS, DE LAS PLACAS Y DE LAS MEMBRANAS.

232. **Vibracion de las varillas y de las láminas.** — Las varillas y las láminas delgadas de madera, de vidrio, de metal, y sobre todo de acero templado, vibran en virtud de su elasticidad, y presentan, como las cuerdas, dos especies de vibraciones, trasversales unas y longitudinales otras. Originanse las primeras fijando las varillas ó las láminas por un estremo, y pasando un arco por su parte libre. Prodúcense las vibraciones longitudinales en una varilla, fijándola por uno de sus puntos, y frotándola, en el sentido de su longitud, con un pedazo de tela mojada ó espolvoreada con colofonia. Con todo, en este último caso no se obtiene un sonido, sino en el supuesto de que el punto fijo de la varilla sea su mitad, tercio, cuarto, en una palabra, una parte alicuota.

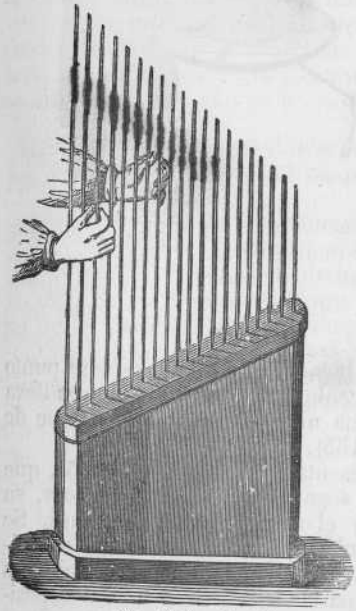


Fig. 153 (a=1m,80).

Se demuestra, por medio del cálculo, *que el número de vibraciones trasversales de las varillas y de las láminas ó placas de igual naturaleza está en razon directa de su espesor é inversa del cuadrado de su longitud*. La latitud de las placas no influye en el número de vibra-

ciones que puedan producir, sino que se limita simplemente á modificar la fuerza necesaria para vibrarlas.

En las varillas elásticas de igual naturaleza, *el número de vibraciones longitudinales está en razon inversa de su longitud, sean cuales fueren su diámetro y la forma de su seccion trasversal.*

La fig. 153 representa un instrumento fundado en las vibraciones longitudinales de las varillas. Este instrumento, construido por M. Marloye, consiste en un zócalo macizo, de madera, con unas veinte varillas cilíndricas de abeto, coloradas unas y blancas otras. Sus longitudes estan determinadas de manera que las blancas producen la gama diatónica, mientras que las coloradas producen los semi-tonos que completan esta gama y la hacen cromática. Para tocar una piececita con dicho instrumento, se frotan las varillas en el sentido de su longitud entre el pulgar y el índice, préviamente impregnados con resina en polvo. Los sonidos que así se obtienen son muy semejantes á los de la flauta de Pan.

233. Vibraciones de las placas. — Cuando se quiere hacer vibrar una placa, se la asegura por su centro (fig. 154), y se la agita en

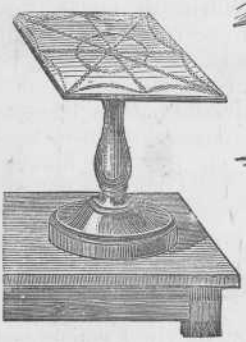


Fig. 154.

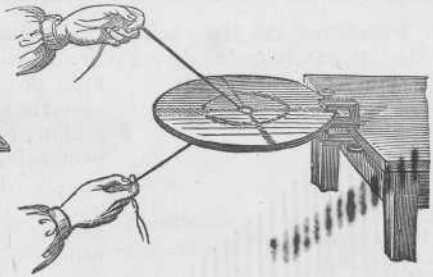


Fig. 155.

sus bordes por medio de un arco; ó bien se la sostiene por un punto cualquiera de su superficie, y se la conmueve en su centro, que lleva una abertura, en la cual se determina un rozamiento, valiéndose de crines recubiertas de colofonia (fig. 155).

Las placas que se hacen vibrar presentan líneas nodales (213), que varían por su número y su posicion, segun la forma de las placas, su elasticidad, el modo de vibracion y el número de vibraciones. Se hacen visibles las líneas nodales cubriendo las placas con una ligera capa de arena antes de hacerlas vibrar. Luego que principian las vibraciones, abandona la arena las partes vibrantes, y va á depositarse en las líneas nodales, segun muestran las fig. 154 y 155.

Determínase, por decirlo así, á voluntad, la posicion de las líneas

nodales, tocando las partes en que se desea se produzcan. El número de estas líneas es generalmente tanto mas considerable, cuanto mayor es el número de vibraciones, es decir, cuanto mas agudo es el sonido que producen las placas. Las líneas nodales presentan siempre una gran simetría de forma, reproduciéndose idénticamente para una misma placa, agitada en las mismas condiciones. Chladni fué el primero que dió á conocer el fenómeno de las líneas nodales en las placas.

Las vibraciones de las placas se hallan sometidas á las leyes siguientes: *Para placas de igual naturaleza, de la misma forma y que den las mismas figuras, el número de las vibraciones está en razon directa del espesor de estas placas é inversa de sus superficies.*

234. **Vibraciones de las membranas.** — La flexibilidad de las membranas no les consiente vibrar, á no ser que estén tensas como la piel de un tambor, produciendo entonces un sonido tanto mas agudo,

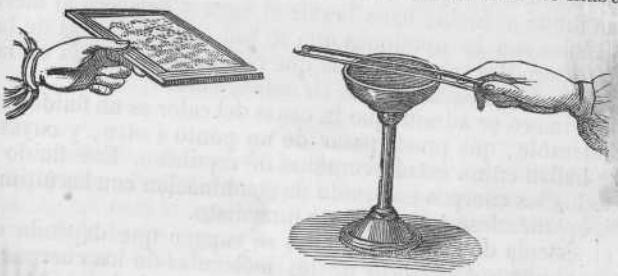


Fig. 156.

cuanto menores son sus dimensiones y mayor su tension. Con el fin de obtener membranas vibrantes, pegaba Savart, en marcos de madera, binza muy flexible.

Las membranas pueden vibrar por percusion, como en el tambor, ó por influencia. En efecto, observó Savart que puede vibrar una membrana por la influencia de las vibraciones del aire, sea cual fuere el número de estas, siempre que sean suficientemente intensas. La figura 156 representa una membrana vibrante bajo el influjo de las vibraciones que imprime el aire á un hemisferio sonoro; y una capa de arena fina, dispuesta sobre la misma, demuestra la formacion de los vientres y de los nodos, de igual manera que en las placas.

LIBRO SESTO.

DEL CALORICO.

CAPITULO PRIMERO.

NOCIONES PRELIMINARES: TERMOMETROS.

235. Calórico; hipótesis acerca de su naturaleza. — Se da el nombre de *calórico* al agente que causa en nosotros la sensacion del calor; pero este agente obra tambien sobre los cuerpos inertes, pues es el que funde al hielo, hace hervir al agua y enrojece al hierro.

Muchísimas son las opiniones que se han emitido acerca de la causa del calor; pero dos son las únicas que reinan aun hoy dia en la ciencia: *el sistema de la emision* y *el de las ondulaciones*.

En el primero se admite que la causa del calor es un fluido material é imponderable, que puede pasar de un punto á otro, y cuyas moléculas se hallan en un estado contínuo de repulsion. Este fluido existiria en todos los cuerpos en estado de combinacion con las últimas partículas, oponiéndose á su contacto inmediato.

En el sistema de las ondulaciones se supone que depende el calor de un movimiento vibratorio de las moléculas de los cuerpos calientes, movimiento que se trasmite á las moléculas de los demás cuerpos por el intermedio de un fluido eminentemente sutil y elástico, llamado *éter*, y en el cual se propaga á la manera que las ondas sonoras en el aire. Los cuerpos mas calientes son, en tal caso, aquellos cuyas vibraciones tienen mayor amplitud y mayor rapidez, de suerte que la intensidad del calor no vendria á ser otra cosa mas que la resultante de las vibraciones de las moléculas. En la primera hipótesis pierden calórico las moléculas de los cuerpos que se enfrian, y en el segundo solo pierden movimiento.

La teoría de las ondulaciones parece la única admisible, atendidos los progresos de la física moderna; pero con todo, como la de la emision simplifica las demostraciones, se la prefiere, en general, para la esplicacion de los fenómenos del calor.

236. Efectos generales del calórico. — La accion general del calórico sobre los cuerpos consiste en desarrollar entre sus moléculas una fuerza repulsiva que lucha sin cesar contra la atraccion molecular; resultando de aquí que, por la influencia de este agente, tienden los cuerpos á *dilatarse* primero, es decir, á adquirir mayor volúmen, y á *cambiar de estado* en seguida, esto es, á pasar de sólidos á líquidos, y de líquidos al de fluidos aeriformes.

Todos los cuerpos se dilatan por efecto del calórico, siendo los mas dilatables los gases, luego los líquidos, y por último, los sólidos. En estos últimos se distinguen la *dilatacion lineal*, ó en una sola dimen-

sion, y la *cúbica* ó en volúmen; si bien, á decir verdad, jamás tiene lugar la una sin que tambien se verifique la otra. En los líquidos y gases solo se consideran las dilataciones en volúmen.

Para demostrar la dilatacion lineal de los metales sirve un aparato (fig. 157), que consta de una barra metálica A fija por uno de sus estremos mediante un tornillo de presion B, y el otro, que está libre, se halla en contacto con el brazo menor de una aguja K, móvil

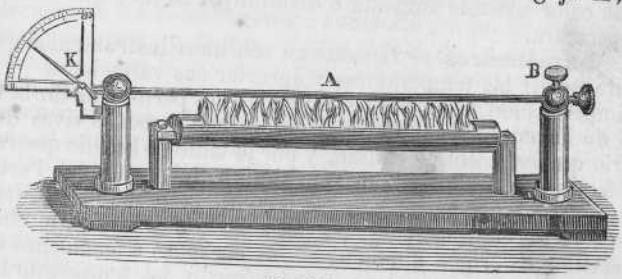


Fig. 157.

sobre un cuadrante. Debajo de la barra hay un depósito cilíndrico, en el que se quema alcohol. La aguja K marca primero cero, pero á medida que se calienta la barra A, sube aquella, patentizando así la prolongacion de la barra.

La dilatacion cúbica de los sólidos se demuestra por medio del *anillo de S'Gravezande*, que así se llama un pequeño anillo metálico *m* (fig. 158), por el cual pasa libremente, á la temperatura ordinaria, una esférita de cobre *a*, que tiene casi el mismo diámetro; pero luego que se la calienta á la llama de una lámpara de alcohol, no puede pasar ya al través del anillo, quedando demostrado así el aumento de volúmen.

Fig. 158 (a=36).

Para cerciorarse de la dilatacion de los líquidos, se suelda á un globo de vidrio un tubo capilar, y llenando aquel y parte de este de un líquido cualquiera, se nota que al calentarle sube el líquido en el tubo. La dilatacion que así se observa es siempre mucho mayor que en los sólidos.

El mismo aparato puede servir para demostrar la dilatacion de los gases. Al efecto, se llena el globo de aire ó de cualquiera otro gas, y se introduce en el tubo un índice de mercurio y de dos ó tres centímetros de longitud. Cuando se calienta el globo, ó al aproximar simplemente la mano, es repelido el índice hácia la estremidad del tubo, hasta que por fin es espulsado. Esto nos prueba claramente que los gases son muy dilatables por el influjo aun de un débil aumento de calor.

En estos diversos esperimentos, luego que se enfrian los cuerpos, se contraen y recobran exactamente su volúmen primitivo cuando el calórico vuelve al mismo grado.

MEDIDA DE LAS TEMPERATURAS.

237. **Temperatura.** — La temperatura de un cuerpo es el estado actual de su calórico sensible, sin aumento ni diminucion. Si la cantidad de calor sensible aumenta ó disminuye, se dice que sube ó baja la temperatura.

238. **Termómetros.** — *Termómetros* son unos instrumentos que sirven para medir las temperaturas y apreciar sus variaciones.

La imperfeccion de nuestros sentidos no nos permite medir la temperatura de los cuerpos por las sensaciones mas ó menos vivas de calor ó de frio que en nosotros causan, y por lo tanto ha habido que recurrir á los efectos físicos que produce el calórico en los cuerpos. Pero como son muy variados estos efectos, se ha dado la preferencia á las dilataciones y á las contracciones, porque son las mas fáciles de observar. Pero el calor dá orígen tambien, en los cuerpos, á fenómenos eléctricos, por medio de los cuales se pueden medir las temperaturas. A su tiempo describirémos un termómetro sumamente sensible fundado en este principio.

De todos los cuerpos, los líquidos son los que merecen la preferencia para la construccion del termómetro, porque los sólidos se dilatan poco, y los gases demasiado. Los líquidos esclusivamente adoptados son el mercurio y el alcohol, pues el primero no entra en ebullicion hasta una temperatura muy elevada, y el segundo no se solidifica por los mayores frios conocidos [1].

La invencion de los termómetros data de fines del siglo XVI, atribuyéndose por unos á Galileo, por otros á Drebbel, médico holandés, ó bien á Santorius, médico veneciano.

El termómetro de mercurio es el de uso mas vulgarizado. Compónese de un tubo capilar de vidrio ó de cristal, soldado á un reservatorio cilíndrico ó esférico de la propia sustancia. El reservatorio y parte del tubo estan llenos de mercurio, y una escala graduada dá á conocer la dilatacion del líquido.

Además de la soldadura del tubo con el reservatorio, que se verifica por medio de la lámpara de esmaltar, comprende tres operaciones la construccion de un termómetro, cuales son: la division del tubo en partes de igual capacidad, la introduccion del mercurio en el depósito y la graduacion.

239. **Division del tubo en partes de igual capacidad.** — Como las indicaciones del termómetro solo son exactas cuando las divisiones de la escala corresponden á dilataciones iguales del mercurio, conviene que esté aquella graduada de tal manera que indique capacidades igua-

---

[1] Algunos dicen que á 100° bajo cero el alcohol toma un estado viscoso, y por eso se propone el licor de Lampadius (sulfuro de carbono) para medir bajas temperaturas. *(N. de J. P.)*

les en el interior del tubo. Si fuese este perfectamente cilíndrico y de un diámetro constante, bastaria, para obtener estas capacidades iguales, que se dividiera en partes tambien iguales la longitud del tubo; pero, como en general suele ser su diámetro mayor en una estremidad que en la otra, resulta que capacidades iguales del tubo están representadas en la escala por longitudes diferentes. Estas últimas son las que se trata de determinar.

Al efecto, antes de soldar el tubo, se introduce en él una columna de mercurio de 2 á 3 centímetros, cuidando de que se mantenga á la misma temperatura, y de que recorra el tubo de tal suerte, que á cada movimiento avance la columna una cantidad exactamente igual á su longitud, es decir, que una de las estremidades de la columna reemplace sucesivamente á la otra. Una regla, dividida en milímetros y aplicada al tubo, permite evaluar, con una aproximacion de menos de un décimo de milímetro, la longitud ocupada por la columna de mercurio. Si sucede que permanece esta invariable, es indicio de que la capacidad del tubo es igual en todos sus puntos, pero si varía y va, por ejemplo, decreciendo, revela que aumenta el diámetro interno del tubo. Si se nota que de esta manera sufre la columna de mercurio variaciones de longitud de muchos milímetros, se desecha el tubo y se busca otro mas regular. Pero si estas variaciones son poco considerables, se pega á lo largo del tubo una tira de papel, y con lapiz se van marcando rayitas enfrente de los puntos que sucesivamente ocupan las estremidades de la columna de mercurio.

Las divisiones así obtenidas indican necesariamente capacidades iguales, porque corresponden á un mismo volúmen de mercurio; y como los intervalos de estas divisiones están suficientemente aproximados para que podamos considerar el diámetro del tubo como constante en cada una de ellas, se pasa á divisiones mas pequeñas, dividiendo las primeras en cierto número de partes iguales, lo cual se obtiene, conforme sabemos ya, por medio de la máquina de dividir (13).

Pronto verémos cómo, mediante estas divisiones, se obtiene una graduacion exacta de la escala [1].

240. **Modo de llenar el termómetro.** — Para introducir el mercurio en el termómetro, se suelda en la estremidad superior de la varilla un embudo C (fig. 159), que se llena de mercurio; y luego, inclinando un poco el tubo, se dilata el aire del depósito por medio de una lámpara de alcohol, ó bien sirviéndose de una rejilla inclinada y rodeada de carbones incandescentes. El aire

---

[1] Aunque se precisase mas, como es debido, la determinacion del calibre del tubo, siempre seria esta operacion mucho menos fácil de ejecutar que de decir, con precision al menos. Por esta razon se suele preferir otra práctica mas sencilla para conocer si el tubo está ó no bien calibrado.

Consiste esta en introducir en el tubo una gota de mercurio de unos 5 ó 6 milímetros de longitud, y haciéndola ocupar muchas posiciones diferentes en el interior del tubo, se vé si siempre ocupa la misma longitud; y si la ocupa, se le considera como bien calibrado, y, por consiguiente, útil para la construccion del termómetro. Para apreciar si siempre es igual la longitud, se disponen dos anteojos que se fijan en la primera posicion de la gota, de modo que sus visuales sean tangentes á los meniscos de la misma. *(N. de J. P.)*

dilatado sale en parte por el embudo C; y si se deja que se enfrie el reservatorio colocándole en una posicion vertical, vuelve á contraerse el aire que quedó, y la presion atmosférica obliga al mercurio á pasar al depósito D, por capilar que sea el tubo. Pero muy pronto cesa la entrada de dicho líquido, porque el aire, merced á la diminucion de volúmen, recobra la tension capaz de equilibrarse con el peso de la atmósfera y el de la columna de mercurio que penetró en el tubo. Calentando entonces de nuevo y dejándole enfriar, entra nueva cantidad de mercurio, y así sucesivamente hasta que no queda ya en el depósito D mas que un volúmen muy reducido de aire. Para espulsarle, se calienta el mercurio del depósito hasta que entre en ebullicion, y entonces los vapores que se desprenden arrastran consigo el aire y la humedad que todavía hubiese en el tubo y en el depósito.

Fig. 159.

Lleno así el instrumento de mercurio seco y puro, se quita el embudo C, y se suelda su estremidad á la lámpara, pero cuidando antes de calentar el depósito D, con objeto de espulsar la mitad ó los dos tercios del mercurio que contiene el tubo, pues de lo contrario se romperia el termómetro por la dilatacion de dicho líquido. La cantidad de mercurio que debe espelerse del tubo es tanto mayor, cuanto mas altas han de ser las temperaturas que haya de medir. Procúrase además, en el momento de la soldadura, calentar el depósito D de tal suerte, que el líquido dilatado llegue al vértice del tubo. Así no queda aire en el termómetro, conforme debe ser, porque, de lo contrario, comprimiéndose el aire al subir el mercurio, podria hacer estallar al tubo [1].

241. Graduacion del termómetro, puntos fijos de su escala.— Una vez lleno el termómetro, falta graduarle, es decir, trazar sobre el tubo una escala que permita apreciar las variaciones de temperatura. Preciso es para esto tomar en él dos puntos fijos que representasen temperaturas fáciles de reproducir y siempre idénticas.

La esperiencia ha demostrado que la temperatura de fusion del hielo es siempre constante, sea cual fuere el foco calorífico, y que el agua destilada, bajo una misma presion y en una vasija de la propia materia, entra constantemente en ebullicion á la misma temperatura. Por lo tanto, sirve de primer punto fijo, es decir, de cero de la escala,

---

[1] Dejando en la parte superior una capacidad que sea unas 100 veces mayor que la del tubo, puede dejarse aire, y en este caso, á beneficio de la capacidad superior, se puede fácilmente reunir la columna de mercurio, sin mas que calentarlo en la posicion vertical; lo cual no es muy fácil cuando el tubo es muy estrecho y no hay aire ni depósito en la parte superior. *(N de J. P.)*

la temperatura del hielo fundente; y de segundo, ó sea de 100, la temperatura de ebullicion del agua destilada, en una vasija metálica y á la presion de $0^m,76$.

La graduacion del termómetro comprende, pues, tres operaciones, que consisten en la determinacion del cero, la del punto 100 y del trazado de la escala.

242. Determinacion del cero. — Para encontrar el cero, se llena de hielo machacado ó de nieve una vasija que tenga en el fondo un agujero para dar paso al agua que resulte de la fusion del hielo (fig. 160), y en él se introduce, como cosa de un cuarto de hora, el depósito del termómetro y parte del tubo. La columna de mercurio baja primero rápidamente, permaneciendo luego estacionaria; y entonces, en el punto que corresponde al nivel del mercurio, se hace con lapiz una señal en una tirita de papel préviamente pegada al tubo. Este punto es el cero.

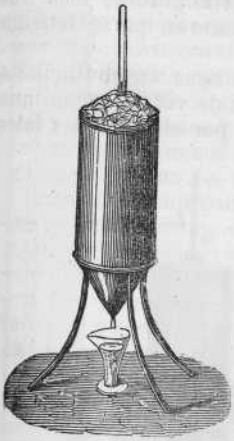


Fig. 160 (a=32).

243. Determinacion del punto 100. — El segundo punto fijo se determina por medio del aparato representado en la figura 161 y 162. La segunda es su seccion vertical, y la primera su conjunto en el acto de estar funcionando. En ambas, las mismas letras designan las mismas piezas. Todo el aparato es de cobre. Un tubo central A, abierto por sus dos estremidades, se fija en una vasija cilíndrica M, que contiene el agua, y otro tubo B, concéntrico con el primero y envolviéndole por completo, se fija en el mismo recipiente M. Esta segunda cubierta, cerrada en sus dos estremidades, lleva tres tubuladuras *a*, E, D, viéndose en la primera un tapon, por el cual pasa el tubo *t* del termómetro cuyo punto 100 se va á buscar; en la segunda se adapta un tubito de vidrio *m*, que contiene mercurio, y que sirve de manómetro para medir la tension del vapor en el interior del aparato; y por fin, la tercera tubuladura D tiene por objeto dar paso al vapor y al agua que resulta de la condensacion.

Esto sentado, y puesto el aparato en un hornillo para calentarlo hasta la ebullicion, el vapor que se forma en la vasija M sube por el tubo A, dirigiéndose por entre las dos cubiertas hasta D, desde donde sale á la atmósfera. Envuelto así el termómetro *t* por el vapor, se dilata el mercurio que contiene, y luego que queda estacionario, se hace en el punto *a*, en que se detiene, una señalita, que es el punto 100 que se buscaba. La segunda cubierta B ha sido adicionada por Regnault para evitar el enfriamiento del tubo central por su contacto con el aire.

La determinacion del punto 100 de la escala termométrica exige, al parecer, que la altura del barómetro sea $0^m,76$, durante el esperi-

mento, pues pronto se verá que, cuando esta altura es mayor ó mas débil que $0^m,76$, entra el agua en ebullicion á una temperatura superior ó inferior á 100 grados. Con todo, puédese obtener exactamente el punto 100, sea cual fuere la presion atmosférica, haciendo la correccion que indica M. Biot, quien comprobó que, cuando en el barómetro sube ó baja el mercurio 27 milímetros, la temperatura de ebullicion sube ó baja un grado. De consiguiente, si es, por ejemplo, 778 milímetros la altura del barómetro, es decir, 18 milímetros ó dos tercios de 27, superior á 760, el agua hierve á 100 grados, mas dos tercios; y así, deberá marcarse 100 y $^2/_3$ en el punto en que se detenga el mercurio.

Habiendo observado Gay-Lussac que entra el agua en ebullicion á una temperatura algo mas elevada en una vasija de vidrio que en una de metal, y además, que subia tambien aquella por efecto de las sales

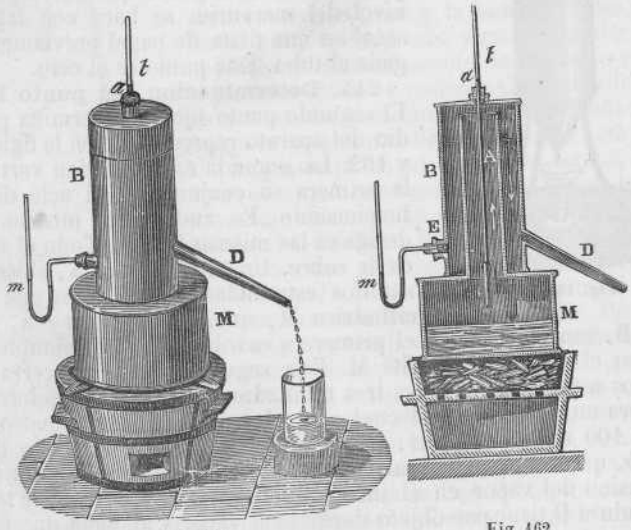


Fig. 161. Fig. 162.

que el agua contiene en disolucion, admitió hasta hace poco que, para determinar el 100 de los termómetros, habia que servirse de una vasija metálica y de agua destilada. Pero estas dos últimas condiciones son inútiles, desde que el físico sueco Rudberg descubrió que efectivamente influyen la naturaleza de la vasija y las sales disueltas en la temperatura de ebullicion del agua, pero *no en la del vapor que se produce*. Es decir, que, aunque marque mas de 100 grados el agua por efecto de las causas que acabamos de esponer, el vapor que se desprende no pasa de 100, si la presion es $0^m,76$.

Resulta de ahí que, para obtener el segundo punto fijo del termómetro, no es necesario servirse del agua destilada, ni de una vasija

metálica, bastando que valga la presion $0^m,76$, ó que se haga la correccion conforme hemos indicado, y que se introduzca por completo el termómetro en el vapor y no en el agua caliente.

Por lo demás, aunque se emplee el agua destilada, no debe introducirse el reservatorio del termómetro en el agua, porque solo su superficie marca 100 grados, creciendo la temperatura de capa en capa hácia el fondo á causa del esceso de presion.

244. Construccion de la escala. — Obtenidos ya los dos puntos fijos, se divide el intervalo que los separa en 100 partes de igual capacidad, llamadas *grados*, prolongando estas divisiones en toda la longitud de la escala (fig. 163). Bastaria, para trazar los grados, dividir el intervalo de cero á 100 en cien partes iguales, si tuviese el mismo diámetro en todos sus puntos el tubo del termómetro; pero como casi nunca queda satisfecha de un modo riguroso esta condicion, es menester recurrir á las divisiones en partes de igual capacidad que primero se trazaron en el tubo. Al efecto, se cuenta el número de estas divisiones comprendidas entre los puntos fijos, y dividiendo este número por 100, se tiene el número de divisiones, ó la fraccion que equivale á un grado. Y así sucesivamente se deduce, á contar desde cero, la posicion de cada uno de ellos. El instrumento así graduado es el *termómetro centígrado*.

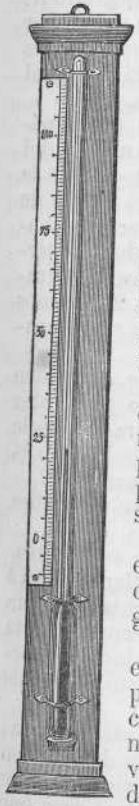


Fig. 163.

Los grados se designan por medio de un cero pequeño colocado á la derecha y parte superior del número que marca la temperatura. En fin, para distinguir las temperaturas inferiores á cero de las superiores, se las hace preceder el signo — (menos): y así, 15 grados bajo cero se indican del modo siguiente: -15^0.

En los termómetros de precision se halla graduada la escala en el cristal mismo del tubo; y así, no puede modificarse, permaneciendo sensiblemente constante su longitud, pues el vidrio es muy poco dilatable.

Para obtener en el vidrio señales permanentes, se le da en caliente una ligera capa de barniz, y luego, con una punta de acero, se marcan en este las rayas de la escala, como igualmente las cifras que les correspondan. Espónese, por fin, el tubo durante unos diez minutos á los vapores del ácido fluorhídrico, que goza de la propiedad de atacar al cristal, grabando en bajo relieve las señales, donde quiera falte el barniz.

245. Diferentes escalas termométricas.—En la graduacion de los termómetros se distinguen tres escalas, que son: la centígrada, la de Réaumur y la de Fahrenheit [1].

---

[1] La razon de haber tomado Fahrenheit el n.º 212 para la escala del termómetro que lleva su nombre, fué la de haber observado que 11124 volúmenes de mercurio, á la temperatura producida por la mezcla frigorífica de partes iguales, segun se cree, de sal amoniaco

La escala centígrada es la que antes hemos construido, y la que generalmente sirve en Francia. Ideóla el físico sueco Celsius, muerto en 1744.

En la segunda escala, adoptada en 1731 por el físico francés Réaumur, los dos puntos fijos corresponden tambien á la temperatura del hielo fundente y á la del agua en ebullicion, pero se divide en 80 grados su intervalo. Es decir, que 80 grados Réaumur equivalen á 100 centígrados, y por lo mismo, uno de aquellos es igual á $^{100}/_{80}$ ó $^{5}/_{4}$ de grado c.; y recíprocamente, un grado c. vale $^{80}/_{100}$ ó $^{4}/_{5}$ de grado R. De consiguiente, para convertir un número de grados R. en c., 20 por ejemplo, se multiplica este número por $^{5}/_{4}$, pues si un grado R. es igual á $^{5}/_{4}$ de grado c., 20 R. valdrán en c. 20 veces $^{5}/_{4}$, ó 25. De igual manera, para trasformar los c. en R., se multiplican por $^{4}/_{5}$.

Fahrenheit, de Dantzick, adoptó, en 1714, una escala termométrica muy generalizada en Holanda, en Inglaterra y en la América del Norte. El punto fijo superior de esta escala corresponde todavía á la temperatura del agua en ebullicion; pero el cero espresa el grado de frio que se obtiene mezclando pesos iguales de sal amoniaco machacada y de nieve, estando dividido el intervalo en 212 grados. El termómetro de Fahrenheit, colocado en el hielo fundente, marca 32 grados; y de consiguiente, 100 centígrados equivalen en F. á 212 menos 32, ó 180; 1 c. valdrá, pues, $^{180}/_{100}$ ó $^{9}/_{5}$ de grado F., y recíprocamente, 1 grado F. es igual á $^{100}/_{180}$ ó $^{5}/_{9}$ de grado c.

Supongamos ahora que se desea saber á cuántos grados c. equivalen un cierto número de los F., 95, por ejemplo. Principiase por restar 32 del número dado, á fin de contar las dos especies de grados desde un mismo punto del tubo. La resta da 63, y como 1 grado F. vale $^{5}/_{9}$ de grado c., 63 grados F. tienen por valor $^{5}/_{9} \times 63$, ó 35 grados c.

Recíprocamente, para reducir grados c. á grados F., se multiplica el número dado por $^{9}/_{5}$, y se añade 32 al producto.

246. Cambio de posicion del cero. —Aun cuando se construyan los termómetros con el mayor esmero posible, se hallan sujetos á una causa de error que conviene tomar en cuenta. Trascurrido algun tiempo, tiende el cero á subir, y tanto, que llega á recorrer hasta dos grados en su movimiento, ó en otros términos, introducido el termómetro en el hielo fundente, no desciende ya el mercurio al cero de la escala.

Diversas esplicaciones, pero ninguna completamente satisfactoria, se han dado de este fenómeno. Supúsose dependia de la diminucion de volúmen del reservatorio, por efecto de la presion esterior, siempre que se hubiese hecho el vacío en el termómetro; pero es el caso que se verifica del mismo modo el fenómeno en los termómetros que contienen aire.

---

en polvo y nieve machacada, se convertian en 11336 á la temperatura del agua hirviendo. Réaumur solo tomó por punto fijo la temperatura de la congelacion del agua, donde ponia 0°, y luego cada grado correspondia á 0,001 de aumento, en volúmen que esperimenta el líquido (alcohol diluido en agua), del que tenia á 0°, y de este modo resultaba el n.° 80 para la temperatura de ebullicion del agua. Deluc, siguiendo la misma escala, sustituyó el alcohol por el mercurio. *(N. de J. P.)*

Se dijo tambien que al construirse la esfera, recobraba el vidrio muy lentamente su primitivo estado de agregacion, fundándose en que se creia haber notado que, pasados dos ó tres años, ya no subia mas el cero; mas, de los esperimentos de M. Despretz se deduce que continúa el movimiento tal vez con una duracion indefinida.

Además de este pausado movimiento que acabamos de mencionar, se notan bruscas variaciones en la posicion del cero, siempre que ha tenido que marcar el termómetro altas temperaturas. En efecto, si se le introduce entonces en el hielo fundente, tarda bastante tiempo el mercurio en volver á marcar el cero de la escala.

Interesa, pues, cuando se trata de medir con precision una temperatura, cerciorarse primero de la posicion del cero en el termómetro que va á servir.

Obsérvese tambien que M. Regnault ha encontrado que varios termómetros de mercurio, acordes á cero y á 100 grados, no lo están entre estos dos puntos, diferenciándose á veces en muchos grados sus indicaciones. M. Regnault atribuye esta diferencia á la desigual dilatacion de los vidrios con que estan fabricados los instrumentos.

Dedúcese de las observaciones que acabamos de presentar cuántas causas de error ofrece, y cuántos cuidados exige, la determinacion de las temperaturas.

247. **Límites del uso del termómetro de mercurio.** — Entre todos los termómetros fundados en la dilatacion de los líquidos, merece la preferencia el de mercurio, porque este líquido es el que se dilata con mas regularidad, y porque se ha observado tambien que su aumento de volúmen entre —36 y 100 grados, es proporcional á la intensidad del calor. No obstante, si es inferior á —36 la temperatura, se debe recurrir al termómetro de alcohol, pues se congela el mercurio á —40 grados, y al arcercarse á este punto es *irregular* su dilatacion, es decir, no proporcional ya á la intensidad del calor.

Las indicaciones de los termómetros de mercurio no pueden depasar las temperaturas de 350 grados, que son los necesarios para la ebullicion del mercurio.

248. **Termómetro de alcohol.** — El *termómetro de alcohol* solo difiere del de mercurio en estar lleno de espíritu de vino teñido de rojo con orchilla. Pero como la dilatacion de los líquidos es tanto menos regular, cuanto mas próximos estan de su punto de ebullicion, resulta que el alcohol se dilata muy irregularmente entre cero y 100 grados, porque hierve á 78. De suerte que si despues de haber tomado los dos puntos fijos, como en el termómetro de mercurio, se dividiese su intervalo en 100 grados, se poseeria un termómetro acorde con el de mercurio, solo á cero y á 100 grados, retrasándose cada vez mas entre estos dos puntos en muchos grados, como que solo señala 44 grados cuando el de mercurio marca 50.

Véase por qué la graduacion del termómetro de alcohol debe hacerse comparativamente con uno de mercurio que sirva de tipo, calentándolos juntos gradualmente en un baño, y señalando así suce-

sivamente en el termómetro de alcohol las temperaturas que señale el de mercurio. Graduado así, es *comparable* con este último, es decir, que en igualdad de condiciones marca las mismas temperaturas. Sirve sobre todo el termómetro de alcohol para medir temperaturas muy bajas, porque los frios mas rigurosos, conocidos hasta ahora, no bastan para congelarle.

249. **Termómetro diferencial de Leslie.** — El físico escocés Leslie, muerto en 1832, construyó un termómetro de aire que da á conocer la diferencia de temperatura de dos lugares inmediatos, proviniendo de este uso su nombre de *termómetro diferencial*. Compónese este instrumento de dos esferas de vidrio llenas de aire y reunidas por un tubo encorvado de corto diámetro y fijo en una placa (fig. 164). Se introduce en el aparato antes de cerrarle un líquido colorado que llene la rama horizontal del tubo y la mitad de las verticales. Sirve al intento, en general, el ácido sulfúrico colorado de rojo, porque debe elegirse un líquido que no dé vapores á la temperatura ordinaria. Cerrado luego el aparato, se hace pasar aire de una esfera á la otra, calentándolas desigualmente hasta que despues de algunos tanteos, poseyendo la misma temperatura, sea igual el nivel en ambas ramas verticales; y entonces se escribe el cero en cada estremidad de la columna líquida. Se termina la graduacion dando á una de las esferas una temperatura 10 grados mas alta que la de la otra, en cuyo caso se dilata el aire de la primera, repeliendo la columna líquida, que sube, de consiguiente, en la otra rama. Luego que queda estacionaria, se marca 10 á cada lado en el punto en que se para el nivel del líquido; se dividen los intervalos de cero á 10 en diez partes iguales, y se continúan estas divisiones por encima y por debajo del cero á lo largo de cada rama.

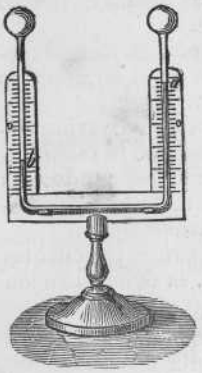


Fig. 164.

250. **Termóscopo de Rumford.** — Al propio tiempo que inventaba Leslie el termómetro diferencial, adoptaba otro análogo el conde de Rumford, americano, muerto en Auteuil, cerca de París, en 1814. Llámasele *Termóscopo de Rumford*, del apellido de su inventor. Poco difiere del anterior este instrumento, pues solo son algo mayores las esferas y mas larga la rama horizontal que lleva la graduacion. El índice E (fig. 165) no tiene mas que unos dos centi-

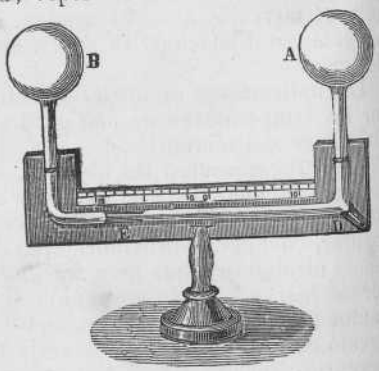


Fig. 165 (a=43).

metros de longitud, marcándose un cero en cada una de sus estremidades, cuando, encontrándose á igual temperatura las dos esferas, ocupa el índice la parte media de la rama horizontal. El resto de la graduacion se efectúa luego enteramente como en el termómetro de Leslie. El apéndice D regula el aparato, pues si hay demasiado aire en una de las esferas, se introduce el índice en el apéndice, pudiendo entonces el aire pasar á la otra esfera. Basta en seguida inclinar el termómetro para que salga el índice y recobre la posicion que debe ocupar, circunstancia que no se obtiene sino despues de algunos ensayos. Todavía se conoce otra especie de termómetro de aire, que darémos á conocer al hablar de la dilatacion de los gases.

251. **Termómetro metálico de Bréguet.** — Un relojero de Paris, llamado Abraham Bréguet, muerto en 1823, ideó un termómetro fundado en la desigual dilatabilidad de los metales, y notable por su estraordinaria sensibilidad. Se compone este instrumento de tres láminas superpuestas de platino, de oro y de plata, soldadas entre sí en toda su longitud, y pasadas en seguida por el laminador hasta tanto que no formen mas que una cinta metálica muy delgada. Arróllasela en hélice (figura 166), y fijándola por su estremidad superior á un montante, se suspende de la otra una ligera aguja que se mueve libremente sobre un cuadrante horizontal que lleva una escala centígrada.

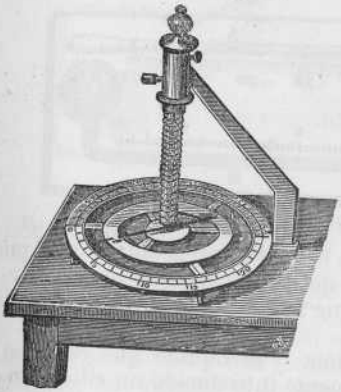


Fig. 166 (a=9).

La plata, que es el mas dilatable de los tres metales, forma la cara interna de la hélice, y la esterna el platino, que es el menos dilatable, encontrándose entre los dos el oro. Cuando aumenta la temperatura, se desarrolla la hélice de izquierda á derecha, porque la plata se dilata mas que el platino y el oro; pero si aquella baja, se verifica el efecto contrario. Se halla colocado el oro entre los otros dos metales, porque su dilatacion es un término medio entre la de la plata y la del platino; y porque, si se emplearan tan solo estos dos últimos metales, seria muy posible que su diferencia de dilatacion ocasionase una rotura. El termómetro de Bréguet se gradúa por comparacion con otro de mercurio que sirve de tipo.

252. **Termómetro de máxima y mínima de Rutherford.** — Es preciso conocer en las observaciones meteorológicas la temperatura mas alta del dia y la mas baja de la noche. Los termómetros ordinarios no sirven para el intento, á no mediar una incesante observacion, lo cual es poco menos que impracticable. Véase ahora por qué se han ideado al efecto una multitud de instrumentos, entre los cuales

es el mas sencillo el de Rutherford. Consiste en dos termómetros, de mercurio el uno A, y de alcohol el otro B, fijos en una lámina rectangular de vidrio (fig. 167), y con tubos encorvados horizontalmente. En el termómetro de mercurio se vé un pequeño cilindro de hierro A que puede resbalar libremente en el tubo. Este pequeño cilindro, que sirve de índice, se halla en contacto con la estremidad de la columna de mercurio, con tal que conserve su horizontalidad el tubo; y así es que, cuando aumenta la temperatura, se dilata el mercurio del tubo, empujando delante de él al índice. Este se para luego que cesa el mercurio de dilatarse, pero se queda en el mismo punto del tubo luego

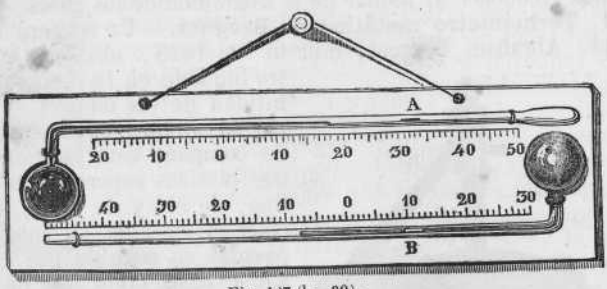


Fig. 167 (1=39).

que el mercurio se contrae, pues no hay adherencia entre este líquido y el hierro. Este punto, donde se detiene el índice, marca por lo tanto la mas elevada temperatura que se ha producido. En el grabado señala el índice cerca de 31 grados.

El termómetro inferior es de mínima, y el líquido que contiene es alcohol, en el cual se halla enteramente introducido un cilindrito de esmalte B, que sirve de índice. Si desciende la temperatura, estando el cilindro en el remate de la columna líquida, le arrastra esta consigo al contraerse por un efecto de adhesion, y el índice avanza así hasta el punto en que tiene lugar el máximum de contraccion del líquido. Si aumenta la temperatura, se dilata el alcohol, pasa entre la pared del tubo y el índice sin que este se mueva. De consiguiente, la estremidad del índice opuesta al depósito marca la mas baja temperatura que sufrió el instrumento.

* 253. **Termómetro de máxima de Negretti y Zambra.**—El termómetro de máxima de Rutherford ha sido modificado recientemente con feliz acierto por MM. Negretti y Zambra. En efecto, ofrece aquel aparato el inconveniente de no ser portátil y de exigir grandes precauciones en su manejo, porque, si se le vuelve demasiado bruscamente, se introduce el índice de hierro en el mercurio, en cuyo caso, al dilatarse este líquido, no le lleva ya delante de sí, sino que pasa por el intervalo que media entre el vidrio y el índice. Queda este, pues, completamente inmóvil, dejando por lo mismo de funcionar el termómetro.

Obviaron este inconveniente los señores Negretti y Zambra, intro-

duciendo en el tubo del termómetro un pequeño índice de vidrio *ad* (fig. 168). En seguida calientan el tubo á la lámpara, y le encorvan en el punto mismo que ocupa el índice, de suerte que quede fijo sin obstruir por eso al tubo ni oponerse á la dilatacion del mercurio del depósito.

Dispuesto horizontalmente el termómetro, si aumenta la temperatura, se dilata el mercurio, pasa por entre el índice y las paredes del tubo, y avanza, por ejemplo, hasta *c*; pero cuando desciende la temperatura y se contrae el mercurio, supera la resistencia que encuentra este, para pasar de nuevo entre el índice y el tubo, á la cohesion de las

Fig. 168.

moléculas del líquido entre sí, no se mueve la columna *cd*, y se hace el vacío de *b* á *a*. Se tiene, pues, exactamente en *c* la temperatura máxima que ha sufrido el instrumento. Para que pase luego el mercurio á la parte inferior del índice, basta poner vertical el tubo, pues así cae aquel en virtud de su propio peso.

Este instrumentito, que construyen los señores Lerebours y Secretan, es muy portátil y de uso mucho mas espedito que el de Rutherford.

En cuanto al error que puede resultar del enfriamiento de la columna de mercurio *cd*, al momento de consultar el termómetro, es completamente despreciable, porque, aplicando las fórmulas de dilatacion (259 y 264), se verá que, para un enfriamiento de 25 grados, este error no puede esceder de una décima de grado.

254. **Termómetro de máxima de M. Valferdin.** — El termómetro de máxima de M. Walferdin es de *version*, y tiene la misma forma que el ordinario de mercurio, sin mas diferencia que el terminar en su parte superior en un pequeño reservatorio ó *panza*, en la cual penetra el tubo que termina una punta afilada y abierta (fig. 169). En dicha panza se encuentra mercurio que llena completamente el instrumento á cada observacion. Caliéntase al efecto el depósito inferior hasta que, dilatándose el mercurio, principia á salir por la punta afilada en que remata el tubo. Invirtiendo entonces el instrumento, baja el mercurio de la panza hácia la punta, la cual queda en él completamente sumergida. Conservando el instrumento en esta posicion invertida, se le deja que se enfrie lentamente, para que, al contraerse el mercurio del depósito, pase cierta cantidad, por un efecto de co-

hesion, de la panza al tubo, y se encuentre este completamente lleno.

Antes de hacer uso de este instrumento, se le llena á una temperatura inferior á la que va á observarse, colocándole en seguida en el sitio cuyo máximum de temperatura se desea conocer. Si principia por enfriarse el termómetro, no resulta inconveniente alguno, porque ni entra ni sale mercurio; pero si aumenta la temperatura, se dilata el mercurio y se sale parte á la panza, sin poder salir de ella, porque entonces tiene el aparato la posicion que representa la figura 169. Para determinar en seguida la mas alta temperatura á que llegó el instrumento, basta compararle con un termómetro tipo, calentándolos ambos gradualmente hasta que el mercurio en el termómetro de version ascienda hasta el vértice del tubo y se halle á punto de salir. Consultando entonces el termómetro tipo, la temperatura que indica es la mas alta que esperimentó el de máxima.

Fig 169 (a=26).

Tambien construyó M. Walferdin un termómetro de mínima, de version igualmente, pero con dos líquidos, y de uso menos fácil que el anterior. Utilízanse sobre todo estos termómetros en la investigacion de las temperaturas mas altas ó mas bajas de los fondos de los lagos, de los mares ó de los pozos. Sin embargo, hay que encerrarlos en tal caso en un tubo de vidrio, que se suelda en seguida á la lámpara, á fin de sustraerlos de la presion esterior que disminuiria el volúmen del depósito, provocando la salida de un esceso de mercurio.

255. **Pirómetro de Vedgwood.**—Reciben el nombre de *pirómetros* los instrumentos que han de medir las altas temperaturas, por ser inútil el termómetro de mercurio, á causa de que se evaporaria este, fundiéndose además el vidrio. Carecemos de buenos pirómetros, pues los construidos hasta ahora distan mucho de dar la exacta medida de las temperaturas.

Wedgwood, fabricante de loza en Inglaterra, adoptó un pirómetro fundado en la diminucion de volúmen que esperimenta la arcilla por efecto del calor. Consta este instrumento de una plancha de cobre, en la cual se fijan otras tres del mismo metal (fig. 170), cada una de las cuales tiene medio pié inglés de longitud. Las dos primeras, que en su mayor abertura distan 6 líneas, convergen de una línea desde la una á la otra estremidad; y la segunda y tercera, cuya separacion mayor es continuacion de la de aquellas, convergen tambien de una línea. De suerte que la longitud total de la *canal* vale un pié, y dos líneas la convergencia de uno á otro estremo.

Cada pulgada de la canal está dividida en 20 grados, es decir, que la longitud comprende 240 grados. En el uso de este instrumento se echa mano de cilindritos de arcilla secados en una estufa á 100 grados, y de un diámetro tal, que á la temperatura ordinaria entran en la

canal exactamente hasta el cero de la escala. Si se da á estos cilindros una temperatura muy alta, como la de un horno, por ejemplo, sufren los cilindros una diminucion de volúmen, nacida de un principio de vitrificacion; y así es que, cuando se enfrian y se les introduce en la canal, pasan mas allá del cero, y el punto donde se detienen indica en grados del pirómetro la temperatura del horno. En nuestro grabado marca 32 grados el cilindro.

Wedgwood evaluó aproximadamente, admitiendo que el cero de su pirómetro corresponde ya á 500 grados centígrados, que cada grado

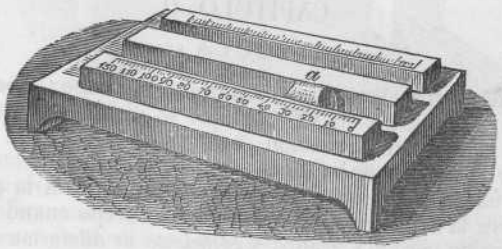


Fig. 170 (1=21).

de su instrumento equivale á 72 de estos últimos. Es decir, que para convertir en grados centígrados una temperatura dada en grados del pirómetro, es preciso multiplicar estos por 72 y añadir 500 al producto. Pero además de que no son precisas estas evaluaciones, por cuanto los cilindros no estan formados de arcilla idéntica, no es igual su retraccion, y por lo tanto, no son comparables sus indicaciones.

256. **Pirómetro de Brongniart.** — Brongniart habia mandado construir, para los hornos de la fábrica de Sévres, un pirómetro muy parecido al aparato que representa la fig. 157. Consiste en una barra de hierro ó de platino situada en una ranura hecha en una placa de porcelana. Por uno de sus estremos se apoya la barra en el fondo de la ranura, y por el otro se halla en contacto con una varilla de porcelana que sale fuera del horno en que está colocado el aparato. Por último, se apoya esta varilla en la rama menor de una aguja, cuyo brazo mas largo recorre un arco de círculo graduado; de suerte que, á medida que se alarga por la elevacion de temperatura la barra metálica que se encuentra en el horno, empuja á la varilla de porcelana, la cual hace andar la aguja. Este pirómetro, que ya en vida del autor habia sido abandonado en Sévres, no determina con precision las temperaturas, sin embargo de que es mas exacto que el de Wedgwood.

* 257. **Termometrógrafo.** — Los termómetros no dan á conocer, en cada observacion, mas que las temperaturas estremas, sin dejar indicio alguno da las intermedias. El termómetro de hélice de Bréguet (fig. 166) ha sido modificado por M. Bréguet, sobrino, con objeto de que indique de hora en hora las temperaturas. Al efecto, sostiene la

aguja un pequeño estilete lleno de tinta, observándose debajo una lámina móvil con 24 arcos iguales y equidistantes, llevando la misma graduacion centígrada que el cuadrante del termómetro. A cada hora, un aparato de relojería hace avanzar la lámina una cantidad igual al intervalo de dos arcos, y al mismo tiempo da un golpecito sobre el estilete de la aguja, la cual marca un punto negro sobre el arco. El número del arco indica la hora, y la posicion del punto negro da la correspondiente temperatura.

CAPITULO II.

DILATACION DE LOS SOLIDOS.

258. **Dilatacion lineal y dilatacion cúbica; coeficiente de dilatacion.** — Hemos visto ya (236) que se distinguen en los cuerpos sólidos dos especies de dilatacion, á saber: la *lineal* ó de una sola dimension, y la *cúbica* ó en volúmen.

Dáse el nombre de *coeficiente de dilatacion lineal* á la prolongacion que adquiere la unidad de longitud de un cuerpo cuando aumenta su temperatura de cero á 1 grado; y *coeficiente de dilatacion cúbica* al aumento que toma, en el mismo caso, la unidad de volúmen.

Varían estos coeficientes, segun los cuerpos; mas, en un mismo cuerpo, existe la relacion sencilla de ser el *coeficiente de dilatacion cúbica triple del de la lineal*. Podemos, pues, multiplicando ó dividiendo por 3, encontrar uno de estos coeficientes, una vez conocido el otro.

Para demostrar que el coeficiente de dilatacion cúbica es tres veces mayor que el de dilatacion lineal, supongamos un cubo cuyo lado valga 1 á cero grados. Si se representa por k la prolongacion que adquiere este lado pasando de cero á 1 grado, su longitud será entonces $1+k$, y el volúmen del cubo que era 1 á cero, será actualmente $(1+k)^3$, es decir, $1+3k+3k^2+k^3$. Como la prolongacion k es siempre una fraccion muy pequeña (página 196, tabla), su cuadrado k^2 y su cubo k^3 son fracciones harto pequeñas para que influyan en la última decimal de los números que representan los coeficientes de dilatacion cúbica. Podemos, pues, despreciar las cantidades k^2 y k^3, en cuyo caso el volúmen á 1 grado viene á ser muy aproximadamente $1+3k$. El aumento de volúmen es de consiguiente $3k$, esto es el triple del coeficiente de dilatacion lineal.

259. **Medida de los coeficientes de dilatacion lineal.** — Lavoisier y Laplace determinaron los coeficientes de dilatacion lineal de los metales por medio del aparato representado en la fig. 171. Consta de una cuba de cobre colocada en un hornillo entre cuatro prismas de piedra. Los dos de la derecha sostienen un eje horizontal, en cuya estremidad hay un anteojo, y en el centro una regla de vidrio que gira con él, lo mismo que el anteojo. En los otros dos prismas se hallan afianzados dos travesaños de hierro que sostienen una segunda regla de vidrio. Y por fin, contiene la cuba agua ó aceite, en la cual se mete la barra cuyo coeficiente de dilatacion se trata de medir.

La fig. 172 representa un corte del aparato; G es el anteojo, KH la barra, cuyas dos estremidades se apoyan en las dos reglas de vidrio F y D. Como está fija la regla F, no puede alargarse la barra sino en la direccion KH, y á fin de que goce de entera libertad en sus movimientos, descansa sobre dos cilindros de cristal.

Medida la barra KH con cuidado á cero, y colocada conforme indica el grabado en contacto con las dos reglas, estando horizontal el anteojo, se mira á qué division corresponde en una escala vertical AB, puesta á gran distancia. Se reemplaza la barra KH por otra mas

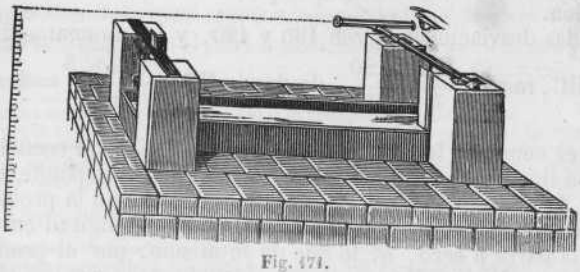


Fig. 171.

larga, por ejemplo, 3 milímetros mayor. La regla D, al tomar la posicion GC, imprime al eje del anteojo un movimiento de rotacion, y hace tomar á este una direccion oblícua GB. Mirando entonces por el anteojo, se lee en la escala una desviacion AB, que supondrémos igual á 180 divisiones. Obtenido este resultado, se retira la segunda barra, para colocar de nuevo la primera, y se calienta el horno, despues de haber llenado la cubeta de aceite, porque es susceptible este líquido

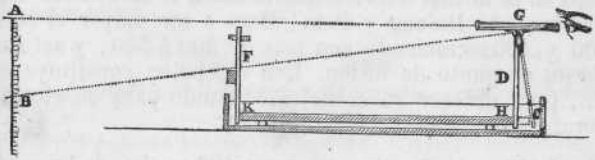


Fig. 172.

de adquirir una temperatura mucho mas elevada que la del agua. A medida que se calienta, se alarga la barra, inclinándose de nuevo el anteojo. Mídese entonces el número de divisiones que indica la escala, 120, por ejemplo; y al mismo tiempo se observa la temperatura del baño por medio de un termómetro.

Fácil es calcular con estos datos la prolongacion de la barra. Hay que observar, al efecto, que es proporcional dicha prolongacion al número de divisiones que en la escala indica el anteojo. En efecto, los dos triángulos GHC y GAB son semejantes, por tener respectivamente perpendiculares sus lados; de manera que se tiene la igualdad $\frac{HC}{AB} = \frac{HG}{AG}$ [1]; pero si llamamos HC′ á otra prolongacion, y AB′ la desviacion correspondiente, se tendrá tambien $\frac{HC'}{AB'} = \frac{HG}{AG}$ [2]. De las

igualdades [1] y [2], resulta $\frac{HC}{AB}=\frac{HC'}{AB'}$; igualdad que puede tambien escribirse así $\frac{HC}{HC'}=\frac{AB}{AB'}$, con lo cual queda demostrado el principio en cuestion.

Como las desviaciones fueron 180 y 120, y los aumentos de longitud 3 y HC, resulta $\frac{HC}{3}=\frac{120}{180}$, de donde $HC=\frac{120\times3}{180}=2$ milímetros (1).

Una vez conocida la prolongacion HC, se obtiene el coeficiente de dilatacion lineal, es decir, la prolongacion que corresponde á un solo grado y á una sola unidad de longitud, dividiendo la prolongacion obtenida, por la temperatura del baño y por la longitud en milímetros de la barra á cero, ó, lo que da lo mismo, por el producto de estas dos cantidades. Por ejemplo, si suponemos que en el esperimento anterior sea 893 milímetros la longitud de la barra á cero, y 80 grados la temperatura del baño, es preciso dividir 2 por el producto de 893 por 80, obteniéndose así 0,000028 para el coeficiente buscado.

La esperiencia demuestra que el coeficiente de dilatacion lineal de los metales es sensiblemente constante entre cero y 100 grados; es decir, que para un mismo número de grados aumenta constantemente la longitud en la misma fraccion que lo hacia á cero. Pero segun las investigaciones de Dulong y Petit, llega á ser mayor el coeficiente entre 100 y 200, creciendo aun mas de 200 á 300, y así sucesivamente hasta el punto de fusion. Una escepcion constituye el acero templado, pues decrece su coeficiente cuando pasa de cierto límite su temperatura.

Coeficientes de dilatacion lineal, entre cero y 100 grados, de los cuerpos que mas se usan en las artes.

Vidrio.	0,000008613	Cobre.	0,000017182
Platino.	0,000008842	Bronce.	0,000018167
Acero no templado. . . .	0,000010788	Laton.	0,000018782
Fundicion.	0,000011250	Plata copelada.	0,000019097
Hierro dulce forjado. . .	0,000012204	Estaño.	0,000021730
Acero templado	0,000012395	Plomo.	0,000028575
Oro refinado.	0,000014660	Zinc.	0,000029417

260. **Fórmulas relativas á las dilataciones de los sólidos.** — Sean l la longitud de un cuerpo á cero, l' su longitud á la temperatura t, y k su coeficiente de dilatacion lineal. La relacion entre estas diversas cantidades se espresa por las fórmulas siguientes:

La prolongacion que corresponde á t grados es t veces k ó kt, para una sola unidad de longitud, y por lo tanto, l veces kt, ó ktl para l unidades. La longitud de la barra, que era l á cero, es, pues, $l+ktl$ á t grados, de donde

$$l'=l+ktl \quad [1].$$

(1) O mas sencillamente; siendo semejantes los triángulos GHC y GAB, puesto que 3 milímetros nos han indicado una desviacion de 180, uno nos marcaria 60; y puesto que la dilatacion ha dado 120 de indicacion, su dilatacion es $\frac{120}{60}=2$ milímetros. *(N. de J. P.)*

Poniendo l por factor comun en el segundo miembro, se trasforma dicha fórmula en $l' = l(1 + kt)$ [2].

La fórmula [2] sirve para encontrar la longitud l' á t^o, cuando se conoce la longitud l á cero. Dividiendo los dos miembros por $(1 + kt)$, se deduce

$$l = \frac{l'}{1 + kt} \text{ [3].}$$

Esta última fórmula sirve para encontrar la longitud á cero, cuando se conoce la longitud l' á t.

Por fin, si en la igualdad [1] se pasa t al primer miembro, y se divide este y el segundo por tl, resulta $k = \frac{l' - l}{tl}$ [4].

Esta última ecuacion sirve para calcular el coeficiente de dilatacion k.

Si, en vez de considerar las dilataciones lineales, se toman en cuenta las cúbicas, resultan fórmulas análogas á las que preceden. Sean, al efecto, V el volúmen de un cuerpo á cero, V' su volúmen á t^o, y D su coeficiente de dilatacion cúbica, el cual, segun sabemos, (258) es tres veces mayor que k; y, haciendo el mismo razonamiento que antes, se encontrará $V' = V(1 + Dt)$ [5], y $V = \frac{V'}{1 + Dt}$ [6], fórmulas que sirven para pasar del volúmen á cero al volúmen á t^o, y reciprocamente.

261. **Problemas sobre las dilataciones.** — I. Una barra de hierro tiene 2m,6 de longitud á cero, ¿cuál será á 80 grados, en el supuesto de que el coeficiente de dilatacion del hierro vale 0,0000122?

Este problema se resuelve por la fórmula [2], haciendo en ella

$$l = 2\text{m},6, \quad t = 80; \quad k = 0{,}0000122$$

Asi se obtiene

$$l' = 2\text{m},6\,(1 + 0{,}0000122 \times 80) = 2\text{m},6 \times 1{,}000976 = 2\text{m},6025.$$

Es decir, que la longitud buscada es 2m,6025, la cual da dos milímetros y medio de prolongacion.

II. A 90 grados tiene una barra de cobre 3m,4 de longitud, ¿cuánto tendrá á cero, siendo 0,0000172 el coeficiente de dilatacion del cobre?

Tiene que recurrirse aqui á la fórmula [3], haciendo en ella $l' = 3\text{m},4$, $t = 90$, $k = 0{,}0000172$; de todo lo cual se deduce

$$l = \frac{3{,}4}{1 + 0{,}0000172 \times 90} = \frac{3{,}4}{1{,}001548} = 3\text{m},395.$$

III. Una barra metálica tiene una longitud l á t grados, ¿cuál será la longitud L á t' grados?

Se resuelve este problema buscando la longitud de la barra á cero, la cual es $\frac{l'}{1 + kt}$, segun la fórmula [3]; luego de la longitud á cero se pasa á la longitud á t' por medio de la fórmula [2], es decir, multiplicando por $1 + kt'$, obteniéndose así al fin la longitud buscada $L = \frac{l(1 + kt')}{1 + kt}$.

IV. Siendo d la densidad de un cuerpo á cero, calcúlese su densidad d' á t grados.

Si se representa por 1 el volúmen del cuerpo á cero, y por D su coeficiente de dilatacion cúbica, el volúmen á t será $1 + Dt$; y como la densidad de un cuerpo se halla evidentemente en razon inversa del volúmen que adquiere el cuerpo al dilatarse, se tiene la proporcion inversa

$$\frac{d'}{d} = \frac{1}{1 + Dt}, \text{ de donde } d' = \frac{d}{1 + Dt}.$$

262. **Aplicaciones de la dilatacion de los sólidos.** — Numerosísimas son las aplicaciones que en las artes ofrece la dilatacion de los sólidos. Las rejillas de los hornos, por ejemplo, no deben estar aplicadas con demasiada exactitud por sus estremidades, sino libres á lo menos por una de ellas, pues, de lo contrario, separan, al dilatarse, las piedras del horno. Si en los caminos de hierro se tocasen los rails, los encorvaria de trecho en trecho la fuerza de dilatacion, ó bien romperia sus cojinetes. Cuando se calienta ó se enfria de un modo

demasiado brusco un vaso de vidrio, estalla con la mayor facilidad; porque, como el vidrio es mal conductor del calórico, se calientan muy desigualmente sus paredes, y por lo tanto es tambien desigual la dilatacion, determinando así su rotura.

263. Péndulo compensador. — La desigual dilatacion de los metales ha recibido una importantísima aplicacion en el *péndulo compensador*. Tal es el nombre que se da á un péndulo en el cual la prolongacion de la varilla, cuando aumenta la temperatura, está compensada de manera que permanezca constante la distancia entre el centro de suspension y el de oscilacion (60), circunstancia que es necesaria, segun las leyes del péndulo (59, 3.°), á fin de que persista el isocronismo, y pueda servir de regulador el péndulo en los relojes (62). Muchísimos son los sistemas que se han propuesto para compensar los péndulos, pero el de uso mas general es el que va representado en la figura 173.

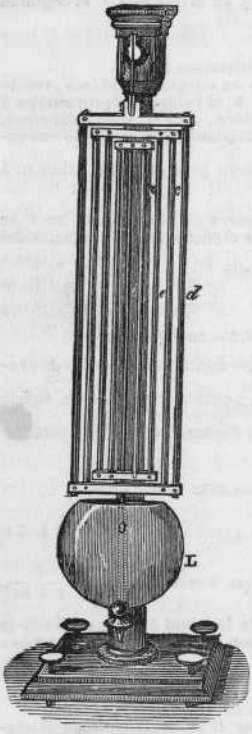


Fig. 173.

En este sistema, la lenteja L no se halla sostenida por una sola varilla, sino por una série de marcos cuyos lados verticales son alternativamente de acero y de laton. En el dibujo están figuradas con color negro las varillas de acero en número de seis, inclusa una lámina de acero *b*, que sostiene todo el péndulo y que se encorva á cada oscilacion. Las demás, que solo llegan á 4, son de laton. La varilla *i*, que sostiene á la lenteja L, se fija por su parte superior á un travesaño horizontal, mas por la inferior está libre, pasando por dos agujeros cilíndricos que se encuentran en los travesaños horizontales inferiores.

Ahora bien, fácil es ver, por el modo como las varillas verticales, se hallan enlazadas entre sí por los travesaños horizontales, que no puede efectuarse mas que de arriba abajo la prolongacion de las varillas de acero. De consiguiente, para que permanezca invariable la longitud del péndulo, basta que la prolongacion de las varillas de cobre levante constantemente la lenteja una cantidad idéntica á la que tiende á hacerla bajar las de acero; resultado que se obtiene dando á todas las varillas longitudes que estén en razon inversa de los coeficientes de dilatacion de los respectivos metales.

Fácil es determinar, por medio del cálculo, la longitud de cada sistema de varillas de acero y de cobre, á fin de obtener la debida compensacion. En efecto, sean a, a', a'', a''' las longitudes respectivas de las varillas de acero b, d, e, i, que son las únicas que evidentemente debemos tomar en consideracion : sean al mismo tiempo c, c' las longitudes de las de co-

bre c, n; y L la longitud del péndulo, es decir, la distancia SO del punto de suspension al centro de oscilacion, se tiene $L=(a+a'+a''+a''')-(c+c')$ [1].

Mas, si representamos por K y K' los coeficientes de dilatacion del acero y del cobre, debe resultar $(a+a'+a''+a''')\,K=(c+c')\,K'$ [2]. Reemplazando en esta última igualdad la cantidad $(a+a'+a''+a''')$ por su valor tomado de la igualdad [1], resulta $(L+c+c')\,K=(c+c')\,K'$, de donde se obtiene $c+c'=\dfrac{L}{\dfrac{K'}{K}-1}$.

Para el laton y el acero, la razon $\dfrac{K'}{K}$ viene á ser sensiblemente igual á $\dfrac{7}{4}$, de manera que así se obtiene $c+c'=\dfrac{4}{3}L$, y $a+a'+a''+a'''=\dfrac{7}{3}L$.

Como de ordinario no suelen batir mas que segundos los péndulos de los relojes, resulta en París (60), $L=0m,993866$; de donde $c+c'=1m,325155$, y $a+a'+a''+a'''=2m,349021$.

El cálculo demuestra que seria imposible la compensacion, si se emplearan menos varillas de acero y de cobre que las que antes indicamos [1].

Se consigue tambien compensar la prolongacion de la varilla de los péndulos por medio de *láminas compensatrices*. Tal es el nombre que se da á dos láminas de cobre y de hierro soldadas entre sí, y dispuestas en el eje del péndulo (fig. 174) de manera que la de cobre, que es la mas dilatable, se encuentre debajo de la de hierro. Esto

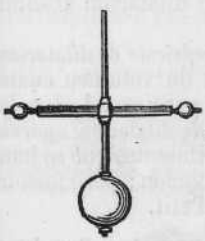


Fig. 174.

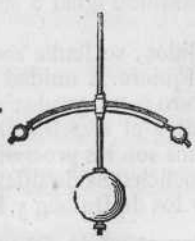


Fig. 175.

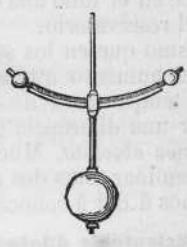


Fig. 176.

supuesto, si baja la temperatura, se acorta la varilla del péndulo y sube la lenteja; pero entonces se encorvan las láminas compensadoras, conforme indica la figura 175, por cuanto se contrae el cobre mas que el hierro. De esta suerte bajan dos esferas metálicas, situadas en la estremidad de las láminas, y si su masa es conveniente, se establece una compensacion entre los puntos que se aproximan al centro de suspension y los que se alejan del mismo, con lo cual se consigue que no varíe el centro de oscilacion. Si sube la temperatura, desciende la lenteja, pero suben las esferas (fig. 176) y hay tambien compensacion.

---

[1] A no ser que la lenteja quedase hácia el interior de los marcos ó bastidores.
(N. de J. P.)

CAPITULO III.

DILATACION DE LOS LIQUIDOS.

264. **Dilatacion aparente y dilatacion absoluta.** — En los líquidos no se consideran mas que dilataciones cúbicas, que se las distingue en absolutas y aparentes. La *dilatacion aparente* es el aumento de volúmen que adquiere un líquido encerrado en una vasija que se dilata menos que él. Tal es en los termómetros la dilatacion del mercurio y la del alcohol. La *dilatacion absoluta* es el aumento real que adquiere el volúmen de un líquido, prescindiendo de la dilatacion de la vasija.

La dilatacion aparente es menor que la absoluta en una cantidad igual á la dilatacion de la vasija. Se hace sensible esta última, introduciendo en agua hirviendo un termómetro de gran reservatorio, lleno de alcohol colorado, hasta la mitad del tubo. En el momento en que entra el reservatorio en el agua caliente, baja el alcohol en el tubo, lo cual proviene sin duda alguna de la dilatacion de las paredes del reservatorio; pero si este continúa sumergido, se calienta el alcohol y sube en el tubo una cantidad igual á su dilatacion absoluta, menos la del reservatorio.

Lo mismo que en los sólidos, se llama *coeficiente de dilatacion* de un líquido el aumento que adquiere la unidad de volúmen cuando aumenta la temperatura de cero á un grado; pero en tal caso hay que establecer una diferencia entre el *coeficiente de dilatacion aparente* y el de *dilatacion absoluta*. Muchos son los procedimientos que se han usado para determinar estos dos coeficientes de dilatacion; pero nosotros nos limitarémos á dar á conocer los de Dulong y Petit.

265. **Coeficiente de dilatacion absoluta del mercurio.** — Para determinar el coeficiente de dilatacion absoluta del mercurio, era preciso evitar la influencia de la dila-

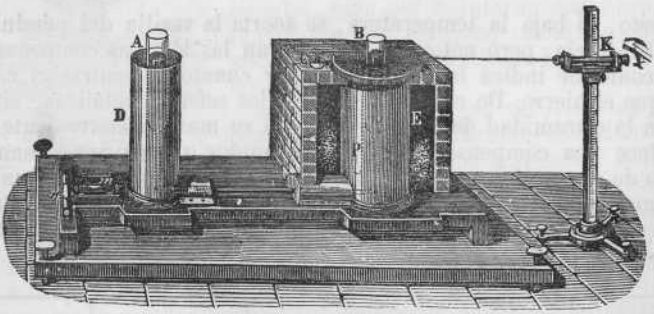


Fig. 177.

tacion del reservatorio, que es lo que han conseguido Dulong y Petit, apoyándose en aquel principio de hidrostática que dice, que en dos vasijas comunicantes, las alturas de los dos líquidos se hallan en razon inversa de sus densidades (90), principio que es independiente del diámetro de las vasijas, y por lo tanto de su dilatacion

Componiase el aparato de estos físicos, de dos tubos de vidrio A y B (fig. 177), man-

tenidos verticalmente por un pie de hierro, y reunidos por medio de un tubo capilar. Hallábase envuelto cada uno de los dos tubos por un cilindro hueco de metal, el menor de los cuales D estaba lleno de hielo machacado, y el otro E de aceite que se iba calentando gradualmente por medio de una hornilla pequeña, que el grabado representa abierta con objeto de que se vea el cilindro. Por último, los dos tubos A y B se encontraban llenos de mercurio, que se ponia al nivel cuando estaban á igual temperatura los tubos, si bien subia en el tubo B á medida que iba calentándose.

Sean ahora a y d la altura y la densidad del mercurio en la rama A, á la temperatura de cero, y a' y d' las mismas cantidades para la rama B, á la temperatura t; en virtud del principio de hidrostática que antes hemos recordado, se obtiene $a'd'=ad$. Por otra parte sabemos que $d'=\frac{d}{1+Dt}$ (261, prob. 4), siendo D el coeficiente de dilatacion absoluta del mercurio; y reemplazando d' por su valor en la igualdad anterior, resulta $\frac{a'd}{1+Dt}=ad$, de donde se deduce $D=\frac{a'-a}{at}$.

Esta última fórmula da el coeficiente de dilatacion absoluta del mercurio, despues de medidas las alturas a y a' de este liquido en ambos tubos, y de conocida la temperatura t del baño en que se introduce el tubo B. En el esperimento de Dulong y Petit media esta temperatura un termómetro de peso P (277), cuyo mercurio se vertia en una cápsula C; y un catetómetro K (69) daba las alturas a y a'.

Valiéndose de este procedimiento encontraron Dulong y Petit que el coeficiente de dilatacion absoluta del mercurio entre cero y 100 grados, es $\frac{1}{5550}$, y observaron además que crece con la temperatura. Entre 100 y 200 grados, el coeficiente medio es $\frac{1}{5425}$; y entre 200 y 300, es igual á $\frac{1}{5300}$. Igual fenómeno se observa en los demás liquidos, lo cual quiere decir que no se dilatan con regularidad estos cuerpos. Se ha comprobado que su dilatacion es tanto mas irregular, cuanto mas se acercan á la temperatura de congelacion ó de ebullicion. Por lo que hace al mercurio, se cercioraron Dulong y Petit de que desde —36 á 100 grados era muy sensiblemente regular su dilatacion.

266. **Coeficiente de dilatacion aparente del mercurio.**—El coeficiente de dilatacion aparente de un liquido varia con la naturaleza del receptáculo. El del mercu-

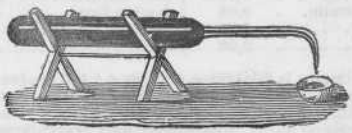


Fig. 178 (1=20).

rio, en el vidrio, ha sido determinado por Dulong y Petit por medio del aparato representado en la fig. 178. Se compone de un reservatorio cilindrico de vidrio, en el cual se suelda un tubo capilar encorvado en ángulo recto y abierto por su estremidad.

Para hacer el esperimento, se pesa vacio el instrumento, y despues lleno de mercurio á cero, de suerte que la diferencia entre las dos pesadas da el peso P del mercurio contenido en el aparato. Comunicándole en seguida una temperatura conocida t, se dilata el mercurio, vertiéndose cierta cantidad de este liquido, que se recoge en una capsulita y se pesa. Si representamos por p el peso del mercurio vertido, claro está que el del que queda en el aparato es $P-p$.

Llamemos ahora v' el volúmen, á cero del mercurio cuyo peso es P, y v el volúmen, tambien á cero, del mercurio que queda en el aparato, y cuyo peso es $P-p$. Tomados á igual temperatura estos dos pesos, son proporcionales á sus volúmenes, es decir, que se tiene la igualdad $\frac{P-p}{P}=\frac{v}{v'}$. Precisamente v' es el volúmen que adquiriria, en el vidrio, el volúmen de mercurio v que no sale del aparato, si se le calentase de cero á t grados. Representando por d el coeficiente de dilatacion *aparente* del mercurio, se puede formular $\frac{v}{v'}=\frac{1}{1+dt}$; siendo dt el aumento aparente que tomaria la unidad de volúmen de mercurio

al pasar de cero á t grados. Como las dos igualdades anteriores tienen comun el miembro $\frac{v}{v'}$, se deduce de ellas $\frac{P-p}{P}=\frac{1}{1+dt}$.

De esta última igualdad resulta $d=\frac{p}{(P-p)t}$.

Dulong y Petit encontraron así que el coeficiente de dilatacion aparente del mercurio en el vidrio es $\frac{1}{6480}$.

267. **Termómetro de peso.**—El aparato representado en la fig. 178 ha recibido el nombre de *termómetro de peso*, porque del peso del mercurio que ha salido se puede deducir la temperatura á que llegó el instrumento. En efecto, habiéndonos conducido el esperimento, poco há mencionado, á la fórmula $\frac{p}{(P-p)t}=\frac{1}{6480}$, se encuentra, haciendo desaparecer los denominadores, $p\times 6480=(P-p)t$, de donde $t=\frac{p\times 6480}{(P-p)}$; de cuya fórmula se deduce t, una vez conocidas P y p.

268. **Coeficiente de dilatacion del vidrio.**—Como la dilatacion absoluta de un líquido es igual á la aparente, mas la dilatacion del receptáculo, se ha obtenido el coeficiente de dilatacion cúbica del vidrio, tomando la diferencia entre el coeficiente de la dilatacion absoluta del mercurio y el del aparente del mismo; es decir, que el coeficiente de dilatacion cúbica del vidrio es igual á $\frac{1}{5550}-\frac{1}{6480}=\frac{1}{38700}=0{,}00002584$.

M. Regnault ha comprobado que el coeficiente de dilatacion varia con las diferentes especies de vidrio, y además, segun la forma de los receptáculos. Este sábio encontró que el coeficiente del vidrio ordinario de los tubos de química es 0,0000254.

269. **Coeficiente de dilatacion de los diversos líquidos.**—El coeficiente de dilatacion aparente de todos los líquidos se puede determinar por el procedimiento del termómetro de peso (266); y si se desea luego determinar el coeficiente de dilatacion absoluta, se añade á aquel el coeficiente de dilatacion del vidrio, segun se deduce bien claramente de la relacion que media entre estos tres coeficientes (266).

Dilatacion aparente de algunos líquidos, desde cero á 100 grados.

Mercurio..	0,01543	Esencia de trementina..	0,07
Agua destilada.	0,0466	Eter sulfúrico..	0,07
Agua saturada de sal comun. .	0,05	Aceites fijos..	0,08
Acido sulfúrico.	0,06	Alcohol.	0,11
Acido clorhídrico..	0,06	Acido nítrico.	0,11

Representando estos números la dilatacion total de 0 á 100 grados, seria necesario dividirlos por 100 para obtener la dilatacion para un solo grado, ó el coeficiente de dilatacion; pero los resultados así obtenidos no representarian mas que el coeficiente de dilatacion media de los líquidos, porque estos, dilatándose muy irregularmente, su coeficiente va siempre creciendo, á contar desde cero; el mercurio está esceptuado, pues su dilatacion es muy sensiblemente regular desde 0 á 100 grados, y tambien el agua, que se contrae al principio y se dilata en seguida, segun luego verémos (271).

270. **Correccion de la altura barométrica.**—Se ha indicado ya en el artículo *Barómetro* (156), que si se quiere que las indicaciones de este instrumento sean comparables entre sí en diversos lugares y en diferentes estaciones, es preciso reducir siempre la columna de mercurio á una temperatura constante, que es la del hielo fundente. Esta correccion se hace por medio del cálculo que sigue.

Sean A la altura del barómetro á t grados, y a á cero. Si representamos por d la densidad del mercurio á cero, y por d' la misma á t grados, sabemos (150) que las alturas A y a se hallan en razon inversa de las densidades d y d', es decir, que se tiene $\frac{A}{a}=\frac{d}{d'}$ [1]. Mas si suponemos que vale 1 el volúmen del mercurio á cero, el que tenga á t grados valdrá $1+Dt$, siendo D el coeficiente de dilatacion absoluta del mercurio. Hemos visto ya (261, prob. IV) que la relacion de los volúmenes $1+Dt$ y 1 es igual á la relacion inversa de las densidades d y d', es decir, que se tiene $\frac{d}{d'}=\frac{1+Dt}{1}$ [2]. De las igualdades [1] y [2] resulta $\frac{A}{a}=\frac{1+Dt}{1}$, de donde $A=a+aDt$, ó reemplazando D por su valor $\frac{1}{5550}$, se tiene, $A=a+$

$$\frac{at}{5550};\ \text{ó}\ A=a\left(1+\frac{t}{5550}\right)=a\left(\frac{5550+t}{5550}\right);\ \text{y de aquí}\ a=\frac{5550\times A}{5550+t}.$$

En este cálculo se debe tomar el coeficiente de dilatacion absoluta del mercurio, y no el aparente, porque el valor de A es el mismo que si no se dilatase el vidrio, por ser la altura del barómetro independiente del diámetro del tubo (83), y por lo tanto, de su dilatacion.

Como aplicacion de la fórmula indicada, supongamos que siendo 25 grados la temperatura, y 0m,75 la altura del barómetro, se pide que se calcule la altura á cero.

$$\text{Se tiene}\ a=\frac{5550\times 0\text{m},75}{5550+25}=\frac{4162,1}{5575}=0\text{m},746.$$

271. **Máximum de densidad del agua.**—El agua ofrece el notable fenómeno de que, cuando baja su temperatura, solo se contrae hasta 4 grados; pues aun cuando continúe el enfriamiento, no solo cesa la contraccion, sino que el líquido aumenta de volúmen hasta el punto de la congelacion, que se verifica á cero, de suerte que á 4 grados presenta el agua el máximum de condensacion.

Muchos son los procedimientos que han servido para determinar la temperatura del máximum de densidad del agua. M. Hallstrom encontró, pesando, en el agua á diferentes temperaturas, una esfera de vidrio lastrada con arena, y teniendo en cuenta la dilatacion del vidrio, que en el agua á 4°,1, perdia mas de su peso la esfera, de lo cual habia deducido que á esta temperatura se verificaba el máximum de densidad.

Pero M. Despretz se cercioró, por numerosos esperimentos, de que dicho máximum tiene lugar á 4 grados. Sirvióse al efecto de un termómetro de agua, es decir, que contenia agua en vez de mercurio. Enfriándole gradualmente en un baño cuya temperatura daba á conocer un termómetro de mercurio, se convenció de que realmente tenia lugar á 4 grados, en el termómetro de agua, el máximum de contraccion.

CAPITULO IV.

DILATACION Y DENSIDAD DE LOS GASES.

272. **Método de Gay-Lussac; sus leyes.**—Los gases son los cuerpos mas dilatables, y al mismo tiempo, los de dilatacion mas regular. Por otra parte, tomando como coeficiente de dilatacion de los gases, de igual manera que para los sólidos y los líquidos, el aumento de la unidad de volúmen de cero á 1 grado, se halla que los coeficientes de dilatacian de los diversos gases no difieren entre sí mas que en cantidades muy pequeñas. Por último, solo puede considerarse en estos cuerpos la dilatacion cúbica.

Gay-Lussac fué el primero que midió el coeficiente de dilatacion de los gases por medio de un aparato (fig. 179), que se compone de una caja rectangular de hoja de lata, de unos 40 centímetros de longitud, y llena de agua, cuya temperatura se puede elevar mas ó menos. En medio del agua se ve un termómetro de aire formado por un reservatorio esférico A, y un tubo capilar AB. Este último se halla dividido

de antemano en partes de igual capacidad (237), y se determina cuántas partes de estas contiene el reservatorio A, lo cual se consigue pesando el aparato lleno de mercurio á cero, y calentándolo luego ligeramente para hacer salir un poco de mercurio. Una nueva pesada dará el peso del mercurio que ha salido. Enfriando hasta cero el que queda, se produce, en el tubo AB, un vacío que da á conocer el volúmen correspondiente al peso vertido. Dedúcese de él en seguida el volúmen

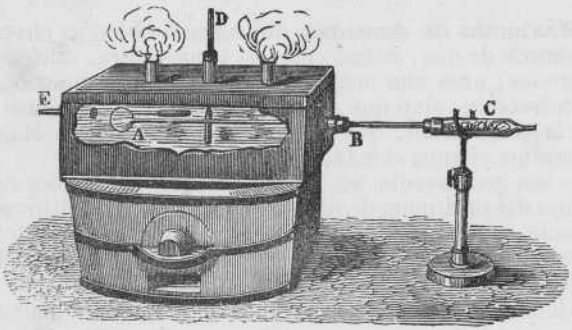


Fig. 179 (1=40).

del mercurio que no salió del aparato, y de consiguiente, el volúmen del reservatorio, mediante el mismo cálculo que ha servido ya para determinar el volúmen del piezómetro (pág. 61).

Faltaba aun llenar de aire seco la esfera y el tubo. Conseguíase esto llenándolos primero de mercurio (238), que se hacia hervir en la misma esfera para secarle, y colocando luego en la estremidad del vástago, por medio de un tapon, un tubo C lleno de sustancias secantes, como, por ejemplo, de cloruro de calcio. Introducíase entonces en el vástago AB, al través del tubo C, un alambrito de platino, con objeto de que, agitándole en el tubo, é inclinando al mismo tiempo este último, saliera gota á gota el mercurio, al dar ligeras sacudidas al aparato. Entraba, de consiguiente, el aire entonces de burbuja en burbuja, pero despues de haberse secado préviamente en el cloruro de calcio. Por fin, se tomaba siempre la precaucion de conservar en el vástago AB un pequeño índice de mercurio.

Dispuesto todo de esta suerte, se colocaba el termómetro en la caja rectangular de hoja de lata, la cual, estando primero llena de hielo fundente, determinaba la contraccion del aire, y el índice B avanzaba hácia el reservatorio A. En el punto en que se quedaba estacionario se ponia una señal, con objeto de determinar el volúmen de aire á cero, supuesto que era conocida la capacidad del reservatorio. Quitábase entonces el hielo para poner de nuevo agua ó aceite, y se daba fuego en un hornillo á la cuba, con lo cual se dilataba el aire de la caja, y corria el índice de A hácia B. Puesta otra señal en el punto en donde se estacionaba, é indicados al mismo tiempo los grados de

calor por medio de dos termómetros D y E, se conocia el volúmen del aire y su temperatura.

Si suponemos en primer lugar que no haya variado la presion atmosférica durante el esperimento, y si despreciamos la dilatacion del vidrio, que es muy pequeña, queda conocida la dilatacion total del aire en el aparato, restando del volúmen que tomó al fin del esperimento el que tenia á cero. Dividiendo entonces por la temperatura final, se obtiene la dilatacion correspondiente á 1 grado; y últimamente, dividiendo por el número de unidades contenidas en el volúmen á cero, resultará la dilatacion correspondiente á un solo grado, es decir, el coeficiente de dilatacion.

Ya se verá, en los problemas que siguen (273), de qué manera se hacen las correcciones de presion y de temperatura, cuando se desea tomar en cuenta las variaciones de presion atmosférica y la dilatacion del vidrio durante el esperimento.

Sirviéndose Gay-Lussac del aparato que acabamos de describir, habia encontrado que el coeficiente de dilatacion del aire era 0,00375; pero despues se averiguó, empleando métodos mas exactos, que era demasiado grande dicho número, y que el verdadero valor del coeficiente de dilatacion del aire estaba representado por 0,00366.

Además Gay-Lussac habia sentado, acerca de la dilatacion de los gases, las dos leyes siguientes, notables por su sencillez:

1.ª *Todos los gases tienen el mismo coeficiente de dilatacion que el aire*;

2.ª *Este coeficiente conserva el mismo valor, sea cual fuere la presion que sufran los gases.*

Pero pronto verémos (274) que no pueden admitirse de un modo riguroso estas leyes, y que solo espresan aproximadamente el fenómeno de la dilatacion de los gases.

273. **Problemas acerca de la dilatacion de los gases.**—I. El volúmen de un gas á cero, es V; ¿cuál será el que tenga á t grados, siendo α el coeficiente de dilatacion y permaneciendo constante la presion?

Sea V′ el volúmen buscado. Si repetimos ahora el mismo raciocinio que en la dilatacion lineal (260), se obtiene sin trabajo alguno $V' = V + \alpha V t$, ó $V' = V(1 + \alpha t)$ [1].

II. El volúmen de un gas es V′ á t grados; ¿cuál será su volúmen V á cero, permaneciendo invariable la presion, y siendo α el coeficiente de dilatacion?

Esta cuestion se resuelve por medio de la fórmula anterior [1], pues dividiendo sus dos miembros por $(1 + \alpha t)$, resulta

$$V = \frac{V'}{1 + \alpha t} \quad [2].$$

III. Conociendo el volúmen V′ de un gas á t grados, calcúlese su volúmen V″ á t' grados, bajo el supuesto de que no varia la presion.

Primero se reduce á cero el volúmen por medio de la fórmula [2], obteniéndose así $\frac{V'}{1 + \alpha t}$; y luego se le calcula de cero á t' grados, haciendo uso de la fórmula [1], de manera que el resultado final es

$$V'' = \frac{V'(1 + \alpha t')}{1 + \alpha t} \quad [3].$$

IV. El volúmen de un gas á t grados y á la presion A, es V′; ¿Cuál será el volúmen V de la misma masa de gas á cero, y á la presion de 0m,76?

Dos son en este problema las correcciones que deben hacerse, relativa la una á la temperatura, y la otra á la presion, si bien es indiferente comenzar por esta ó por aquella. Si se principia por la correccion de temperatura, será el volúmen á cero, en virtud de la fór-

mula [2] $\frac{V'}{1+\alpha t}$, pero todavía á la presion A. Se reduce esta á la de 0m,76, sentando, segun la ley de Mariotte (162), $V \times 0{,}76 = \frac{V'}{1+\alpha t} \times A$, de donde $V = \frac{AV'}{0{,}76(1+\alpha t)}$ [4].

Vamos á resolver, como aplicacion numérica, la cuestion siguiente: Dados 8 litros de aire á 25 grados y á la presion de 0m,74; ¿cuál será el volúmen á cero y á la presion de 0m,76?

Procediendo primero á la correccion de presion, se obtiene $\frac{x}{8} = \frac{74}{76}$; de donde $x = \frac{74 \times 8}{76} =$ 7 lit., 789.

El volúmen que así se obtiene, es á la presion de 0m,76, pero todavía á 25 grados; de manera que hay que reducirle á cero. Al efecto, sirve la fórmula [2], que da, para el volúmen buscado, $V = \frac{7{,}789}{1+0{,}00366 \times 25} = \frac{7{,}789}{1{,}0915} =$ 7 lit., 136.

Tambien se podria hacer uso directamente de la fórmula [4], reemplazando A, V', α y t por sus valores.

V. El volúmen de un globo de vidrio es V' á t grados; ¿cuál será su volúmen V á cero?

Para resolver esta cuestion, se supone que un globo de vidrio se dilata, por efecto de una determinada variacion de temperatura, una cantidad igual á la que se dilataria una masa llena de vidrio del mismo volúmen. Representando en tal caso por δ el coeficiente de dilatacion cúbica del vidrio, y por V el volúmen del globo á cero, se tendrá, como en el problema I, $V' = V + \delta V t = V(1+\delta t)$, de donde $V = \frac{V'}{1+\delta t}$.

VI. Cierto volúmen de gas á t grados pesa P'; ¿cuál será su peso á cero?

Sea P el peso que se busca, α el coeficiente de dilatacion del gas, d' su densidad á t grados, y d su densidad á cero. Como los pesos son proporcionales á las densidades, se obtiene la igualdad $\frac{P'}{P} = \frac{d'}{d}$. Si se representa por 1 un cierto volúmen de gas dado á cero, el que tenga á t grados será $1+\alpha t$; y estando las densidades en razon inversa de los volúmenes (41), resulta $\frac{d'}{d} = \frac{1}{1+\alpha t}$. Como estas dos igualdades tienen un miembro comun, se deduce de ellas $\frac{P'}{P} = \frac{1}{1+\alpha t}$, de donde $P = P'(1+\alpha t)$.

De esta última igualdad resulta tambien $P' = \frac{P}{1+\alpha t}$, que es la fórmula que da el peso á t grados cuando se conoce el peso á cero.

VII. Calcúlese el peso P de nitrógeno que cogeria, á 32° en un globo de vidrio, cuyo volúmen, á cero, es 12 lit., 4; el coeficiente de dilatacion del nitrógeno es 0,003668, el lineal del vidrio 0,00000861, el peso especifico del nitrógeno 0,9714, y la presion atmosférica 0m,76.

Sean k el coeficiente de dilatacion lineal del vidrio, y V el volúmen del globo á cero, su volúmen á t grados será $V(1+3kt)$ (258). Para encontrar el peso de nitrógeno contenido en el globo, hay que tener presente que un litro de aire á cero y á la presion de 0m,76, pesa 1gr,3, y que otro de nitrógeno á las mismas presion y temperatura, pesará $1\text{gr},3 \times 0{,}9714$, puesto que 0,9714 es el peso especifico del nitrógeno con relacion al aire. De consiguiente, un litro de nitrógeno pesa á t grados $\frac{1\text{gr},3 \times 0{,}9714}{1+\alpha t}$ (probl. VI), siendo α el coeficiente de dilatacion del nitrógeno. Por lo tanto, el peso pedido es $\frac{1\text{gr},3 \times 0{,}9714}{1+\alpha t} \times V(1+3kt)$. Sustituyendo en vez de V, k, t y α, sus valores, resulta P = 14gr,025.

* 274. **Método de M. Regnault.**—Cuatro son los procedimientos de que sucesivamente se ha valido M. Regnault para determinar el coeficiente de dilatacion de los gases. En unos era constante la presion y variable el volúmen del gas, como en el procedimiento de Gay-Lussac; y en otros no se alteraba el volúmen, pero podia variar á voluntad la presion. Solo describirémos el primer procedimiento que puso en práctica M. Regnault, si bien ya le habian dado á conocer Dulong y M. Rudberg, en el cual es constante la presion. Mas lo que sobre todo caracteriza los esperimentos de M. Regnault, es el esmero con que se evitan las causas de error. Consta su aparato de un reservatorio cilíndrico B (fig. 180) bastante capaz, y con un tubo capilar encorvado; dispónesele, para llenarle de aire seco, segun se vé en la figura, en una vasija de hoja de lata análoga ó igual á la que sirve para tomar el punto 100 de los termómetros; y luego, por medio de una tira de goma elástica,

se enlaza el tubo capilar con una série de tubos en U llenos de sustancias desecantes. Terminan estos tubos en una pequeña bomba de aire, que sirve para hacer el vacio en ellos y en el depósito, el cual se halla rodeado de vapor de agua á 100 grados. Se deja luego que

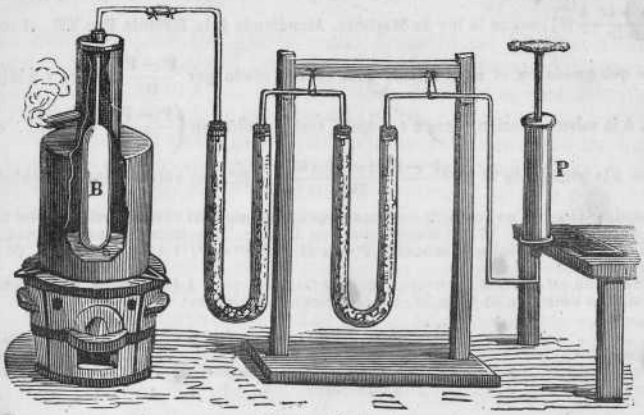


Fig. 180 (1=67).

entre lentamente el aire, se hace de nuevo el vacio, y así sucesivamente se va repitiendo muchas veces esta operacion. Consiguese de esta suerte desecar por completo el aire del reservatorio B, pues la humedad adherida á las paredes se desprende bajo la forma de vapor á la temperatura de 100°; y además, el aire que entra cada vez que se hace el vacio, se seca al pasar por los tubos en U.

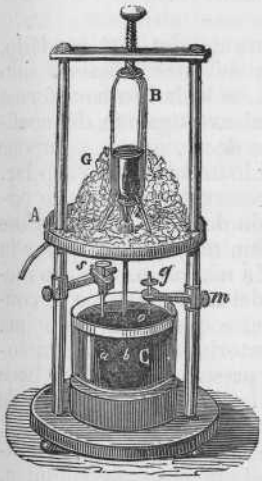


Fig. 181.

Hecho esto, se deja trascurrir una media hora con objeto de que adquiera el aire la temperatura del vapor de agua, quitando luego los tubos en U, y cerrando á la lámpara la estremidad del tubito. Al mismo tiempo se anota la altura A del barómetro. Una vez frio el depósito B, se le coloca en el aparato que representa la figura 181, y se le rodea por completo de hielo, á fin de que baje á cero el aire que contiene, introduciendo la punta del tubo capilar en una cubeta C llena de mercurio. Cuando llega á cero el depósito B, se rompe con unas pequeñas pinzas la estremidad b, y como está enrarecido el aire interior, penetra en aquel el mercurio de la cubeta por efecto de la presion atmosférica, y sube á una altura CG tal, que, sumada con la fuerza elástica del aire que queda en el aparato, equilibra dicha presion. A fin de medir la altura de la columna GC, que representarémos por a, se hace descender una varilla móvil go, hasta que la punta o enrase con la superficie del mercurio en la cubeta, midiéndose luego con un catetómetro la diferencia de altura entre la punta g y el nivel del mercurio en G. Si á esta diferencia se añade la longitud de la varilla go, que es conocida, se tendrá la altura a de la columna GC. Finalmente, se cierra con un poco de cera la estremidad b, por medio de la pieza a, y se anota la presion A′ indicada por el barómetro, de manera que la que esperimenta el depósito B, es $A' - a$.

Tomadas estas medidas, se retira del hielo el instrumento, y se le pesa para obtener el peso P del mercurio que en él se introdujo. En seguida se llena este depósito de mercurio á cero, y se determina el peso P′ de este líquido, contenido, así en el depósito, como en el tubo.

Designando entonces por k el coeficiente de dilatacion del vidrio, por α el del aire, y por D la densidad del mercurio á cero, se determina α por medio del cálculo siguiente. El volúmen del reservatorio y del tubo á cero es $\frac{P'}{D}$, en virtud de la fórmula $P = VD$ 107); y

por lo tanto, á t grados, este volú men es $\frac{P'}{D}(1+kt)$ (271, probl. v), á la presion A, que es la que habia al tiempo de cerrar á la lámpara. Claro está, pues, que á la presion de 76, es $\frac{P'(1+kt)A}{76D}$ [1], segun la ley de Mariotte. Atendiendo á la fórmula $P=VD$, el volúmen del aire que queda en el reservatorio está representado por $\frac{P'-P}{D}$, á cero y á la presion $A'-a$. A la misma presion, pero á t grados, será su volúmen $\left(\frac{P'-P}{D}\right)(1+\alpha t)$, convirtiéndose á la presion de 76 en $\frac{(P'-P)(1+\alpha t)(A'-a)}{76D}$ [2]. Los volúmenes representados por las fórmulas [1] y [2], no son otra cosa mas que el volúmen del reservatorio y el del tubo á t grados y á la presion de 76, de manera que son iguales. Suprimiendo, por lo tanto, el denominador comun, resulta la ecuacion $P'(1+kt)A=(P'-P)(1+\alpha t)(A'-a)$ [3], de la cual se deduce el valor de α.

Operando de esta suerte, encontró M. Regnault de cero á 100 grados y para presiones comprendidas entre 0m,30 y 0m,50, los coeficientes siguientes:

Aire.	0,003665	Acido clorhídrico.	0,0036812
Hidrógeno..	0,0036678	Cianógeno.	0,0036821
Nitrógeno.	0,0036682	Acido carbónico.	0,0036896
Acido sulfuroso.	0,0036696		

Estos números demuestran que los coeficientes de los gases no difieren mas que en cantidades muy pequeñas. M. Regnault encontró además que, á una misma temperatura, la dilatacion de un gas cualquiera es tanto mas considerable, cuanto mayor es la presion á que se halla sometido. Por fin, el mismo sabio observó que los coeficientes de dilatacion de dos gases difieren tanto mas, cuanto mas altas son las presiones á que estos están sometidos.

275. **Termómetro de aire.** — El *termómetro de aire* está fundado, segun su nombre lo indica, en la dilatacion del aire. Cuando solo debe medir cortas variaciones de temperatura, se le da la misma forma que al tubo de que se sirvió Gay-Lussac en la investigacion del coeficiente de dilatacion de los gases (fig. 179); es decir, que se compone de un reservatorio de vidrio, que lleva soldado un largo tubo capilar. Una vez lleno de aire perfectamente seco el reservatorio, se hace pasar al tubo un índice de ácido sulfúrico teñido de rojo, graduándose luego el instrumento en grados centígrados, sin mas que comparar la marcha del índice con la de un termómetro de mercurio. Pero es menester que permanezca abierta la estremidad del tubo, pues de lo contrario, como se condensaria ó se dilataria el aire que se halla encima del índice al mismo tiempo que el del reservatorio, quedaria estacionario el índice. Resulta de todo esto, que la presion atmosférica hace sentir su influencia en las indicaciones del termómetro de aire, de suerte que se requiere una correccion á cada observacion.

Si se tratasen de medir variaciones de temperatura algo considerables, como ya entonces es muy importante el aumento de volúmen, se adopta para termómetro de aire un tubo semejante al que ha servido para medir el coeficiente de dilatacion de los gases en el aparato de M. Regnault (fig. 180 y 181). Operando con este tubo, como en el esperimento del párrafo 272, se determinan las cantidades P, P', A, A' y a, que entran en la ecuacion [3], y como α y k son conocidas, se deduce de dicha ecuacion la temperatura t que ha de darse al tubo.

De las observaciones de M. Regnault resulta, que el termómetro de aire y el de mercurio van sensiblemente acordes hasta 260°, pero que pasando mas allá se dilata el mercurio con mayor velocidad que el aire.

276. **Densidad de los gases.** —La *densidad* de un gas, ó su *peso específico*, es la relacion del peso de un cierto volúmen del gas con el de igual volúmen de aire, siempre que, tanto este como aquel, se hallen ambos á cero y á la presion de $0^m,76$.

En virtud de esta definicion, para conocer la densidad de un gas, debe buscarse el peso de cierto volúmen del mismo á cero y á la presion de $0^m,76$; luego el de un idéntico volúmen de aire á igual presion é igual temperatura; y finalmente, dividir el primer peso por el segundo. Sirve al efecto un globo de vidrio de 8 á 10 litros de capacidad, con una llave en el cuello que pueda atornillarse en la máquina neumática. Se pesa este globo sucesivamente, vacío, lleno de aire y, por fin, lleno del gas cuya densidad se busca. El aire y el gas se secan siguiendo el mismo procedimiento que en el aparato que representa la figura 180. Restando el peso del globo vacío del que se obtuvo en las dos últimas pesadas, se obtiene el peso del aire y el del gas bajo un mismo volúmen. Si durante estas diversas pesadas estuviese constantemente á cero la temperatura y á $0^m,76$ la presion, solo habria que dividir el peso del gas por el del aire, y el cociente seria la densidad buscada. Pero el procedimiento que acabamos de dar á conocer exige, en general, muchísimas correcciones para reducir los dos gases á cero y á la presion de $0^m,76$, así como tambien para referir á cero el volúmen del globo. Se harian estas correcciones ateniéndose á los cálculos que hemos desarrollado para la resolucion de la misma clase de problemas (271), mas es posible evitarlos por medio del procedimiento que indicamos á continuacion.

277. **Método de M. Regnault para encontrar la densidad de los gases.** — M. Regnault ha modificado algun tanto el anterior procedimiento, consiguiendo así poder prescindir de parte de las correcciones. Se equilibra al efecto el globo que sirve para pesar los gases, y que está suspendido del platillo de una balanza, con un segundo globo de igual volúmen y herméticamente cerrado, que se deja pendiente del otro platillo. Como estos globos se dilatan á la par, desalojan siempre la misma cantidad de aire, en términos de no ejecer influencia alguna en las pesadas las variaciones atmosféricas de presion y de temperatura. Por último, cuando el primer globo se llena de aire y del gas cuya densidad se busca, se le coloca en una vasija de zinc rodeada de hielo, pues así se encuentra á la temperatura del hielo fundente, bastando no cerrar la llave hasta tanto que el mismo gas introducido se encuentre á cero, para evitar las correcciones de temperatura. Practicado todo esto, solo falta ya reducir los pesos de ambos gases á la misma presion de $0^m,76$, fundándose en que dichos pesos son proporcionales á las presiones.

278. **Densidad de los gases que atacan al cobre.** —Para los gases que atacan al cobre, como, por ejemplo, el cloro, no pueden

usarse los globos con llave, sino que es preciso recurrir á un frasco de tapon esmerilado, al cual se hace llegar el gas por medio de un tubo encorvado que se introduce hasta su fondo, cuidando de mantener al frasco en su posicion natural ó invertido, segun sea el gas mas ó menos pesado que el aire. Luego que se juzga que ha sido espulsado todo el aire, se quita el tubo y se cierra el frasco, pesándole en seguida. El peso que así se obtiene comprende el del frasco, mas el del gas, menos el del aire desalojado (270). Fácil es determinar el peso del frasco, y si se le tara, buscando el volúmen de agua que contiene, se deduce su volúmen, y de consiguiente, el peso del aire que desaloja. Por lo tanto, si del peso obtenido al pesar el frasco lleno de gas restamos el del frasco y añadimos el del aire desalojado, resulta el peso que se buscaba. Ya no falta, pues, mas que dividir el peso del gas por el del aire, cuidando, sin embargo, de hacer las correcciones de temperatura y de presion necesarias para reducir los dos pesos al mismo volúmen, presion y temperatura.

Densidades de los gases á cero y á la presion de $0^m,76$, *sirviendo de unidad la del aire.*

Aire	1,0000	Acido sulfhídrico	1,1912
Hidrógeno	0,0692	Acido clorhídrico	1,254
Hidrógeno protocarbonado	0,559	Protóxido de nitrógeno	1,527
Amoniaco	0,5967	Acido carbónico	1,529
Oxido de carbono	0,967	Cianógeno	1,86
Nitrógeno	0,9714	Acido sulfuroso	2,2474
Bióxido de nitrógeno	1,039	Cloro	2,44
Oxigeno	1,1056	Acido iodhídrico	4,443

CAPÍTULO V.

CAMBIOS DE ESTADO, VAPORES.

279. **Fusion, sus leyes.** — Varios son los fenómenos que presentan los cuerpos que se hallan bajo la influencia del calórico, pero hasta ahora solo hemos tratado de su dilatacion. Principiando por los sólidos, es fácil reconocer que tiene esta un límite; pues, efectivamente, á medida que absorbe un cuerpo mayor cantidad de calórico, aumenta la fuerza repulsiva que ejerce este entre las moléculas, llegando al fin un momento en que es suficiente la atraccion molecular para mantener al cuerpo en estado sólido. Prodúcese en tal caso un nuevo fenómeno, que es la *fusion*, es decir, el tránsito del estado sólido al líquido por la influencia del calor.

Sin embargo, hay muchas sustancias, como el papel, la madera, la lana y ciertas sales, que no se funden por la accion de una alta temperatura, sino que se descomponen. Entre todos los cuerpos simples, solo se conoce uno, que es el carbono, que no haya sido fundido hasta ahora, ni siquiera en los mas intensos focos de calor. Con todo, M. Despretz consiguió, sometiéndolo á la accion de una corriente eléctrica muy poderosa, reblandecer este cuerpo hasta volverlo flexible, lo cual indica un estado próximo á la fusion.

La esperiencia demuestra que la fusion de los cuerpos obedece constantemente á las dos leyes siguientes:

1.ª *Todo cuerpo entra en fusion á una determinada temperatura, invariable para cada snstancia, si la presion es constante.*

2.ª *Sea cual fuere la intensidad de un manantial de calor, cesa de subir la temperatura, permaneciendo constante desde el momento en que principia la fusion hasta que termina por completo.*

Temperaturas de fusion de diversas sustancias.

Mercurio.	— 40°	Sodio.	90°
Hielo.	0	Aleacion de d'Arcet (1 de plomo, 1 de estaño y 4 de bismuto).	94
Sebo.	33	Azufre.	111
Fósforo.	44	Estaño.	228
Potasio.	55	Bismuto.	264
Acido margárico.	57	Plomo.	335
Estearina.	60	Antimonio.	450
Cera blanca.	65	Zinc.	500
Acido esteárico.	70		

Estos números son tomados de la química de M. Regnault.

M. Hopkins, en Inglaterra, se ha cerciorado hace poco esperimentalmente de que la temperatura de fusion aumenta de un modo sensible á medida que aumenta la presion. Los cuerpos sobre los cuales ha esperimentado son el azufre, la cera, la estearina y la esperma de ballena.

280. **Calórico latente.**—Como durante el tránsito de un cuerpo de sólido á líquido permanece fija la temperatura (279, 2.ª), sea cual fuere la intensidad del foco, debemos deducir de aquí que, para cambiar de estado, absorben los cuerpos una considerable cantidad de calor, cuyo único objeto es mantenerlos en el estado líquido. Esta cantidad de calor, que no actúa sobre el termómetro, y que se combina en cierto modo con las moléculas de los cuerpos, se designa con el nombre de *calórico latente ó calórico de fusion.*

El esperimento que sigue es muy adecuado para dar una idea exacta de lo que debe entenderse por calórico latente. Si mezclamos primero 1 quilógramo de agua á cero con el mismo peso de agua á 79 grados, se obtienen inmediatamente 2 quilógramos de agua á 39 ½, es decir, á una temperatura media entre la de los dos líquidos mezclados, conforme era fácil prever, supuesto que ambos eran de igual naturaleza, é igual era tambien su cantidad. Pero si mezclamos 1 quilógramo de hielo machacado con un peso idéntico de agua á 79 grados, al instante se funde el hielo, obteniéndose 2 quilógramos de agua á cero. Vése, pues, que, sin cambiar de temperatura, y únicamente para fundirse, absorbe 1 quilógramo de hielo la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á 79 grados 1 quilógramo de agua. Esta cantidad de calor representa, pues, el calórico de fusion ó el calórico latente del hielo.

Cada cuerpo tiene distinto calor latente, que se determina por medio del cálculo, segun luego verémos.

281. **Disolucion.**—Un cuerpo se *disuelve* cuando se liquida por

efecto de la afinidad que se ejerce entre sus moléculas y las de un líquido. La goma arábiga, el azúcar y la mayor parte de las sales se disuelven en el agua.

Durante la disolucion, lo mismo que mientras se efectúa la fusion, es absorbida una cantidad mas ó menos considerable de calórico latente, circunstancia que esplica, en general, por qué determinan las disoluciones de las sales un descenso de temperatura. Con todo, se nota en ciertas disoluciones que, no solo no baja, sino que sube la temperatura, dependiendo esto de que se producen dos efectos simultáneos y contrarios. Es el primero el paso de sólido á líquido que ocasiona un descenso de temperatura; y el segundo la combinacion del cuerpo disuelto con el líquido, que, como toda combinacion química, determina un desprendimiento de calor. Por lo tanto, segun domine alguno de estos dos efectos, ó segun se compensen, se dejará sentir frio ó calor, ó bien permanecerá constante la temperatura.

282. **Solidificacion, sus leyes.**—La *solidificacion ó congelacion* es el paso del estado líquido al sólido. Este fenómeno se halla siempre sometido á las dos leyes siguientes, que son las recíprocas de las de la fusion, y que se comprueban por medio de la esperiencia.

1.ª *La solidificacion se efectúa en cada cuerpo á una temperatura fija, que es precisamente la de su fusion.*

2.ª *Desde el momento en que principia hasta que termina la solidificacion, no varía la temperatura del líquido.*

Depende esta segunda ley de que el calórico latente absorbido durante la fusion queda libre al efectuarse la solidificacion.

Muchos líquidos, como el alcohol y el éter, no se solidifican, aunque se les someta á los mayores frios conocidos.

Sin embargo, por un frio producido con una mezcla de óxido nitroso líquido, ácido carbónico y éter, M. Despretz ha conseguido dar al alcohol tal consistencia, que se pudo volver la vasija que lo contenia sin que se vertiese.

283. **Cristalizacion.**—Por punto general, los cuerpos que pasan lentamente del estado líquido al sólido, afectan determinadas formas geométricas, llamadas *cristales*, como tetráedros, cubos, prismas, romboedros, etc. Si se solidifica un cuerpo en fusion, como el azufre ó el bismuto, se dice que se efectúa la cristalizacion por *via seca;* mas si se halla aquel disuelto en un líquido, se dice que tiene lugar por *via húmeda*. Dejando que se evaporen lentamente los líquidos que tienen sales en disolucion, se consigue que estas cristalicen. La nieve, el hielo naciente y las sales nos ofrecen ejemplos de cristalizacion.

284. **Formacion del hielo.**—El agua destilada se solidifica á cero, tomando entonces el nombre de *hielo*; pero la congelacion se opera con mucha lentitud, porque la parte que se solidifica cede su calórico latente al resto de la masa líquida.

El hielo presenta el singular fenómeno de ser menos denso que el agua; pues, en efecto, hemos visto ya que, por el enfriamiento, no se contrae el agua sino hasta 4 grados (269), aumentando de volúmen luego á partir de este punto hasta cero. Este aumento de volúmen per-

siste y crece aun en el acto de la congelacion, de manera que el volúmen del hielo es 1,075 veces el del agua á 4 grados. Por efecto de esta espansion la densidad del hielo no es mas que 0,930 de la del agua, y así es que flota en la superficie de este líquido.

El aumento de volúmen que adquiere el hielo al formarse, va acompañado de una gran fuerza espansiva, que hace estallar las vasijas que lo contienen. Las piedras que se resquebrajan ó se parten despues de una helada, lo efectúan á causa del agua que penetró en sus poros, congelándose en ellos.

Para demostrar el físico inglés Williams la fuerza espansiva del hielo, colocó, en una atmósfera á muchos grados bajo cero, una bomba llena de agua, despues de haber cerrado sólidamente su orificio con un tapon de madera. En el momento de la congelacion fué lanzado el tapon con fuerza á gran distancia, formándose un reborde de hielo alrededor del orificio.

El agua no es la única sustancia que al solidificarse aumenta de volúmen, y que sea, por consiguiente, mas densa en el estado líquido que en el estado sólido; pues la fundicion, el bismuto y el antimonio presentan el mismo fenómeno.

285. **Retraso de la congelacion del agua.** — Las sales y otras sustancias disueltas retardan la temperatura de la congelacion del agua. Por ejemplo, el agua de mar no se solidifica hasta —2°,5.

Se puede retrasar muchos grados el punto de solidificacion del agua pura, privándola del aire que ordinariamente lleva disuelto, y cuidando de que no se agite en lo mas mínimo. En efecto, en una vasija rodeada de una mezcla frigorífica y situada debajo del recipiente de la máquina neumática, á fin de que se desprenda el aire, puede descender el agua hasta —12 grados, y aun mas, sin solidificarse; pero basta imprimir entonces el mas leve movimiento para que en seguida se congele parte del líquido, observándose el singular fenómeno de que la masa que queda líquida, sube en el momento á cero. Proviene esta elevacion de temperatura del calórico latente que deja en libertad la formacion del hielo.

Una agitacion demasiado rápida puede oponerse tambien á la congelacion de los líquidos. Lo mismo sucede por cualquiera otra accion que, trastornando las moléculas en su movimiento, no las permita agruparse con las condiciones necesarias al estado sólido. Así es que M. Despretz ha podido enfriar el agua en tubos muy capilares hasta —20° sin congelarse. Esta esperiencia puede servir para esplicar cómo las plantas, en ciertos límites, resisten á las heladas, supuesto que los vasos que contienen la sávia son muy capilares.

286. **Mezclas frigoríficas.** — Se ha utilizado para producir frios artificiales, mas ó menos intensos, la absorcion del calórico en el estado latente por los cuerpos que pasan de sólidos á líquidos. Se consigue este resultado mezclando sustancias que tengan entre sí afinidad, y que una de ellas por lo menos sea sólida, tales como agua y una sal, hielo y una sal, un ácido y una sal. Como la afinidad química acelera entonces la fusion, la parte que se funde quita al resto de la mezcla

una gran cantidad de calórico que se hace latente, resultando de aquí un descenso de temperatura á veces muy considerable.

El cuadro siguiente indica las proporciones y la naturaleza de las sustancias que pueden emplearse para obtener un determinado descenso de temperatura.

SUSTANCIAS.	PARTES en peso.	ENFRIAMIENTO.
Sulfato de sosa.	8	+ 10° á — 17°
Acido clorhídrico.	5	
Hielo machacado ó nieve.	2	+ 10° á — 18°
Sal marina ó comun.	1	
Sulfato de sosa.	3	+ 10° á — 19°
Acido nítrico diluido.	2	
Sulfato de sosa.	6	+ 10° á — 26°
Nitrato de amoniaco.	5	
Acido nítrico diluido.	4	
Fosfato de sosa.	9	+ 10° á — 29°
Acido nítrico diluido.	4	

De frecuente uso son las mezclas frigoríficas en química, en física, en la industria y en la economía doméstica. Hace ya algunos años que se fabrica, con el nombre de *garapiñera de familia*, un aparatito para obtener hielo en todas las estaciones por medio de una disolucion de sulfato de sosa en ácido clorhídrico, pues en una hora se forman de 5 á 6 quilógramos de hielo con 6 quilógramos de sal y 5 de ácido. Consiste el aparato en un cilindro metálico dividido en cuatro compartimientos concéntricos. En el centro está el agua que debe congelarse; sigue luego la mezcla frigorífica; á continuacion nueva cantidad de agua, y por último, en el compartimiento esterior se encuentra un cuerpo poco conductor, el algodon, por ejemplo, que se oponga á la absorcion del calórico esterior. El medio mas á propósito para utilizar una mezcla frigorífica consiste en formarla de un modo sucesivo.

VAPORES; MEDIDA DE SU TENSION.

287. **Vapores.** — Hemos visto ya (138) que se da el nombre de *vapores* á los fluidos aeriformes en que por la absorcion del calórico se trasforman muchos líquidos, tales como el éter, el alcohol, el agua y el mercurio. Denominanse líquidos *volátiles* los que poseen la propiedad de poder pasar al estado aeriforme, y líquidos *fijos* los que no dan vapor á ninguna temperatura, como los aceites grasos. Cuerpos sólidos hay, tales como el hielo, el arsénico, el alcanfor, y en general, las materias odoríferas, que dan inmediatamente vapores sin pasar por el estado líquido.

Los vapores son trasparentes como los gases, y carecen, en gene-

ral, de color; y solo un corto número de líquidos colorados dan vapores que sean tambien colorados.

288. **Vaporizacion.**—El paso de un cuerpo del estado líquido al de vapor, se designa bajo el nombre general de *vaporizacion*; pero se entiende especialmente por *evaporacion* toda produccion lenta de vapor en la superficie de un líquido, y por *ebullicion* una rápida formacion de vapor en su misma masa. Pronto dirémos que, bajo la presion ordinaria de la atmósfera, no se produce la ebullicion, lo mismo que la fusion, sino á una determinada temperatura. No sucede otro tanto con la evaporacion, que se opera para un mismo líquido á temperaturas muy diversas, si bien cesa, al parecer, toda vaporizacion al pasar de cierto enfriamiento. El mercurio, por ejemplo, no da ya vapores debajo de —10°, y el ácido sulfúrico bajo 30.

289. **Fuerza elástica de los vapores.**—Los vapores, lo mismo que los gases, tienen una fuerza elástica, en virtud de la cual ejercen en las paredes de las vasijas que los contienen una presion mas ó menos considerable. Para demostrar la tension de los vapores, y al mismo tiempo hacerla sensible á la vista, se llena de mercurio hasta la mitad un tubo de vidrio encorvado en forma de sifon (fig. 182); y haciendo pasar luego una gota de éter en la rama corta que está cerrada, se introduce el tubo en un baño de agua que tenga unos 45 grados. Baja entonces lentamente el mercurio en la rama menor, y el espacio AB se llena de un gas en un todo parecido al aire y con una fuerza elástica que equilibra evidentemente la columna de mercurio CD, junto con la presion atmosférica que se ejerce en D. El gas en cuestion no es mas que el vapor de éter. Si se enfria el agua de la vasija, ó lo que es igual, si se saca del baño el tubo, se nota que va desapareciendo rápidamente el vapor que llena el espcaio AB, volviéndose á formar la gota de éter. Si, por el contrario, se calienta mas el agua del baño, desciende el nivel del mercurio mas allá del punto B, lo cual indica un aumento de tension.

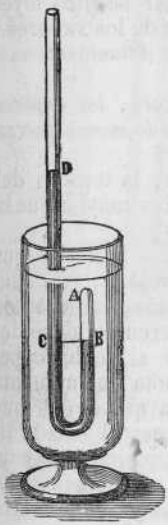


Fig. 182.

290. **Formacion de los vapores en el vacío.**—En el esperimento anterior se efectúa con lentitud el paso al estado de vapor, sucediendo tambien otro tanto cuando se espone al aire libre un líquido volátil, porque en ambas circunstancias es la presion atmosférica un obstáculo para la vaporizacion. Pero si se ponen los líquidos en el vacío, entonces pasan de diverso modo los fenómenos, porque no encontrando ya resistencia alguna la fuerza elástica de los vapores, es instantánea su formacion. Demuéstrase esto introduciendo muchos tubos barométricos en una misma cubeta (fig. 183). Como todos estan llenos de mercurio, se deja uno, el A, por ejemplo, para que sirva de barómetro, y luego se introducen algunas gotas de agua, de alcohol y de éter, respectivamente en los

tubos B, D, E. Nótase que en el instante mismo en que en cada uno de los tubos penetra el líquido en el vacío barométrico, baja el nivel del mercurio, conforme se ve en la figura. No es el peso del líquido la causa de la depresion, porque no representa aquel mas que una pequeñísima fraccion del peso del mercurio desalojado; de suerte que debe admitirse para cada líquido una produccion instantánea de vapor, cuya fuerza elástica ha repelido la columna mercurial.

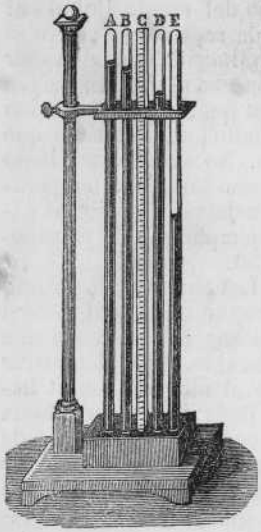


Fig. 183.

Demuestra además dicho esperimento que no es igual la depresion en los tres tubos, sino que es mayor en el tubo que contiene alcohol que en el del agua, y mayor en el tubo con éter que en los otros dos. Desde ahora, pues, podemos sentar las dos leyes siguientes sobre la formacion de los vapores:

1.ª *En el vacío se vaporizan instantáneamente todos los líquidos volátiles.*

2.ª *A igualdad de temperatura, los vapores de líquidos diferentes no poseen la misma fuerza elástica.*

Por ejemplo, á 20 grados, la tension del vapor de éter es casi 25 veces mayor que la del agua.

291. Espacio saturado, máximum de tension. — Siempre que se introduce en el tubo de un barómetro un líquido volátil, tal como el éter, si es muy corta su cantidad, se vaporiza instantáneamente de un modo completo, de manera que la columna de mercurio no se deprime toda la cantidad de que es susceptible; porque si se hace penetrar una nueva cantidad de éter muy pequeña, se nota que aumenta la depresion. Continuando así, llega un momento en que el éter que entra en el tubo deja de vaporizarse, permaneciendo en el estado líquido. Esto nos indica que para una temperatura determinada hay un límite en la cantidad de vapor que puede formarse en un espacio dado, circunstancia que se espresa diciendo que se halla *saturado* entonces tal espacio.

Obsérvese además, que desde el momento en que cesa la vaporizacion del éter, se contiene la depresion del mercurio; de suerte que hay tambien un límite para la tension del vapor, límite que, segun muy pronto dirémos, varía con la temperatura, pero que para una temperatura dada *es independiente de la presion.*

Para hacer ver que en un espacio cerrado, saturado de vapor y que contiene líquido *en esceso*, siendo constante la temperatura, hay un *máximum de tension*, del cual no puede pasar el vapor, sea cual fuere la presion, se hace uso de un tubo barométrico introducido en una cubeta profunda (fig. 103). Despues de haber hecho pasar en dicho tubo, lleno en un principio de mercurio, una cantidad de éter sufi-

ciente para que no solo se sature la cámara barométrica, sino que quede líquido en esceso, se observa la altura del mercurio en el tubo por medio de una escala fija en la cubeta. Ora se introduzca entonces mas el tubo, lo cual tiende á comprimir el vapor, ora se eleve, propendiendo así á enrarecer este último, permanece constante la altura de la columna mercurial. Es, por lo tanto, igual en ambos casos la tension del vapor, supuesto que ni aumenta ni disminuye la depresion. Dedúcese de ahí que, cuando está comprimido el vapor de un espacio saturado, vuelve parte al estado líquido; y que si, por el contrario, disminuye la presion, se vaporiza parte del líquido que quedó en esceso, saturándose de nuevo el espacio ocupado por el vapor; pero en ambos casos permanecen invariables la tension y la densidad de este último.

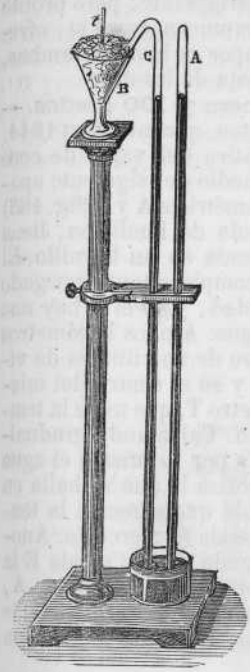


Fig. 184.

Si no se halla saturado el espacio que ocupa el vapor, ó si no contiene líquido en esceso el vapor, cuando aumenta ó disminuye la presion, se comporta enteramente como un gas, es decir, que mientras no llega al estado de saturacion, su tension y su densidad crecen como la presion (162), lo cual demuestra que los vapores no saturados se encuentran sometidos á la ley de Mariotte.

292. **Tension del vapor de agua debajo de cero.**—Para medir la fuerza elástica del vapor de agua á una temperatura inferior á cero, se sirvió Gay-Lussac de dos tubos barométricos llenos de mercurio é introducidos en una misma cubeta (fig. 184). Uno de ellos, que es recto y está perfectamente purgado de aire y de humedad, mide la presion atmosférica, y el otro se halla encorvado de manera que parte de la cámara barométrica entra en una mezcla frigorífica (286). Si se hace pasar un poco de agua al tubo encorvado, se nota que el nivel del mercurio en el mismo es mas bajo que en el tubo A una cantidad que varía con la temperatura de la mezcla frigorífica.

A 0° la depresion es, en milímetros. .	4,06
—10.	2,00
—20.	0,84
—30.	0,36

Estas depresiones, que dependen necesariamente de la tension del vapor en la cámara barométrica BC, demuestran que, á temperaturas muy bajas, hay todavía vapor de agua en el aire.

Verdad es que, en el esperimento que acabamos de citar, las partes B y C de la cámara barométrica en donde está el vapor no participan ambas de la temperatura de la mezcla refrigerante; pero pronto verémos (293) que, cuando dos vasijas que comunican entre sí, ofrecen temperaturas desiguales, la tension del vapor es igual en ambas, y corresponde siempre á la temperatura mas baja de las dos.

293. **Tension del vapor de agua entre cero y 100 grados.** — 1.° *Procedimiento de Dalton.*—El físico inglés Dalton, que murió en 1844, midió la fuerza elástica del vapor de cero á 100 grados por medio del siguiente aparato: Dos tubos barométricos A y D (fig. 185) entran en una cápsula de fundicion, llena de mercurio y colocada en un hornillo. El barómetro B está completamente purgado de aire y de humedad, y en el A hay una corta cantidad de agua. Ambos barómetros se encuentran dentro de un cilindro de vidrio lleno de agua, y en el centro del mismo se ve un termómetro T, que mide la temperatura del líquido. Calentando gradualmente la cápsula, y por lo mismo el agua del cilindro, se vaporiza la que se halla en el tubo A, y á medida que aumenta la tension del vapor desciende el mercurio. Anotando de grado en grado en una escala E la depresion que se observa en el tubo A, construyó por vez primera Dalton una tabla de las fuerzas elásticas del vapor de agua hasta 100 grados.

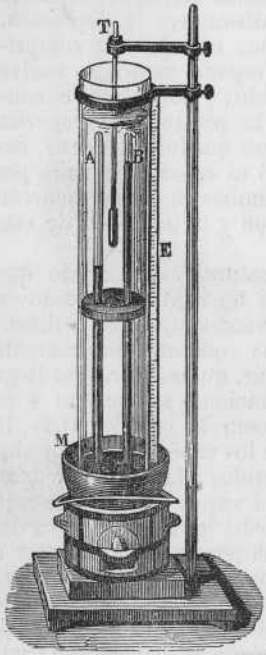


Fig. 185 (a=1m,07).

2.° *Procedimiento de M. Regnault.*—Poca es la precision del aparato de Dalton, porque no se puede dar exactamente la misma temperatura al líquido del cilindro en toda su longitud, de suerte que ya no es precisa la temperatura del vapor. M. Regnault modificó dicho aparato, reemplazando el cilindro por una caja de palastro con dos tubos en el fondo para recibir las estremidades superiores de los barómetros A y B, sostenidas por láminas de goma elástica. Se echa en la caja agua caliente, de modo que cubra el vértice de los tubos, y con una temperatura que varió en el esperimento de M. Regnault de cero á 50 grados. Por medio de un agitador se mezclan constantemente las diversas capas del líquido, á fin de obtener una temperatura uniforme en todas las partes del baño en que se hallan sumergidos los dos tubos barométricos. Por último, un cristal, entallado en las paredes de la caja, permite que se observe la diferencia de nivel del mercurio en los dos tubos. Por medio de este aparato se ha podido medir con precision la fuerza elástica del vapor de agua desde cero á 50 grados; pero no hubiera

sido posible aplicarlo á mas altas temperaturas por razon de la corta profundidad del baño.

294. Tension del vapor de agua á mas de 100 grados, por Dulong y Arago. — Dos son los procedimientos que se usan para medir la fuerza elástica del vapor de agua á temperaturas superiores á 100 grados, debidos á Dulong y Arago el uno, en 1830, y á M. Regnault el otro, en 1844.

La figura 186 representa un corte vertical del aparato de que se sirvieron Dulong y Arago, en 1830, para medir la fuerza elástica del

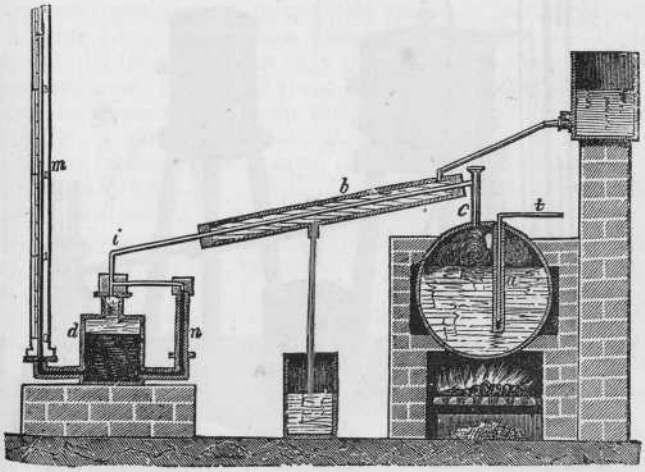


Fig. 186.

vapor de agua á temperaturas superiores á 100 grados Consistia dicho aparato en una caldera *k* de cobre, de 80 litros de capacidad y de paredes muy gruesas. Dos cañones de fusil *a*, de los que uno solo es visible en nuestro dibujo, se sumergian en el agua de la caldera, en cuyas paredes estaban sólidamente asegurados. Dichos cañones, cerrados por su estremidad inferior, se encontraban llenos de mercurio, en el cual se colocaban termómetros *t* que daban á conocer la temperatura del agua y del vapor en la caldera. Medíase la tension del vapor por medio de un manómetro de aire comprimido *m*, graduado esperimentalmente de antemano y adaptado á una cubeta de fundicion *d* llena de mercurio. Para conocer la altura de este líquido en la cubeta, se hallaba esta en comunicacion, por su vértice y por su base, con un tubo de cristal *n*, en el cual el nivel era siempre el mismo que en la cubeta. Por último, un tubo de cobre *i* hacia comunicar la parte superior de la cubeta *d* con un tubo vertical *c* que partia directamente de la caldera dando salida al vapor. El tubo *i* y la parte superior de la cubeta *d* estaban llenos de agua, que se conservaba constantemente á una temperatura baja, haciendo circular alrededor del tubo una

corriente de agua fria, que fluia de un depósito representado á la derecha del dibujo.

Al desprenderse el vapor del tubo *c*, ejercia su presion sobre el agua del tubo *i*; trasmitíala al agua y al mercurio de la cubeta *d*, y subia el

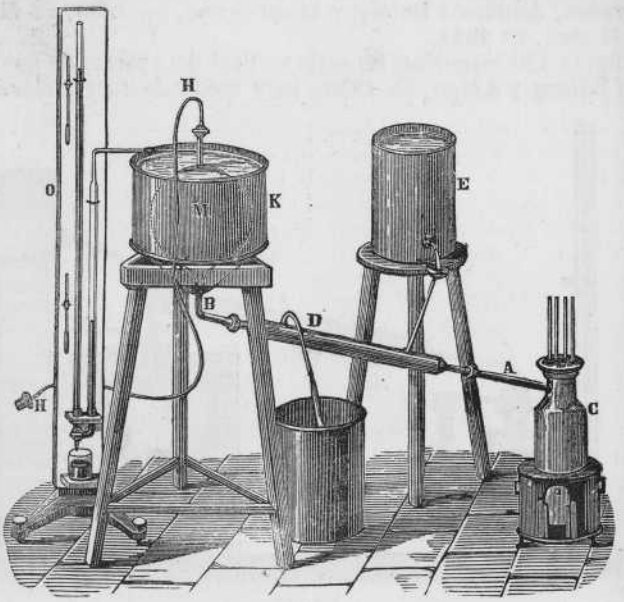


Fig. 187 (a = 1m,70).

mercurio en el manómetro. Observando de grado en grado el termómetro y el manómetro, midieron así directamente Dulong y Arago la tension del vapor de agua hasta 24 atmósferas, evaluándola luego por cálculo hasta 50.

* 295. **Tension del vapor de agua encima y debajo de 100 grados, por M. Regnault.** — El procedimiento de M. Regnault permite medir la tension del vapor, tanto superior como inferior á 100 grados de temperatura. Consiste en hacer hervir agua en una vasija, bajo una presion conocida, y á medir la temperatura á que entra en ebullicion. Apoyándose luego en el principio de que, en el momento de efectuarse esta, la fuerza elástica del vapor que se desprende es precisamente igual á la presion que sufre el líquido, quedan conocidas la tension del vapor y la temperatura correspondiente, que es el problema que se deseaba resolver.

Consta el aparato de una vasija de cobre C (fig. 187), herméticamente cerrada y llena de agua como cosa de un tercio. Cuatro termómetros atraviesan la tapadera, introduciéndose dos en las primeras

capas del líquido y los otros dos en las inferiores. Del reservatorio C parte un tubo AB, que va á adaptarse á la boca de un globo de vidrio M de 24 litros de capacidad y lleno de aire. Rodea al tubo AB un cilindro D, en el cual circula una corriente de agua fria que sale de un reservatorio E. De la parte superior del globo M parten dos tubos que comunican, el uno con un manómetro de aire libre O, próximo al aparato, y el otro HH′, que es de plomo, con una máquina neumática ó con una bomba impelente, segun se desee enrarecer ó comprimir el aire del globo. Por último, la vasija K, que contiene al globo, está llena de agua á la temperatura del ambiente.

Supongamos que se trata primero de medir la fuerza elástica del vapor de agua á una temperatura inferior á 100 grados. Se fija la estremidad H′ del tubo de plomo en la platina de una máquina neumática, para enrarecer el aire del globo M, y por lo tanto, de la vasija C. Caliéntase luego suavemente esta vasija; entra en ebullicion el agua que contiene, á una temperatura tanto mas inferior á 100 grados, cuanto mas se ha enrarecido el aire, es decir, cuanto mas débil es la presion que se ejerce sobre el líquido. Por otra parte, al condensarse los vapores en el tubo AB, que se enfria de una manera constante, no crece la presion que primitivamente indicó el manómetro, lo cual demuestra que la tension del vapor durante la ebullicion es igual á la presion que se ejerce sobre el líquido.

Consultando entonces por un lado el manómetro y por otro los termómetros, se determina la tension del vapor á una temperatura conocida. Dejando luego que entre un poco de aire en los tubos y en la caldera, á fin de aumentar la presion, se hace una nueva observacion, y así se continúa hasta 100 grados.

Si se trata de medir la fuerza elástica del vapor á una temperatura superior á 100 grados, se pone el orificio H′ en comunicacion con una bomba impelente, por medio de la cual se somete el aire del globo y de la caldera á presiones sucesivamente superiores á la de la atmósfera. Retárdase entonces la ebullicion, bastando observar simultáneamente el manómetro y los termómetros para conocer la tension del vapor á una temperatura superior á 100 grados.

Las dos tablas siguientes hacen conocer la tension del vapor de agua, segun M. Regnault, de —30 grados hasta 100, y despues desde 100 hasta 230. Los números de la primera tabla han sido obtenidos á beneficio del aparato que acaba de ser descrito.

La segunda ha sido calculada por la fórmula de interpolacion

$$\log F = a + b\alpha^t + c\beta^t,$$

en la cual F representa la fuerza elástica del vapor, t su temperatura y a, b, c, α, β, constantes que se calculan principiando por determinar cinco fuerzas elásticas, es decir, cinco valores de F, correspondientes á temperaturas conocidas, lo cual da lugar á tantas ecuaciones como incógnitas.

Tensiones del vapor de agua, de —30 á 100 grados, segun M. Regnault.

TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio. á cero.	TEMPERATURAS.	TENSIONES en milímetros de mercurio á cero.
—30	0,365	5	6,534	40	54,906	75	288,517
—25	0,553	10	9,165	45	71,391	80	354,643
—20	0,841	15	12,699	50	91,982	85	433,041
—15	1,284	20	17,391	55	117,478	90	525,450
—10	1,963	25	23,750	60	148,791	95	633,778
— 5	3,004	30	31,548	65	186,945	100	760,000
0	4,600	35	41,827	70	233,093		

Tensiones, en atmósferas, de 100° á 230°,9, segun M. Regnault.

TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.	TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.	TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.	TEMPERATURAS.	NÚMERO de atmósferas.
100,0	1	170,8	8	198,8	15	217,9	22
120,6	2	175,8	9	201,9	16	220,3	23
133,9	3	180,3	10	204,9	17	222,5	24
144,0	4	184,5	11	207,7	18	224,7	25
152,2	5	188,4	12	210,4	19	226,8	26
159,2	6	192,1	13	213,0	20	228,9	27
165,3	7	195,5	14	215,5	21	230,9	28

Estas tablas demuestran que la fuerza elástica del vapor de agua crece siguiendo una ley mucho mas rápida que la temperatura; pero hasta ahora se ignora cuál sea esta ley.

El agua es el único líquido cuyo vapor, por la importancia de sus aplicaciones, ha fijado la atencion de los físicos. La fuerza elástica de los vapores de los demás líquidos á diferentes temperaturas no ha sido aun determinada, sabiéndose tan solo que las sustancias en disolucion, como las sales y los ácidos, disminuyen, en igualdad de temperatura, la fuerza elástica de los vapores, y tanto mas, cuanto mas concentrada es la disolucion; porque entonces se efectúa la ebullicion á mas alta temperatura.

296. Tension en dos vasijas comunicantes que se hallan á distintas temperaturas. — Cuando se ponen en comunicacion dos vasijas cerradas, que contienen un mismo líquido á temperaturas des-

iguales, la tension comun de vapor que se establece en estas dos vasijas, no es, como pudiera creerse, la tension media entre las que habia en cada vasija. Por ejemplo, sean dos globos, el uno A (fig. 188) con agua que se mantiene á cero en hielo fundente; y el otro B con agua á 100 grados. Mientras no comunican estos dos globos, la tension es de 4,6 milímetros en el primero, y de 760 en el segundo, segun las tablas anteriores; pero luego que se establece la comunicacion, abriendo la

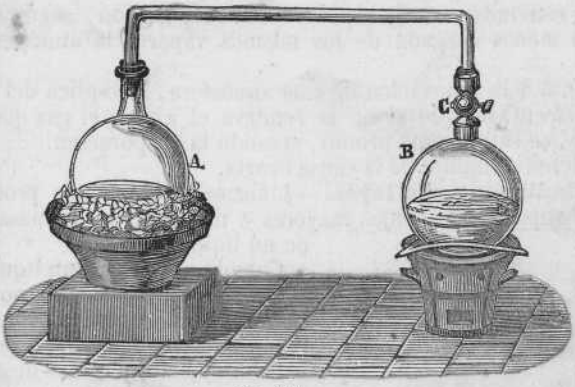


Fig. 188.

llave C, el vapor de B se precipita á A en virtud de su esceso de tension; y como se va condensando inmediatamente, porque el último globo no pasa de cero, resulta que no puede adquirir el vapor, en el globo B, una tension superior á la del globo A, es decir, á la que corresponde á cero.

Podemos sentar, pues, el siguiente principio general: *Cuando dos recipientes, que contienen el mismo líquido en esceso y á temperaturas desiguales, comunican entre sí, la tension del vapor es la misma en los dos, é igual á la tension que corresponde á la temperatura mas baja.* Pronto verémos cómo aplicó Watt este principio al condensador de las máquinas de vapor.

297. **Evaporacion; causas que la aceleran.**—Se ha visto ya (286) que se entiende por *evaporacion* una produccion lenta de vapor en la superficie de un líquido. Por efecto de una evaporacion espontánea se secan al aire libre las telas mojadas, ó una vasija destapada y llena de agua se vacia por completo al cabo de cierto tiempo. A la evaporacion que se efectúa en la superficie de los mares, de los lagos, de los rios y del suelo, deben su orígen los vapores que se encuentran en la atmósfera, condensándose en ella para constituir las nubes y resolverse luego en lluvia.

Cuatro son las causas que influyen en la rapidez de la evaporacion de un líquido, á saber: 1.ª la temperatura; 2.ª la cantidad de vapor del mismo líquido contenido ya en la atmósfera ambiente; 3.ª la re-

novacion de esta atmósfera, y 4.ª la estension de la superficie de evaporacion.

El aumento de temperatura acelera la evaporacion por el esceso de fuerza elástica que determina en los vapores.

Para comprender la influencia de la segunda causa, obsérvese que seria nula la evaporacion de un líquido en un espacio saturado del vapor del mismo líquido, y que llegaria á su máximum en un aire completamente purgado de dicho vapor. Claro está que entre estos dos casos estremos varía la rapidez de la evaporacion, segun se halle ya mas ó menos cargada de los mismos vapores la atmósfera ambiente.

En cuanto á la renovacion de esta atmósfera, se esplica del mismo modo su efecto, porque si no se renueva el aire ó el gas que rodea el líquido, se satura muy pronto, cesando la evaporacion.

Es evidente el influjo de la causa cuarta.

298. **Ebullicion; sus leyes.** — Llámase *ebullicion* una produccion rápida de vapor, en burbujas mayores ó menores, en la masa misma de un líquido.

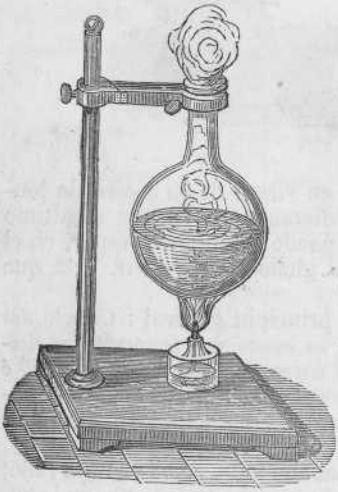


Fig. 189.

Cuando se calienta un líquido por la parte inferior, el agua por ejemplo, las primeras burbujas que aparecen, no son mas que aire que se hallaba disuelto y que se desprende; pero muy pronto suben varias burbujitas de vapor de todos los puntos calentados de las paredes; mas, al atravesar las capas superiores, se condensan sin llegar á la superficie, por ser mas baja su temperatura. La formacion y la condensacion sucesivas de estas primeras burbujas de vapor ocasionan el ruido que ordinariamente precede á la ebullicion. Por último, elévanse gruesas burbujas que estallan en la superficie constituyendo el fenómeno de la ebullicion (fig. 189).

Todos los líquidos susceptibles de entrar en ebullicion obedecen las tres leyes siguientes, que se comprueban por medio de la esperiencia:

1.ª *La temperatura de ebullicion aumenta con la presion;*

2.ª *Para una presion dada no principia la ebullicion hasta cierta temperatura, que varía segun los líquidos, pero que, á igualdad de presion, es siempre la misma para un mismo líquido;*

3.ª *Sea cual fuere la intensidad del foco de calor, permanece estacionaria la temperatura, á contar desde el momento en que principia la ebullicion.*

Temperatura de ebullicion á la presion de $0^m,76$.

Acido sulfuroso	— 10°	Esencia de trementina	150°
Eter clorhídrico	11	Fósforo	290
Eter sulfúrico	37	Acido sulfúrico concentrado	325
Alcohol	79	Mercurio (al termómetro de aire)	350
Agua destilada	100	Azufre	440

Muchas son las causas que pueden hacer variar la temperatura de ebullicion de un líquido, á saber: las sustancias en disolucion, la naturaleza de las vasijas y la presion. Vamos á dar á conocer sucesivamente los efectos de estas diferentes causas, particularmente sobre el agua.

299. **Influencia de las sustancias en disolucion sobre la temperatura de ebullicion.** — Una sustancia disuelta en un líquido, cuando aquella no es volátil, ó siquiera lo es menos que este último, retarda la ebullicion tanto mas, cuanto mayor es la cantidad de sustancia disuelta. El agua, que hierve á 100 grados cuando es pura, solo lo verifica á las temperaturas siguientes cuando se halla saturada de diversas sales:

El agua saturada	de sal marina hierve á	109	grados.
— —	de nitrato de potasa á	116	
— —	de carbonato de potasa á	135	
— —	de cloruro de cálcio á	179	

Resultados análogos presentan las disoluciones ácidas; pero las sustancias que se hallan puramente en suspension, como las materias térreas, el serrin, etc., no elevan la temperatura de ebullicion.

El aire disuelto en el agua tiene tambien una influencia muy marcada sobre la temperatura de ebullicion del agua. Deluc es el primero que, en efecto, ha observado que el agua purgada de aire por la ebullicion y encerrada en un matraz de cuello largo, podia sufrir la temperatura de 112 grados sin entrar en ebullicion. El mismo hecho ha sido constituido por M. Donny y M. Galy-Casalat. Este último físico, habiendo recubierto de una capa de aceite el agua purgada de aire por la ebullicion, la ha sometido á 123 grados sin que el líquido principiase á hervir; pero muy luego se verificó una violenta esplosion de vapor, la cual arrojó parcialmente el agua fuera del vaso que la contenia.

Conviene recordar ahora los esperimentos de M. Rudberg (241), en los cuales se nota que, aun cuando la temperatura de ebullicion del agua sea superior á 100 grados por efecto de las sustancias que lleve disueltas, el vapor que se desprende marca siempre, no obstante, 100 grados, como con el agua pura, si la presion es de $0^m,76$.

300. **Influencia de la naturaleza de las vasijas sobre la temperatura de ebullicion.** — Observó Gay-Lussac que, en una vasija de vidrio, hierve el agua á mas alta temperatura que en una de metal, y atribuyó el fenómeno á la afinidad que con el agua tiene el vidrio. Suponiendo que valga 100 grados la temperatura de ebullicion del agua destilada, en una vasija de cobre y á la presion de $0^m,76$,

resulta que, en igualdad de presion, dicho líquido no entra en ebullicion hasta 101 grados en un globo de vidrio; y si se ha limpiado perfectamente con ácido sulfúrico concentrado ó con potasa, puede llegar á subir la temperatura del agua hasta 105 y 106 grados. Con todo, basta poner un simple pedazo de metal en el fondo del globo, para que se presente de nuevo la ebullicion á 100 grados, y al mismo tiempo para hacer cesar los violentos saltos que acompañan la ebullicion de las disoluciones salinas ó ácidas en las vasijas de vidrio.

La temperatura del vapor, en conformidad con lo que se observa en las sustancias en disolucion, no se halla influenciada por la del agua en las vasijas de vidrio. A la presion de $0^m,76$ es aun de 100 grados, lo mismo que en las vasijas de cobre.

301. **Influencia de la presion en la temperatura de ebullicion.** — Vése por las tablas de las fuerzas elásticas (293), que á 100 grados, que es la temperatura á que entra en ebullicion el agua destilada, y á la presion de $0^m,76$, tiene el vapor de este líquido una tension precisamente igual á dicha presion. Es general este principio, y puede enunciarse así: *Ningun líquido entra en ebullicion hasta el momento en que la tension de su vapor es igual á la presion que sufre.* Claro está que cuando aumente ó disminuya esta presion, debe crecer ó decrecer la tension del vapor, y de consiguiente, la temperatura necesaria para la ebullicion.

Demuéstrase que baja la temperatura de ebullicion cuando es mas débil la presion, colocando debajo del recipiente de la máquina neumática una cápsula que contenga agua á unos 30 grados, y haciendo luego el vacío. Vése que al instante entra en ebullicion el líquido con gran rapidez, si bien en vasija tapada, porque el vapor es aspirado por la máquina neumática á medida que se va formando.

Por efecto de la diminucion de la presion atmosférica hierve el agua en las altas montañas á menos de 100 grados. En el Monte Blanco, por ejemplo, entra dicho líquido en ebullicion á 84 grados. Recientemente ha sido aplicada esta propiedad en un aparatito llamado *hypsómetro*, que da á conocer la altura de un lugar por la temperatura á que en él hierve el agua.

Si, por el contrario, aumenta la presion, se retarda la ebullicion; de manera que no se efectúa en el agua, por ejemplo, hasta 120,6 grados, cuando vale dos atmósferas la presion.

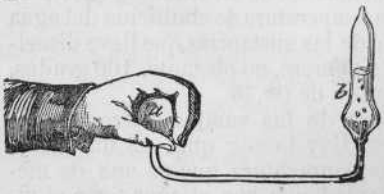


Fig. 190.

302. **Hervidero de Franklin.** — Demuéstrase tambien la influencia de la presion en la temperatura de ebullicion por medio de *hervidero de Franklin*. Compónese este aparatito de una esfera *a* y de un tubo *b*, de vidrio, reunidos por otro tubo de pequeño diámetro (fig. 190). El tubo está aguzado en su estremidad superior, por la cual se introduce el agua, que se hace pasar á la esfera *a* y hervir en

ella, calentándola con una lámpara de alcohol. Cuando se juzga que ya los vapores han arrastrado, al desprenderse, todo el aire del aparato, se cierra la estremidad del tubo *b*, fundiéndola á la lámpara. Hecho así el vacío, ó cuando menos espulsado todo el aire, no sufre el agua mas presion que la tension de su vapor, tension que es muy débil á la temperatura ordinaria. Resulta de ahí que, cogiendo con la mano la esfera *a*, basta el calor de aquella para dar al vapor una tension que hace refluir el agua al tubo *b*, determinando en él una fuerte ebullicion.

303. **Produccion del vapor en vasijas cerradas.** — Hemos supuesto hasta ahora que se formaban los vapores en un espacio indefinido, por el cual podian difundirse libremente. Solo con esta condicion es posible la ebullicion; pues como en las vasijas cerradas no encuentran salida alguna los vapores, crecen mas y mas su tension y su densidad con la temperatura, siendo imposible su rápido desprendimiento, que constituye la ebullicion. Por lo tanto, mientras que en una vasija abierta no puede pasar la temperatura de un líquido de la de su ebullicion, en una tapada puede, al contrario, subir mucho mas allá. Con todo, reconoce entonces un límite el estado líquido, porque si, en virtud de los esperimentos de M. Cagniard-Latour, se introduce agua, alcohol ó éter en gruesos tubos de vidrio, y se les suelda á la lámpara despues de haber espulsado el aire por medio de la ebullicion, se observa que, sometiendo dichos tubos á un suficiente foco de calor, llega un momento en que de repente desaparece el líquido, trasformándose en vapores, cuyo volúmen difiere poco de el del líquido. De esta suerte encontró M. Cagniard-Latour que el éter sulfúrico se reduce totalmente á vapor á 200 grados en un espacio menor que el doble de su volúmen en el estado líquido, y que entonces equivale la tension á 38 atmósferas.

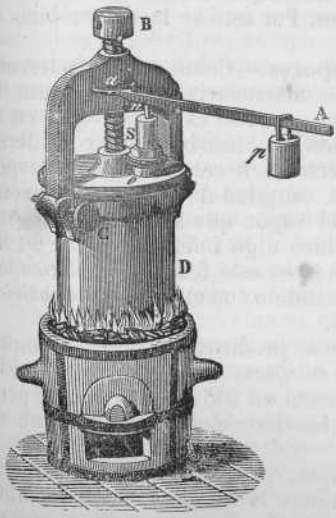


Fig. 191 (a=54).

304. **Marmita de Papin.** — El médico francés Papin, muerto en 1710, fué al parecer el primer físico que estudió los efectos de la produccion del vapor en vasijas cerradas. El aparato que lleva su nombre es una vasija cilíndrica de bronce D (fig. 191) con una tapadera que puede fijarse muy sólidamente por medio de un tornillo de presion B, que la mantiene oprimida contra la marmita, á pesar de la fuerza elástica del vapor, que tiende á levantarla. A fin de cerrar herméticamente el aparato, se pro-

cura, antes de apretar la tapadera, interponer algunas láminas de plomo entre sus bordes y los de la marmita. En la base de una cavidad cilíndrica que atraviesa el cilindro S y el tubo *o*, lleva la tapadera un pequeño orificio cubierto por un disco, en el cual se apoya una varilla *n*. Esta varilla, que atraviesa al cilindro y tubo, se halla sujeta contra el disco obturador por medio de una palanca A, móvil por su estremidad *a*. Un peso *p*, que se mueve á lo largo de la palanca A*a*, permite ejercer sobre la varilla *n* una presion tanto mayor, cuanto mas cerca está dicho peso de la estremidad A, por efecto de una propiedad bien conocida de las palancas (45). Pudiendo variar de esta suerte la carga del disco, se la regula de manera que cuando el vapor adquiera dentro de la marmita una determinada tension, 6 atmósferas, por ejemplo, se levante el disco y dé salida al vapor. Así puede evitarse que estalle el aparato, por cuyo motivo se denomina este mecanismo *válvula de seguridad*.

Calentando la marmita de Papin llena hasta los dos tercios de agua y tapada, puede sufrir el líquido mucho mas de 100 grados, y llegar la tension del vapor á bastantes atmósferas, segun la carga que se haya dado á la válvula de seguridad.

Si se abre entonces la válvula, se escapa silbando á grande altura una columna de vapor, y el agua de la vasija que aun no habia hervido, entra en ebullicion, bajando su temperatura á 100 grados.

Puede servir la marmita de Papin para aumentar la accion disolvente de los líquidos, facilitando los medios de darles una temperatura superior á su punto de ebullicion. Por esto se la da tambien el nombre de *digestor*.

305. **Calórico latente de los vapores.**—Como, segun la tercera ley de la ebullicion (296), permanece estacionaria la temperatura de los líquidos mientras dura el fenómeno, preciso es concluir que en la vaporizacion, lo mismo que en la fusion, es absorbida una considerable cantidad de calor, cuyo único efecto es hacer pasar los cuerpos de líquidos á aeriformes; porque esta cantidad de calor no reacciona sobre el termómetro, supuesto que el vapor que se desprende está siempre á una temperatura igual, ó bien algo inferior á la de su líquido. Debemos admitir, por lo mismo, en este fenómeno *calórico latente*, como en la fusion (278): designándolo con el nombre de *calórico de elasticidad*, ó *calórico de vaporizacion*.

Sea cual fuere la temperatura á que se produzca un vapor, siempre hay absorcion de calórico latente. Si se vierte en la mano un líquido volátil, éter, por ejemplo, se esperimenta un frio muy vivo que proviene del calórico de elasticidad, absorbido por el líquido que se evapora.

Watt habia establecido como ley que, para calentar, á partir de cero, y vaporizar un peso dado de agua, la cantidad total de calor era siempre la misma, y Southern, en 1803, dió esta otra ley, que el calor latente de vaporizacion es constante cualquiera que sea la presion. Pero segun las numerosas observaciones de M. Regnault sobre la tension de los vapores, estas dos leyes no pueden admitirse como exactas.

El calórico latente que absorben los vapores puede ser un gérmen de frio muy intenso, capaz de solidificar al mercurio (304) y hasta los gases, segun se verá esperimentalmente al hablar del aparato de Thilorier (309).

Pronto verémos (334) cómo se determina, por medio del cálculo, la cantidad de calor latente absorbida por los diferentes líquidos durante la vaporizacion.

306. **Frio debido á la evaporacion; congelacion del mercurio.** — Acabamos de ver que, cuando se vaporiza un líquido, es absorbida una considerable cantidad de calórico, en el estado latente, por el vapor que se desprende (303). Resulta de aquí que, si un líquido que se evapora no recibe una cantidad de calor equivalente á la que el vapor absorbe, baja su temperatura, siendo el enfriamiento tanto mayor cuanto mas rápida es la evaporacion.

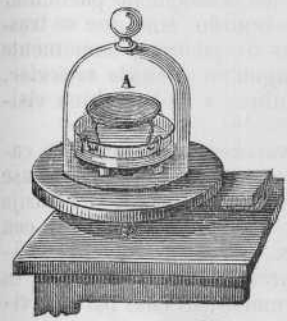


Fig. 192.

Leslie consiguió congelar el agua por el simple efecto de una rápida vaporizacion. Colócase al efecto debajo del recipiente de la máquina neumática una vasija de vidrio que contenga ácido sulfúrico concentrado, y encima una capsulita metálica A (fig. 192) con algunos gramos de agua. Al hacer el vacío, entra en ebullicion el agua (301); pero como son absorbidos por el ácido sulfúrico los vapores á medida que se van formando, se produce una rápida vaporizacion que determina muy pronto la congelacion del agua de la cápsula.

Si se opera con líquido mas volátil que el agua, particularmente con el ácido sulfuroso, que hierve á —10 grados, se produce un frio bastante intenso para congelar el mercurio. Se practica este esperimento, envolviendo con algodon una esfera de vidrio llena de mercurio, y luego, despues de haberla mojado con ácido sulfuroso, se coloca debajo del recipiente de la máquina neumática, y se hace el vacío, con lo cual queda muy pronto solidificado el mercurio.

Thilorier dirigió un chorro de ácido carbónico líquido sobre la esfera de un termómetro de alcohol, y vió que bajaba este á 100 grados bajo cero, sin que se congelase el alcohol; pero se ha visto ya (281) que con una mezcla de óxido nitroso líquido, ácido carbónico sólido y éter, M. Despretz ha conseguido producir un frio bastante intenso para reducir el alcohol al estado de un jarabe espeso.

El frio que produce la evaporacion se utiliza en los paises cálidos para refrescar el agua por medio de *alcarrazas*; que tal es el nombre que se da á unas vasijas de tierra bastante porosas para que el agua filtre lentamente al traves y vaya á evaporarse á la superficie, sobre todo si se las coloca en una corriente de aire.

LIQUEFACCION DE LOS VAPORES Y DE LOS GASES.

307. **Liquefaccion de los vapores.** — La *liquefaccion ó condensacion* de los vapores es su paso del estado aeriforme al de líquido. Tres son las causas que pueden determinar la condensacion, á saber, el enfriamiento, la compresion y la afinidad química. Las dos causas primeras exigen que se hallen los vapores en el estado de saturacion (291); pero la última produce la liquefaccion por enrarecidos que estén. Véase por qué muchas sales absorben, condensándole, el vapor de agua de la atmósfera, aunque se encuentre en ella en muy mínima proporcion.

El vapor que se enfria en la atmósfera ofrece el fenómeno particular de que no recobra inmediatamente el estado líquido, sino que se trasforma en vejiguillas huecas, como burbujas de jabon, y sumamente pequeñas. Dícese entonces que se halla el agua en el *estado vesicular*. En tal estado forma el vapor de agua las nubes, y se hace bien visible durante la ebullicion.

En el momento en que se condensan los vapores queda libre su calórico latente, es decir, se hace sensible al termómetro Compruébase esto haciendo llegar una corriente de vapor á 100 grados á una vasija de agua á la temperatura ordinaria; pues esta agua se calienta con rapidez y llega muy pronto á los 100 grados. Se admite que la cantidad de calórico que así restituyen los vapores que se condensan, es precisamente igual á la que absorben al formarse, lo cual parece evidente.

308. **Destilacion; alambiques.** — La *destilacion* tiene por objeto separar un líquido volátil de las sustancias fijas que tiene en disolucion, ó bien dos líquidos desigualmente volátiles. Fúndase esta operacion en la trasformacion de los líquidos en vapor por la accion del calórico, y en la condensacion de los vapores por el enfriamiento.

Los aparatos que sirven para la destilacion se llaman *alambiques*. Su forma puede variar al infinito, pero siempre constan de tres piezas principales, que son : 1.° la *cucúrbita* B (fig. 193), ó sea una caldera de cobre estañado, que contiene el líquido que se ha de destilar, y que entra por su parte inferior en un hornillo; 2.° el *capitel* A que se coloca sobre la cucúrbita para dar salida al vapor por un cuello lateral R; 3.° el *serpentin* C, que consiste en un largo tubo de estaño ó de cobre, arrollado en hélice y colocado en una cuba llena de agua fria [1]. El objeto del serpentin es condensar el vapor enfriándolo.

Si se quiere destilar agua de pozo ó de rio para purgarla de las sales que contiene en disolucion, y que son, sobre todo, sulfato de cal, carbonato de la misma base y cloruro de sodio, se la echa en la cucúrbita de manera que llene sus dos tercios, y se calienta hasta que entre en ebullicion. Los vapores que se desprenden van á condensarse en el serpentin, desde el cual pasa en seguida al recipiente D el agua que proviene de la condensacion.

---

[1] Llamada *refrigerante*. *(N. de J. P.)*

Como los vapores que se condensan calientan rápidamente el agua de la cuba (305), conviene renovar esta agua constantemente, pues de lo contrario, no se efectuaria la condensacion. Al efecto, un tubo *n*, alimentado de un modo continuo por una corriente de agua fria, conduce esta á la parte inferior de la cuba, mientras que el agua caliente, que es menos densa, va siempre á la superior, vertiéndose por un tubo *m* situado cerca del borde de la cuba.

Es necesario no apurar mucho la destilacion; porque, si contuviese

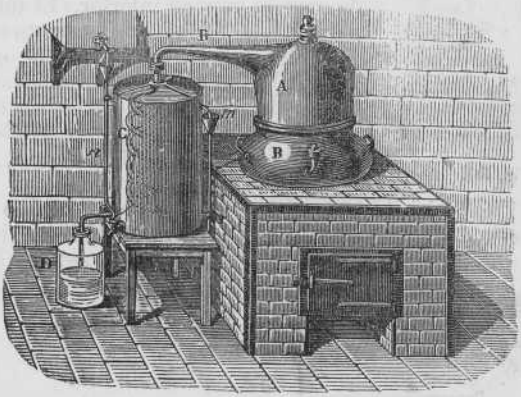


Fig. 193 (a = 1m,45).

el agua materias orgánicas, se descompondrian estas en las paredes calientes de la cucúrbita, dando orígen á productos volátiles.

El agua destilada es perfectamente clara, y no deja resíduo alguno despues de su evaporacion, pero contiene siempre algo de ácido carbónico; porque, como se encuentra este gas en todas las aguas naturales, solo se separa de ellas de un modo incompleto por medio de la destilacion. Podemos evitar la presencia de este gas, colocando en la cucúrbita cierta cantidad de cal que se combina con él y lo retiene.

Por destilacion, y por medio de alambiques análogos al descrito, se estrae de los vinos el alcohol que contienen.

309. **Absorcion; tubos de seguridad** —Se da el nombre de *absorcion*, en química, á un accidente que se produce en los aparatos que sirven para la preparacion de los gases, y que consiste, luego de recogidos estos en agua ó en mercurio, en que penetran estos líquidos en los aparatos, echando á perder la operacion.

Reconoce siempre por causa este accidente el esceso de la presion atmosférica sobre la tension del gas contenido en el aparato. Sea, en efecto, un gas, el ácido sulfuroso, por ejemplo, que se desprende de un matraz *m* (fig. 194), y que va á una probeta A llena de agua. Mientras se desprende activamente el gas, supera su tension á la presion atmosférica y al peso de la columna de agua *on*; el agua de la probeta no puede subir al tubo, y es imposible la absorcion; pero si decrece la

tension del gas, sea por entorpecerse el desprendimiento, sea por enfriarse el matraz, predomina la presion esterior, y cuando el esceso de esta sobre la interna es superior al peso de la columna de agua *co*, penetra el agua en el matraz y se pierde la operacion. Previénese este accidente por medio de los *tubos de seguridad*.

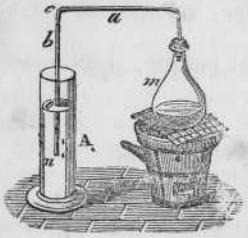


Fig. 194.

Tal es el nombre que se da á unos tubos que precaven la absorcion, permitiendo que entre el aire en los aparatos á medida que decrece la presion interior. El tubo de seguridad mas sencillo consiste en un tubo recto C*o* (fig. 195), que atraviesa el tapon que cierra el matraz M, en el cual se produce el gas, y que se introduce algunos centímetros en el líquido contenido en dicho matraz. Cuando disminuye la tension del gas en la vasija M, la presion atmosférica que se ejerce en el agua de la cuba E la hace subir á cierta altura en el tubo DA; pero dicha presion, que reina tambien en el tubo C*o*, tiende á deprimir otro tanto el líquido que se halla en este tubo, suponiendo que dicho líquido tenga sensiblemente la misma densidad que el agua de la cuba E.

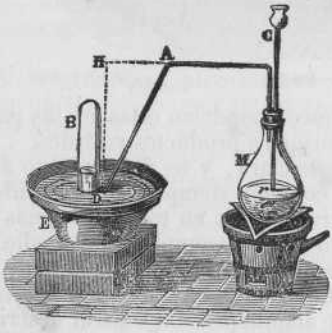


Fig. 195.

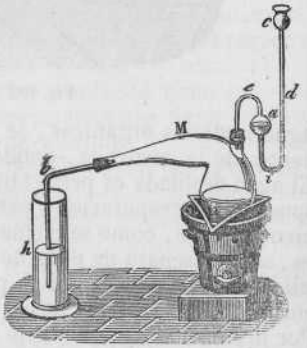


Fig. 196.

Como la distancia *or* es menor que la altura DA, entra el aire por el orificio *o* antes que el agua de la cuba llegue á A, y de consiguiente, no hay absorcion.

Tambien sirve el tubo C*o* para prevenir las esplosiones. Cuando es demasiado rápida la produccion del gas, y no basta el tubo para el desprendimiento, es repelido el líquido del matraz M hácia el esterior, escapándose por el tubo C, el cual se convierte á su vez en una salida para el gas, apenas desciende el nivel debajo del orificio *o*.

La figura 196 representa otra especie de tubo de seguridad, conocido con el nombre de *tubo en* S. Lleva este una esfera *a* con cierta cantidad de líquido, lo mismo que la rama *id*. Si la tension del gas

en la retorta M es superior á la presion atmosférica, sube el nivel en la rama *id* á mayor altura que en la esfera *a*; si vale una atmósfera, es el mismo el nivel en el tubo y en la esfera; y por último, si es menor que la presion atmosférica, baja el nivel en la rama *di*; y como se procura que la altura *ia* sea menor que *bh*, apenas el aire que entra por la esfera *c* llega á la parte curva *i*, levanta la columna líquida *ia* y penetra en la retorta antes que se haya elevado hasta *b* el agua de la probeta: de suerte que así se equilibra la tension interior con la presion esterior, no siendo posible la absorcion.

310. **Liquefaccion de los gases.** — Los gases no vienen á ser mas que vapores muy dilatados, y por lo mismo son, como estos, susceptibles de liquidarse. Pero, distando mucho de su punto de liquefaccion, solo se consigue esta mediante una presion ó un enfriamiento mas ó menos considerable. Para algunos basta la compresion simplemente, ó bien el enfriamiento; mas, la mayor parte exigen el uso simultáneo de estos dos medios. Pocos son los gases que resisten estas dos acciones combinadas, pues, hasta ahora, solo el oxígeno, el hidrógeno, el nitrógeno, el bi-óxido de nitrógeno y el óxido de carbono no han podido ser liquidados, si bien lo serian en el caso de poderlos someter á suficientes enfriamiento y presion.

Hemos visto ya (138) que M. Faraday liquidó muchos gases tenidos hasta entonces por permanentes. Consiste su procedimiento en encerrar dentro de un tubo de vidrio, encorvado á manera de sifon, varias sustancias que, por su reaccion química, dan orígen al gas que se trata de comprimir; de suerte que, ocupando dichas sustancias una de las ramas del sifon, el gas, á medida que va desprendiéndose, se comprime á sí mismo en la otra rama liquidándose. Pueden hallarse así sometidos los gases á presiones de 40 á 50 atmósferas; se enfria además el tubo por medio de mezclas frigoríficas, y un pequeño manómetro de aire comprimido, encerrado en el aparato, indica la presion.

Merced á este procedimiento consiguió Faraday liquidar el ácido carbónico á cero y á la presion de 35 atmósferas.

311. **Aparato para liquidar y solidificar el ácido carbónico.** —Requiriéndose una gran presion para que pase el ácido carbónico al estado líquido, son menester al efecto aparatos especiales sumamente sólidos. Thilorier construyó el primer aparato de este género. La figura 197 representa uno para liquidar el ácido carbónico, recientemente construido por los señores Deleuil. Es una modificacion del de Thilorier, pero una modificacion importante por lo que hace á la solidez.

Consta el aparato de dos cilindros P y Q, en un todo semejantes, ambos movibles en un plano vertical, alrededor de dos ejes sostenidos sobre dos montantes de fundicion VV. Dichos cilindros, que son de fundicion tambien, y que vienen á tener unos seis litros de capacidad, tienen tres centímetros de espesor; pero llevan en el sentido de su longitud cuatro nervios ó aros que sobresalen un centímetro del resto de la pared, y de ocho centímetros de anchura. Con objeto de dar al

aparato toda la resistencia necesaria, varias fajas de hierro dulce *m*, que principian en la parte superior de los cilindros, se encajan en el hueco formado por dos aros consecutivos, se arrollan en la region inferior de los cilindros, cuyo fondo es hemisférico, y luego pasan á la otra cara de los mismos para rematar en la estremidad de donde partieron. Por último, las fajas se hallan sólidamente retenidas por cuatro cercos *n*, *o*, *p*, *q*, de hierro dulce tambien. Antes de colocar estos aros, se les da la temperatura del rojo, de manera que, al enfriarse, ejercen por su contraccion una inmensa presion sobre las fajas longitudinales y los cilindros.

Vése en la cabeza de cada cilindro una llave M, compuesta de muchas piezas, y la manecilla *a* sirve para apretarla con fuerza contra una tuerca abierta en la masa de fundicion. En la llave hay un

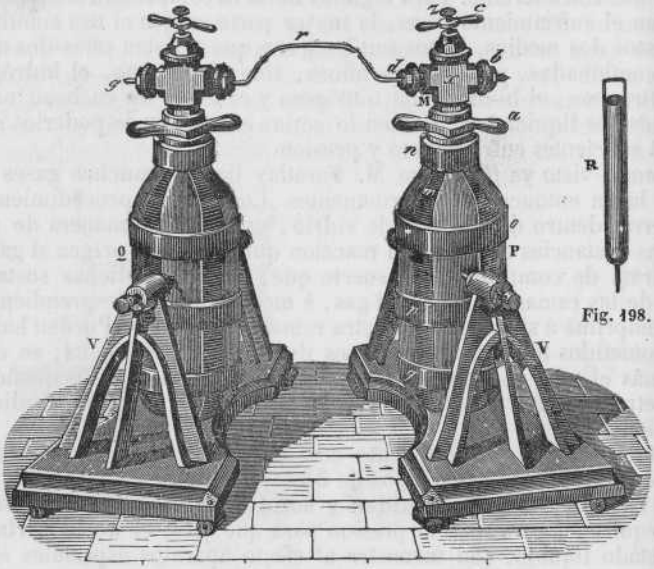


Fig. 198.

Fig. 197 (a=1m,05).

conducto vertical que se bifurca en *x* hácia *b* y *d*, poniendo así en comunicacion el interior del cilindro con dos orificios practicados en *b* y en *d*, de los cuales nunca se abre mas que uno á la vez. Un tornillo *z*, que se aprieta por medio de una llave *c*, sirve para cerrar el conducto interior antes de su bifurcacion en *x*. Comprímese al efecto una esfera de plomo que tapa herméticamente el orificio del conducto, interceptándose tambien de igual manera los orificios *b* y *d* por medio de tuercas de presion.

Como son idénticos los dos cilindros, uno, cualquiera de ellos, sirve de generador del ácido carbónico, y el otro de recipiente para

su liquidacion. Supongamos que sea el cilindro P el elegido para generador. Se quita la llave M, y en seguida se introducen en el cilindro 1800 gramos de bi-carbonato de sosa, 3 litros de agua á 39° y 1 quilógramo de ácido sulfúrico. A fin de que no descomponga este desde luego el bi-carbonato de sosa, se le vierte en un largo tubo R (fig. 198), de cobre, y que se coloca y deja abierto por la estremidad superior en el cilindro P.

Hecho esto, se coloca de nuevo la llave M apretándola con fuerza; el tornillo *z* se encarga de cerrarle, y luego se inclina suavemente el cilindro, haciéndole oscilar sobre sus dos puntos de apoyo, de manera que se vierta una corta cantidad de ácido sulfúrico de la vasija R, y caiga sobre el bi-carbonato. Inclínase así sucesivamente el cilindro, pero repetidas veces hasta tanto que haya desaparecido el ácido.

Se calcula que son siete minutos el tiempo necesario para que termine la reaccion química. El ácido carbónico que se formó se halla en parte liquidado y mezclado con el agua que sirvió para su preparacion; pero si se le hace comunicar con el otro cilindro Q, por medio de un tubo de cobre *r*, de corto diámetro, aflojando el tornillo *z*, el ácido carbónico va destilándose en el recipiente, liquidándose en él de nuevo por efecto de su propia presion. Thilorier evaluó en 50 atmósferas la presion que se origina en el recipiente, marcando 15° la temperatura.

Repitiendo cinco ó seis veces la misma operacion, se condensan en el recipiente hasta dos litros de ácido carbónico líquido.

Para obtener el mismo ácido en el estado sólido, tiene la llave del recipiente, en su parte inferior, un tubo que se introduce en el ácido líquido, y por lo mismo, al abrir un orificio *g* situado junto á la llave, brota ó salta con fuerza el ácido carbónico líquido por efecto de la presion que sufre, pasando al estado aeriforme. Pero solo se gasifica parte del líquido, porque es tan considerable el calórico latente absorbido que, cediendo el resto del líquido su calórico de liquidacion, se solidifica en copos blancos, cristalizados bajo una forma filamentosa.

El ácido carbónico sólido se evapora con mucha lentitud, pudiéndose comprobar entonces, por medio de un termómetro de alcohol, que su temperatura es próximamente de —90°. Con todo, puesto sobre la mano, no causa una sensacion de frio tan viva como pudiera creerse, porque no media contacto; mas si se le mezcla con éter, es tan intenso el frio, que un copo de ácido carbónico sólido, puesto sobre la carne, desorganiza los tejidos lo mismo que el fuego. Semejante mezcla solidifica en pocos segundos cuatro veces su peso de mercurio. Sumergiendo en ella un tubo lleno de ácido carbónico líquido, ha conseguido M. Faraday solidificar á este en una masa compacta presentando el aspecto de un pedazo de hielo bien trasparente.

312. **Aparato para liquidar el protóxido de nitrógeno.** — En el aparato de Thilorier, que se acaba de describir, el mismo ácido carbónico se comprime, al producirse, lo muy suficiente para liquidarse abundantemente. Pero no todos los gases se obtienen en condi-

ciones convenientes para liquidarse en virtud de su propia presion. Entonces es menester recurrir á una presion artificial, y así es como M. Natterer ha liquidado muchos gases comprimiéndolos en un cañon de fusil á beneficio de una bomba impelente.

M. Bianchi, constructor de instrumentos de física en Paris, ha modificado el aparato de M. Natterer, y le ha dado la forma que representa en perspectiva la fig. 199, y en seccion, sobre mayor escala,

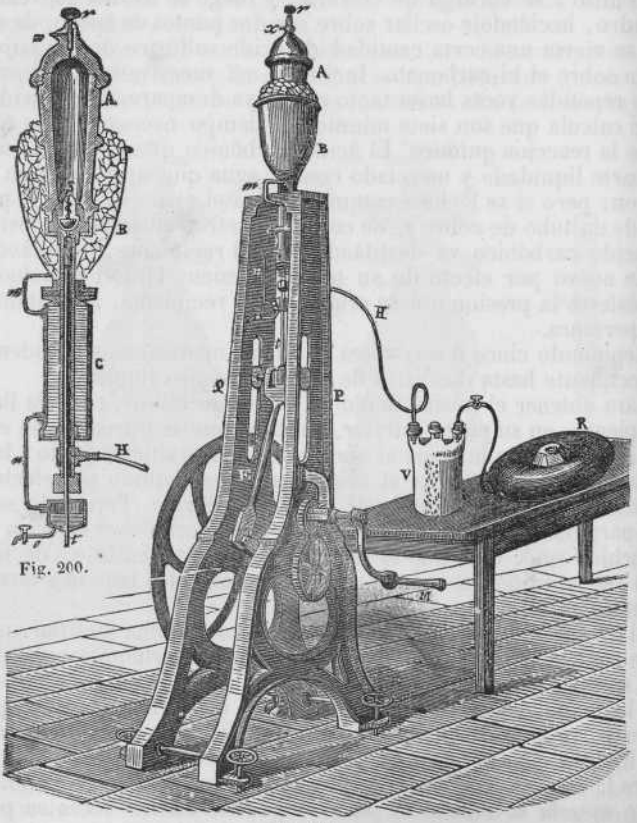


Fig. 200.

Fig. 199.

en la fig. 200. Este aparato se compone de un reservatorio A de hierro forjado, cuya capacidad es de 7 á 8 litros, y su resistencia es tal, que puede sufrir presiones superiores á 600 atmósferas. En la parte inferior de este reservatorio hay atornillada una pequeña bomba impelente. El vástago *t* de su piston recibe el movimiento de vaiven de una manivela E, articulada sobre un escéntrico movido á beneficio

de un engranaje y un manubrio M. Como la compresion del gas y el frotamiento del piston dan lugar á un gran desarrollo de calor, se rodea el reservatorio A de una cubeta B, en que se pone hielo; ahora bien, el agua procedente de la fusion de este hielo marcha por un tubo *m* á una capacidad cilíndrica de cobre C, que envuelve á la bomba impelente, y de aquí se desprende por un segundo tubo *n* y una llave *o*. En fin, todo el aparato está montado sobre un armazon de fundicion PQ.

Supuesto esto, se recoge de antemano el gas que se trata de liquidar en bolsas impermeables R, de donde se le dirige á un vaso V lleno de cloruro de calcio ó de otra sustancia desecante; luego pasa de allí á la bomba impelente por un tubo de goma elástica H. Cuando el aparato ha marchado un cierto tiempo, se desatornilla el reservatorio de encima de la bomba, lo cual se consigue sin que el gas liquidado pueda escapar, supuesto que el reservatorio A se encuentra herméticamente cerrado, en su parte inferior, por una válvula S (fig. 200). Para recoger luego el líquido contenido en el reservatorio, se invierte este y se desatornilla un boton *r*, que da salida al líquido por una pequeña tubuladura *x*.

La liquidacion mas notable obtenida con este aparato, es la del protóxido de nitrógeno. Una vez liquidado este gas, no se evapora sino lentamente, aunque esté en vasija abierta, y se mantiene á una temperatura fija de 88 grados bajo cero. El mercurio, cuando se le echa en pequeña cantidad, se congela al momento. Lo mismo le sucede al agua; pero siendo mucho mayor la cantidad de calórico latente que este líquido contiene con relacion al mercurio (333), es menester echarla gotita á gota, pues de lo contrario, el calórico, cedido al momento de la congelacion del agua, podia ser suficiente para hacer detonar al protóxido de nitrógeno.

Siendo fácilmente descompuesto por el calor el protóxido de nitrógeno, tiene la propiedad, como se sabe en química, de entretener la combustion casi tan vivamente como el oxígeno. Pues todavía conserva esta propiedad en el estado líquido, á pesar de su baja temperatura. Efectivamente, si se le echa un pedacito de carbon incandescente, este arde al momento con vivacidad.

MEZCLAS DE LOS GASES Y DE LOS VAPORES.

315. Leyes de las mezclas de los gases y de los vapores. —Toda mezcla de un gas y de un vapor presenta las dos leyes siguientes:

1.ª *La tension, y por consiguiente, la cantidad de vapor que satura un espacio dado, son las mismas, en igualdad de temperatura, cuando este espacio contenga un gas, ó bien esté vacío.*

2.ª *La fuerza elástica de la mezcla es igual á la suma de las fuerzas elásticas del gas y del vapor mezclados, refiriendo siempre el gas á su volúmen primitivo.*

Estas leyes, conocidas con el nombre de *leyes de Dalton*, que fué el primero que las dió á conocer, se demuestran por medio de un

aparato muy sencillo, debido á Gay-Lussac, y representado en la figura 201. Consta de un tubo de vidrio A, masticado por sus estremidades á dos llaves de hierro *b* y *d*. La llave inferior tiene un conducto que pone en comunicacion el tubo A con otro B de menor diámetro.

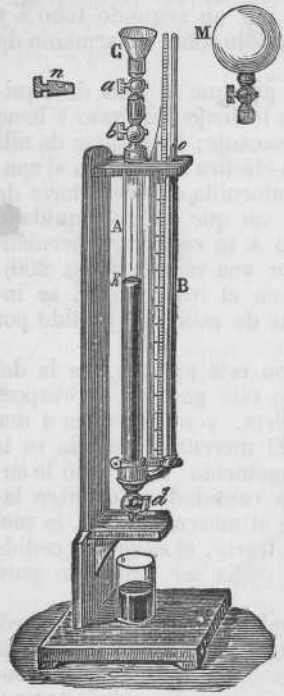


Fig. 201 (a = 1m,18).

Una escala, situada entre los dos tubos, mide la altura de las columnas de mercurio contenidas en cada uno de ellos.

Lleno de mercurio el tubo A, y cerradas las llaves *b* y *d*, se atornilla sobre *b*, en vez del embudo C, un globo de vidrio M cerrado á su vez por otra llave, y lleno de aire seco ó de cualquiera otro gas. Abriendo luego las tres llaves, se da paso por el tubo A á parte del mercurio, que es reemplazado por el aire seco del globo. Ciérranse entonces las llaves; y como se enrareció el aire en el espacio A al salir del globo, se encuentra á una presion menor que la atmosférica: se restablece esta echando mercurio en el tubo B, hasta que sea igual el nivel en ambos tubos. Por fin, se quita el globo y su llave, colocando en su lugar un embudo C, el cual tiene una llave *a* que difiere de las ordinarias. En efecto, no se halla atravesada de parte á parte, sino que lleva solamente una pequeña cavidad, conforme se vé en *n*, á la izquierda de la figura. Despues de echar en el embudo C el líquido que se quiere vaporizar, de anotar el nivel *k* del mercurio, y de abrir la llave *b*, se da vuelta á la *a* de manera que se llene de líquido su cavidad, invirtiéndola luego á fin de que penetre este en el espacio A y se evapore. Se continúa haciendo caer así gota á gota el líquido, hasta que el aire del tubo se halle saturado de vapor, lo cual se conoce en que cesa de bajar el nivel *k* del mercurio (289).

Como la tension del vapor en el espacio A se agrega á la del aire que ya contenia, aumenta el volúmen del gas, pero se le hace tomar fácilmente el volúmen primitivo, vertiendo de nuevo mercurio en el tubo B. Cuando el mercurio ha subido así, en el tubo mayor, al nivel *k* que tenia primero, se observa en los tubos B y A una diferencia de nivel B*o* que representa evidentemente la tension del vapor formado, porque habiendo recobrado el aire su volúmen primitivo, no varió su tension. Si se hacen pasar al vacío de un tubo barométrico algunas gotas del mismo líquido introducido en el espacio A, se observa una depresion igual precisamente á B*o*, lo cual demuestra bien

que, á igualdad de temperatura, es la tension de un vapor la misma en los gases que en el vacío, de donde se deduce que, siendo idéntica la temperatura, le sucede otro tanto á la cantidad de vapor.

En cuanto á la segunda ley, queda demostrada con el esperimento anterior, porque, cuando el mercurio ha recobrado su nivel k, resiste la mezcla la presion atmosférica que se ejerce en el vértice del tubo B, mas el peso de la columna de mercurio Bo. Estas dos presiones representan precisamente, la tension del aire seco la una, y la otra la tension del vapor. Por lo demás, podemos considerar la segunda ley como una consecuencia de la primera.

El aparato que acabamos de describir no permite hacer esperimentos mas que á la temperatura ordinaria; pero M. Regnault, por medio de un aparato susceptible de recibir diferentes temperaturas, comparó sucesivamente en el aire y en el vacío las tensiones de vapor de agua, de éter, de sulfuro de carbono y de bencina, y siempre pudo convencerse de que la tension en el aire es mas débil que en el vacío. Con todo, son tan mínimas las diferencias, que no invalidan la ley de Dalton y de Gay-Lussac; de manera que M. Regnault cree que se debe continuar admitiendo dicha ley como rigurosa teóricamente, atribuyendo las pequeñas diferencias comprobadas á la afinidad higroscópica de las paredes de los tubos.

314. **Problemas sobre las mezclas de gases y vapores.**

I. Dado un volúmen de aire seco V, á la presion A, se pregunta cuál será su volúmen V′ cuando esté saturado, permaneciendo constantes la temperatura y presion.

Si se representa por F la fuerza elástica del vapor que satura al aire, este, en la mezcla, solo está sometido á la presion A — F (311, 2°). Pero, segun la ley de Mariotte, los volúmenes V y V′, estando en razon inversa de las presiones que sufre, se tiene

$$V' : V :: A : A - F, \quad \text{de donde} \quad V' = \frac{VA}{A - F}.$$

II. Dado un volúmen de aire saturado V, á la presion A y temperatura t, ¿cuál será su volúmen V′, tambien saturado, á la presion A′ y á la temperatura t'?

Si se representa por f la tension máxima del vapor á t grados, y por f' tambien su tension máxima á t' grados, el aire solo, en cada una de las mezclas V y V′ estará sometido respectivamente á las presiones $A - f$ y $A' - f'$. Suponiendo desde luego la temperatura constante, se tendrá, pues, segun la ley de Mariotte,

$$V' : V :: A - f : A' - f'.$$

Para tener en cuenta el cambio de temperatura, es menester observar que, variando esta de t á t', los volúmenes crecen en la relacion de $1 + \alpha t'$ á $1 + \alpha t$, siendo α el coeficiente de dilatacion del aire; luego la fórmula buscada es, por último,

$$V' : V :: (A - f)(1 + \alpha t') : (A' - f')(1 + \alpha t).$$

III. Se quiere saber el peso P de un volúmen de aire V saturado de vapor de agua á la temperatura t y á la presion A.

El peso de 1 litro de aire seco, á 0° y presion de 0,76, siendo de 1gr,3; su peso, siempre á 0°, pero á la presion A, es $1\text{gr},3 \cdot \frac{A}{0,76}$, puesto que el peso de un gas es directamente proporcional á la presion; y en fin, á t grados, este peso está representado por

$$1\text{gr},3 \cdot \frac{A}{0,76} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \quad (271, \text{ prob. } 6).$$

Luego el volúmen de aire seco V pesa, á t grados y á la presion A,

$$1\text{gr},3 \cdot V \cdot \frac{A}{0,76} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \; [1];$$

pero, una vez que el aire está saturado, si se representa por F la fuerza elástica máximum del vapor, sucede que una porcion de este aire, cuyo peso seria

$$1gr,3 \,.\, V \,.\, \frac{F}{0,76} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \quad [2],$$

es reemplazada por vapor de agua cuya densidad es 0,6235, esto es, muy aproximadamente los $\frac{5}{8}$ de la del aire, en las mismas circunstancias de presion y temperatura; por consiguiente, el peso de este vapor es solo los $\frac{5}{8}$ del peso del aire que él ha desalojado, es decir,

$$1gr,3 \,.\, V \,.\, \frac{F}{0,76} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \cdot \frac{5}{} \quad [3].$$

Luego, por último, el peso buscado está representado por la fórmnla [1], disminuido de la fórmula [2] y aumentado de la fórmula [3], lo cual da

$$P = 1gr,3 \,.\, V \,.\, \frac{A - F + \frac{5}{8} F}{0,76} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} = 1gr,3 \,.\, V \,.\, \frac{A - \frac{3}{8} F}{0,76} \cdot \frac{1}{1+\alpha t}.$$

* ESTADO ESFEROIDAL,

315. **Esperimentos de M. Boutigny.** —Los líquidos vertidos sobre superficies metálicas incandescentes presentan fenómenos notables, observados la primera vez por Leidenfrost, hace cerca de un siglo, y estudiados luego por varios físicos; pero Boutigny es quien particularmente, de algunos años á esta parte, ha dado á conocer muchos curiosos esperimentos, de los cuales vamos á esponer los principales.

Si despues de haber calentado hasta el rojo una cápsula de plata ó de platino, de paredes gruesas, se echan en ella algunos gramos de agua por medio de una pipeta, se nota que no se estiende el líquido mojando la cápsula, conforme lo verifica á la temperatura ordinaria, sino que toma la forma de un globo aplanado, que es lo que M. Boutigny espresa diciendo que pasa el líquido al *estado esferoidal*. En tal estado, anima al agua un rápido movimiento giratorio sobre el fondo de la cápsula, y no solo no entra en ebullicion, sino que se evaporiza con una lentitud 50 veces menor que si estuviese en ebullicion. Por último, si se enfria la cápsula, llega un momento en que no está bastante caliente para mantener el agua en estado esferoidal; moja el líquido sus paredes, y se manifiesta de repente una violenta ebullicion.

Todos los líquidos pueden tomar el estado esferoidal; pero la temperatura necesaria para que se produzca el fenómeno es tanto mas alta, cuanto mas lo es el punto de ebullicion del líquido. Para el agua hay que calentar la cápsula por lo menos hasta 200 grados, y hasta 134 para el alcohol.

M. Boutigny observó que la temperatura de los líquidos en el estado esferoidal es constantemente inferior á la de su ebullicion. El agua, por ejemplo, no pasa de 95°,5; el alcohol, de 75°,5; el éter, de 34, y el ácido sulfuroso, de —10°,5. Pero la temperatura del vapor que se desprende es igual á la de la cápsula, de lo cual debemos deducir que no se forma en la masa del líquido.

Esta propiedad de los líquidos, en el estade esferoidal, de mantenerse á una temperatura inferior á la de su punto de ebullicion, condujo á

á M. Boutigny al notable esperimento de la congelacion del agua en una cápsula incandescente. Calienta dicho físico al rojo-blanco una cápsula de platino, y vierte en ella algunos gramos de ácido sulfuroso anhidro. Este líquido que solo hierve á —10 grados, se comporta en la cápsula conforme acabamos de decir, es decir, que su temperatura permanece inferior á —10 grados. Añadiendo en seguida al ácido sulfuroso una corta cantidad de agua, se congela esta inmediatamente, enfriada por el ácido, y, como continúa roja la cápsula, se saca de ella, no sin grande asombro, un pedazo de hielo.

En el estado esferoidal, no hay contacto entre el líquido y el cuerpo caliente, conforme se convenció de ello M. Boutigny, haciendo enrojecer una lámina de plata dispuesta bien horizontalmente, y vertiendo encima un gramo de agua colorada de negro. Este líquido pasa al estado esferoidal, y colocando entonces la llama de una bujía á cierta distancia en la prolongacion de la placa, se distingue con claridad y de un modo contínuo dicha llama entre el esfercide de agua y la placa. De aquí se deduce que el líquido se mantiene á corta distancia de esta, ó que sus vibraciones son bastante rápidas para que la vista no las perciba.

Esplícanse los fenómenos que presentan los líquidos en el estado esferoidal, admitiendo que el glóbulo líquido se halla sostenido á distancia de la vasija por la tension del vapor que se produce en su superficie; de suerte que, como no se calienta el líquido por contacto, sino tan solo por radiacion, se vaporiza muy lentamente, y sobre todo, si se tiene en cuenta que, siendo diatérmana el agua para los rayos emitidos por un foco intenso, la atraviesa sin calentarla la mayor parte del calórico radiante. Cree M. Boutigny que la causa que se opone á que moje el líquido al metal es una fuerza repulsiva que se produce entre el cuerpo caliente y el líquido, repulsion que seria tanto mas intensa, cuanto mas alta fuese la temperatura. Está acorde esa hipótesis con el siguiente esperimento que en Inglaterra hizo M. Perkins. Puesta una llave sobre un generador de vapor, debajo del nivel del agua, no manaba el líquido mientras tenian las paredes una temperatura muy alta, aunque fuese considerable la presion interior; pero saltaba con fuerza el líquido, apenas bajaba la temperatura.

DENSIDAD DE LOS VAPORES.

316. **Método de Gay-Lussac.** — Denomínase *densidad de un vapor* la relacion entre el peso de cierto volúmen de un vapor y el de un mismo volúmen de aire, en igualdad de temperatura y de tension.

Dos son los métodos que se han seguido para determinar la densidad de los vapores: el primero, debido á Gay-Lussac, es aplicable á los líquidos que entran en ebullicion á una temperatura inferior ó muy poco superior á 100 grados; y el segundo, debido á M. Dumas, permite operar á temperaturas que pueden llegar hasta unos 360 grados.

La figura 202 representa el aparato de Gay-Lussac. Consta de una cazuela de fundicion llena de mercurio, en la cual se introduce un ci-

lindro de vidrio M. Se halla este lleno de agua ó de aceite, cuya temperatura indica un termómetro T. En el interior del cilindro hay una campana graduada C, que en un principio está llena de mercurio.

Para trabajar con este aparato, se introduce el líquido que debe vaporizarse en una ampollita de vidrio como se representa en A, á la izquierda de la figura; cerrando en seguida dicha ampollita á la lámpara, se la pesa, y restando del peso obtenido el de la ampollita vacía, se tiene el del líquido que se introdujo. Se hace pasar entonces la ampollita á la campana C, y se calienta gradualmente hasta que el agua del cilindro llegue á tener una temperatura algunos grados superior á la que necesita para entrar en ebullicion el líquido de la ampollita. Estalla esta por la dilatacion del líquido que contiene, y al vaporizarse este deprime al mercurio de la campana, conforme se ve en el grabado. La ampollita debe ser suficientemente pequeña para que todo su líquido se reduzca á vapor, segun se verifica cuando, llegado el baño á la temperatura de ebullicion del líquido de la ampollita, permanece, sin embargo, el nivel del mercurio un poco mas alto en el interior de la campana que en el esterior. Esto prueba, en efecto, que no queda líquido sin vaporizar, porque en tal caso el nivel interior seria sensiblemente el mismo que el esterior (299). Se está, pues, seguro de que el peso del líquido de la ampollita representa con exactitud el peso del vapor que se formó en la campana C. Por lo que hace al volúmen de este vapor, se averigua por medio de la escala graduada de la campana; da su temperatura el termómetro T, y su presion es igual á la altura del barómetro, menos la del mercurio que queda en la campana. Solo falta calcular el peso de un volúmen de aire que fuese igual al del vapor en las mismas condiciones de temperatura y de presion; y por último, dividiendo el peso del vapor por el del aire, el cociente es la densidad ó el peso específico que se buscaba.

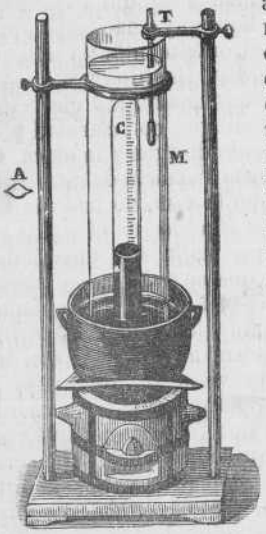


Fig. 202 (a = 51).

Hé aquí, por lo demás, la marcha que en estos cálculos debe seguirse. Representemos por p el peso del vapor en gramos, por v su volúmen en litros, por t su temperatura, por A la altura del barómetro, y por a la del mercurio en la campana, de donde resulta que la presion del vapor es $A - a$.

Se trata de obtener el peso de un volúmen de aire v á la temperatura t y á la presion $A - a$. Como á cero y á la presion de 0m,76 pesa un litro de aire 1gr,3, el peso del volúmen v, á la misma presion y á cero, es 1gr,3 $\times v$. Para calcular el peso del mismo volúmen de aire á t grados, sea α el coeficiente de dilatacion del aire; claro está que el volúmen debe aumentar de cero á t grados, en la relacion de 1 á $1 + \alpha t$; y al contrario, el peso, en igualdad de volúmen, varia en razon inversa de $1 + \alpha t$ á 1. Por lo tanto, el peso del volúmen de aire v, á t grados y á la presion de 0m,76, es $\frac{1gr,3 \times v}{1 + \alpha t}$.

En fin, siendo el peso de un mismo volúmen de aire proporcional á la presion, se pasa

de la presion 0m,76 á la $A-a$, multiplicando la cantidad $\frac{1gr,3\times v}{1+\alpha t}$ por $\frac{A-a}{0,76}$, lo cual da $\frac{1gr,3\times v(A-a)}{(1+\alpha t)\times 0m,76}$, para el peso p' de un volúmen de aire v, á la presion de 0m,76 y á t grados. De consiguiente, resulta, para la densidad buscada, $D=\frac{P}{p'}=\frac{p(1+\alpha t)\,0m,76}{1gr,3\,v\,(A-a)}$.

317. Método de M. Dumas. — El procedimiento que acabamos de describir no es aplicable á los líquidos cuyo punto de ebullicion pasa de 150 á 160 grados. En efecto, para dar esta temperatura al aceite, hay que calentar el mercurio á un grado tal, que emite vapores peligrosos de respirar. Además, en la campana graduada, la tension de los vapores mercuriales tiende á agregarse á la del vapor, lo cual seria una causa de error.

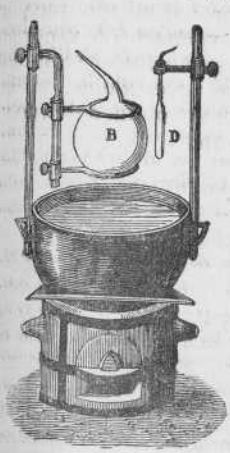


Fig. 203 (a = 10).

El siguiente procedimiento, debido á M. Dumas, permite operar hasta la temperatura á que se deforma el vidrio, es decir, á unos 360 grados. Consta el aparato de un globo de vidrio B con cuello afilado (fig. 203), como de medio litro de capacidad. Despues de haber secado bien el globo interior y esteriormente, se le pesa mientras solo contiene aire, con lo cual tenemos el peso P del vidrio. Se introduce en seguida por la punta afilada el líquido que se trata de vaporizar; y luego se introduce el globo en un baño de sal, ó en uno de aceite de manos de buey ó de aleacion de d'Arcet, segun la temperatura de ebullicion del líquido del globo. A fin de sostener este en el baño, se fija, en una de las asas del perol que le contiene, una barra de hierro, á lo largo de la cual puede correr un sosten del mismo metal. Este sosten lleva dos anillos, entre los cuales se coloca el globo, conforme se ve en el grabado. En la otra asa, una barra, semejante á la primera, sostiene un termómetro de peso D.

Introducidos el globo y el termómetro en el baño, se calientan á una temperatura algo mayor que la de ebullicion del líquido del globo; y el vapor, al salir por la punta afilada, espulsa al aire del aparato. En el momento en que cesa la salida del vapor, que se verifica luego de vaporizado todo el líquido, se cierra á la lámpara, con un soplete, la punta, procurando anotar en seguida la temperatura del baño y la altura del barómetro. En fin, una vez frio el globo y enjugado con el mayor esmero, se le pesa de nuevo, y el peso P' que se obtiene, representa el del vapor que contiene, mas el del vidrio, menos el del aire desalojado (176). Se obtiene el peso del vapor restando de P' el peso del vidrio, y sumando con la diferencia el peso del aire desalojado, lo cual será fácil despues de determinar el volúmen del globo.

Al efecto, se introduce la punta en el mercurio, y se rompe su estremidad con unas pinzas; y como al condensarse el vapor se hizo el vacío en el aparato, resulta que á él se precipita el mercurio por efecto de la presion atmosférica, llenándole por completo, si es que fué espulsado todo el aire. Vertiendo en seguida en una campana graduada el mercurio que entró en el globo, se determina el volúmen de este último á la temperatura ordinaria; por medio del cálculo se deduce fácilmente el del globo, á la temperatura del baño (271, problema 5), y por lo tanto, el del vapor á la misma temperatura. Llegado que sea, lo mismo por medio de este procedimiento que por el de Gay-Lussac, á conocer el peso de cierto volúmen de vapor, á una temperatura y á una presion determinadas, se efectúa el resto del cálculo conforme antes dijimos. Si quedase aire en el globo, no se llenaria este por completo de mercurio, sino que el volúmen del mercurio introducido representaria tambien el del vapor.

Densidades de algunos vapores con relacion al aire, un poco despues del punto de ebullicion de su líquido.

Aire.	1,0000	Vapor de sulfuro de carbono. .	2,6447
Vapor de agua.	0,6235	— de esencia de trementina.	3,0130
— de alcohol.	1,6138	— de mercurio.	6,976
— de éter sulfúrico.	2,5860	— de iodo.	8,716

318. **Relacion entre un volúmen de líquido y el de su vapor.** — Conocida la densidad de un vapor, se deduce de ella fácilmente el volúmen que un peso dado del mismo debe ocupar, en el estado de saturacion, á tal ó cual temperatura. Propongamos, por ejemplo, calcular el volúmen de un gramo de vapor de agua á 100 grados y á la presion de 0m,76.

Siendo la densidad del vapor de agua á 100 grados, con relacion á la del aire, 0,6235, se obtiene el peso de un litro de aquel á 100 grados y á la presion de 0m,76, buscando el de un litro de aire á iguales temperatura y presion, y multiplicando este peso por 0,6235. Hemos visto (271, probl. 6) que, representando por P' el peso de un litro de aire á t grados, por P el del mismo volúmen á cero, y por α el coeficiente de dilatacion del aire, resulta $P = P'(1+\alpha t)$; de donde $P' = \frac{P}{1+\alpha t}$. De consiguiente, en el caso en cuestion, el peso de un litro de aire seco, á 100 grados, es $\frac{1gr,3}{1+0,00366\times100} = \frac{1gr,3}{1,366} = 0gr,951$; de manera que 1 litro de vapor, saturado á 100 grados y á la presion de 0m,76, pesa $0gr,951\times0,6235 = 0gr,592$.

Para tener, á la misma temperatura y á igual presion, el volúmen V ocupado por 1 gramo de vapor, no hay mas que dividir 1 gr. por 0gr.592; de donde $V = 1lit,689 = 1689$ centímetros cúbicos. Trasformándose en vapor á 100 grados y á la presion de 0m,76, adquiere, pues, el agua un volúmen cerca de 1700 veces mayor que en el estado líquido.

CAPITULO VI.

HIGROMETRIA.

319. **Objeto de la higrometría.** — La *higrometria* tiene por objeto determinar la cantidad de vapor de agua contenido en un volúmen determinado de aire. Es muy variable esta cantidad, pero jamás se halla el aire saturado de vapor de agua, por lo menos en nuestros climas. Tampoco se lo observa nunca completamente seco, porque si se esponen á su accion sustancias *higrométricas*, es decir, de gran afinidad

por el agua, como el cloruro de calcio ó el ácido sulfúrico, en todas ocasiones absorben dichas sustancias vapor de agua.

320. **Estado higrométrico.**—Como en general nunca está saturado el aire, se llama *estado higrométrico ó fraccion de saturacion* del aire la relacion de la cantidad actual de vapor de agua que contiene con la que contendria si estuviese saturado, siendo idéntica en ambos casos la temperatura. El estado higrométrico del aire no depende de la cantidad absoluta de vapor acuoso contenido en la atmósfera, sino de la mayor ó menor distancia á que se encuentra el aire del estado de saturacion. El aire, cuando está frio, puede ser muy húmedo con poco vapor, y muy seco, por el contrario, con una mayor cantidad, cuando él está caliente. Por ejemplo, el aire contiene, en general, mas agua en verano que en invierno, y sin embargo, está menos húmedo, porque siendo la temperatura mas elevada, el vapor dista mas de su punto de saturacion. Del mismo modo, cuando se calienta una habitacion, no se disminuye la cantidad de vapor que hay en el aire; pero se disminuye la humedad de este, porque retrocede su punto de saturacion. El aire puede tambien quedar entonces bastante seco para perjudicar á la economía animal; por esto conviene poner sobre las estufas una vasija que contenga agua.

Aplicándose la ley de Mariotte lo mismo á los vapores no saturados que á los gases, resulta que á igualdad de temperatura y de volúmen, el peso del vapor, en un espacio sin saturar, crece como la presion, y por consiguiente, como la tension del mismo vapor. Podemos sustituir, pues, en lugar de la relacion de las cantidades de vapor, la de las fuerzas elásticas correspondientes, y decir que el estado higrométrico del aire es *la relacion entre la fuerza elástica del vapor de agua que contiene y la del que contendria á igual temperatura, si estuviese saturado.*

Como consecuencia de esta segunda definicion, debe notarse que, si la temperatura varía, puede contener el aire la misma cantidad de vapor, y no presentar, sin embargo, el mismo estado higrométrico. Por ejemplo, cuando aumenta la temperatura, la fuerza elástica del vapor que contendria el aire, en el estado de saturacion, crece con mas rapidez que la del que en la actualidad se encuentra en él, y entonces se hace menor la relacion de dichas fuerzas, es decir, el estado higrométrico.

Pronto se verá cómo del estado higrométrico se deduce el peso del vapor en un volúmen dado de aire.

321. **Diferentes especies de higrómetros.** — Denomínanse *higrómetros* los instrumentos que sirven para determinar el estado higrométrico del aire. Muchos han sido ideados, pero solo podemos referirlos á cuatro clases principales, que son: los higrómetros químicos, los de absorcion, los de condensacion y los psycrómetros.

El método del psycrómetro consiste en observar simultáneamente dos termómetros, seco el uno, y con el reservatorio constantemente mojado el otro. De la diferencia de sus temperaturas, de la temperatura absoluta de uno de ellos, y por fin, de la altura barométrica en el

momento de la observacion, se obtiene, por medio del cálculo, la fraccion de saturacion del aire. No describirémos el psycrómetro, porque aun no se hallan acordes los físicos acerca de la fórmula matemática que dió, para uso de dicho instrumento, su inventor M. Augusto.

322. **Higrómetros químicos.** — Toda sustancia dotada de gran afinidad por el vapor de agua es un *higrómetro químico.* Se introduce una de estas sustancias, por ejemplo, cloruro de calcio, en un tubo en U; y luego se pone este en comunicacion con la parte superior de un aspirador lleno de agua, como el que entra en la figura 206. A medida que fluye el agua del aspirador, entra en él el aire por el tubo que contiene la sustancia desecante, la cual absorbe todo el vapor de aquel. Si se ha pesado, pues, antes del esperimento el tubo con las materias que tiene dentro, y si despues se le vuelve á pesar, el aumento de peso da la cantidad de vapor de agua contenido en un volúmen de aire igual al del aspirador; y de este peso se deduce en seguida, por medio del cálculo, el estado higrométrico del aire.

323. **Higrómetros de absorcion.** — Los higrómetros de absorcion están fundados en la propiedad que poseen las sustancias orgánicas de alargarse por la humedad y de acortarse por la sequedad. Muchos son los higrómetros de absorcion; pero el mas usado es el *higrómetro de cabello* ó *higrómetro de Saussure*, que es el apellido de su inventor. Consta de un bastidor de cobre (fig. 204), en el cual se halla tenso un cabello *c*, préviamente desengrasado en agua que lleve en disolucion una centésima de su peso de subcarbonato de sosa. Tambien se le puede desengrasar sumergiéndolo durante veinte y cuatro horas en éter sulfúrico, segun lo hace M. Regnault. Si no estuviese desengrasado el cabello, absorberia muy poco vapor, y seria muy corta su prolongacion, mientras que, libre de toda materia grasienta, se alarga rápidamente al pasar de la sequedad á la humedad.

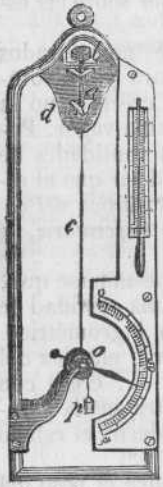


Fig. 204 (a = 27).

Se halla sostenido el cabello *c* en su estremidad superior por una pinza *a*, sujeta por un tornillo de presion *d*. Sube ó baja esta pinza para tender el cabello, mediante un tornillo *b* de tuerca fija. Si estuviese anudado el cabello, la torsion indispensable ocasionaria una prolongacion irregular. Se arrolla y fija inferiormente en una polea *o* de dos gargantas. En la segunda garganta se arrolla, en sentido contrario del cabello, un hilo de seda que lleva un pequeño peso *p*; y el eje de la polea sostiene una aguja que se mueve sobre un cuadrante graduado. Cuando se encoge el cabello, la traccion que ejerce levanta la aguja, y cuando se alarga, el peso *p* la hace descender.

Para la graduacion del cuadrante, se marca cero en el punto en donde, á la temperatura ordinaria, se detiene la aguja en el aire completamente seco, 100 en el en que se para en aire saturado de vapor

de agua; y por fin, se divide el intervalo entre estos dos puntos en 100 partes iguales, que son los grados del higrómetro.

El cero, ó el punto de estrema sequedad, se determina colocando el higrómetro debajo de una campana de vidrio, cuyo aire se seca por medio de sustancias muy ávidas de agua, como cloruro de calcio ó carbonato de potasa calcinado. El aire de la campana pierde su humedad, y de consiguiente, se acorta el cabello, haciendo girar la polea y su aguja, pero con mucha lentitud. Solo al cabo de los quince ó veinte dias permanece estacionaria la aguja, lo cual indica, que el aire de la campana está completamente seco. Señálase entonces cero en el cuadrante en el punto correspondiente á la aguja.

Se obtiene la posicion del punto de estrema humedad, quitando de la campana las materias desecantes, y mojando sus paredes con agua destilada. Al evaporarse esta, satura muy pronto al aire, alargándose con rapidez el cabello; y el pequeño peso, cuyo hilo se arrolla en sentido contrario que aquel, hace mover la aguja hácia el lado opuesto al cero. En menos de dos horas vuelve á quedar estacionaria, marcándose entonces 100 en el punto en que se para.

Segun Saussure, un cabello tenso por un peso de 3 decígramos, se alarga de cero á 100, $^1/_{10}$ de su longitud, que es de unos 20 centímetros. Los cabellos rubios son los que, al parecer, se prolongan con mas regularidad.

Se desprecia la dilatacion del cabello por efecto de las variaciones de temperatura, porque se ha notado que, por una diferencia de 33 grados en la temperatura del aire, la prolongacion del cabello solo hace recorrer á la aguja $^3/_4$ de un grado del higrómetro. Aparte esta remisa dilatacion, se observa que, sea cual fuere la temperatura, vuelve siempre exactamente la aguja del higrómetro al cero en el aire perfectamente seco, y á 100 grados en el saturado. La fijeza de este último punto demuestra que, en el aire saturado, absorbe siempre el cabello la misma cantidad de agua, sean cuales fueren la temperatura, y de consiguiente, la densidad del vapor.

Muchos son los inconvenientes de los higrómetros de cabello. Construidos con cabellos de diferentes especies, pueden variar en muchos grados sus indicaciones, por mas que convengan en sus puntos fijos. Además, un mismo higrómetro no es comparable consigo mismo, porque se alarga el cabello con motivo de la prolongada tension del peso que de él cuelga. Por eso, el mejor sistema de graduacion es un cuadrante entero, de cero arbitrario, en el cual se determina de cuando en cuando la posicion de los puntos de estrema sequedad y humedad. Aun cuando satisfaga estas condiciones, presenta aun el higrómetro de cabello el inconveniente de no dar desde luego el estado higrométrico del aire. Vamos á dar á conocer una tabla que Gay-Lussac construyó para deducir el estado higrométrico del aire de las indicaciones del higrómetro del cabello.

324. Tabla de correccion hecha por Gay-Lussac. — La esperiencia demuestra que las indicaciones del higrómetro de cabello no son proporcionales al estado higrométrico del aire. Por ejemplo,

cuando marca la aguja 50 grados, que es el número que corresponde á la parte media del cuadrante, dista mucho de ofrecer el aire una semi-saturacion. Preciso ha sido, pues, encontrar esperimentalmente el estado higrométrico qne corresponde á cada grado del instrumento. Gay-Lussac resolvió este problema, fundándose en el principio (295) de tener los vapores que provienen de una disolucion salina ó ácida una tension máxima, tanto mas débil para una misma temperatura, cuanto mas considerable es la cantidad disuelta de sal ó de ácido.

Colocaba Gay-Lussac el higrómetro de cabello debajo de una campana con una mezcla de agua y de ácido sulfúrico, y anotaba el grado del higrómetro, despues de saturado el aire. Obtenia luego la tension del vapor, haciendo pasar al vacío de un barómetro algunas gotas de la misma disolucion salina que habia puesto debajo de la campana. La depresion del mercurio en el barómetro le daba entonces la tension del vapor, puesto que, en el estado de saturacion y en igualdad de temperatura, la fuerza elástica de un vapor es la misma en el vacío que en el aire (313, 1.°). Buscando, por fin, en las tablas de las fuerzas elásticas la tension del vapor saturado á la temperatura del aire de la campana, se tenian los dos términos de la relacion que representaban el estado higrométrico. Repitiendo este esperimento con disoluciones ácidas, mas ó menos concentradas y á la temperatura de 10 grados, encontró diez términos de la tabla siguiente: los otros han sido determinados por Biot, con fórmulas de interpolacion.

Estados higrométricos correspondientes á los grados del higrómetro de cabello á la temperatura de 10°.

GRADOS del higrómetro.	ESTADOS higrométricos.	GRADOS del higrómetro.	ESTADOS higrométricos.
0	0,000	55	0,318
5	0,022	60	0,363
10	0,046	65	0,414
15	0,070	70	0,472
20	0,094	72	0,500
25	0,128	75	0,538
30	0,148	80	0,612
35	0,177	85	0,696
40	0,208	90	0,794
45	0,241	95	0,894
50	0,278	100	1,000

La tabla anterior demuestra que á 72 grados está semi-saturado el aire; y como á este punto corresponde las mas de las veces la aguja del higrómetro en la superficie del suelo, se deduce de aquí que el aire contiene por término medio la mitad del vapor que contendria si estuviese saturado. En nuestros climas nunca baja el higrómetro hasta 100 grados, aun cuando reinen las mas copiosas lluvias; y en las mayores sequías, raras veces sube mas allá de los 30 grados. Cuando se asciende en la atmósfera, marcha en general hácia el cero; y en la as-

nos fácilmente en el interior de su masa. Admítese que se verifica este género de propagacion por una radiacion interna de molécula á molécula. Como no todos los cuerpos conducen con igualdad el calórico, se llaman *buenos conductores* los que lo trasmiten fácilmente, como son, sobre todo, los metales; y se da el nombre de *malos conductores* á los que ofrecen mayor ó menor resistencia á la propagacion del calor, como son el vidrio, las resinas, las maderas, y sobre todo, los líquidos y los gases.

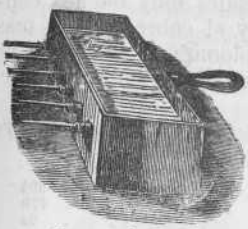


Fig. 207 (1=22).

Para comparar el poder conductor de los sólidos, construyó el médico holandés Ingenhousz, que murió á fines del siglo pasado, un aparatito que lleva su apellido (fig. 207). Consiste en una caja de hoja de lata, á la cual se fijan, por medio de orificios y de tapones, varias barritas de diversas sustancias, como por ejemplo, hierro, cobre, madera y vidrio. Estas barritas penetran algunos milímetros en el interior de la caja, y se hallan cubiertas de cera blanca, que se funde á 61°. Llena de agua hirviendo la caja, se nota que en algunas barritas entra muy pronto en fusion la cera á mayor ó menor distancia, mientras que en

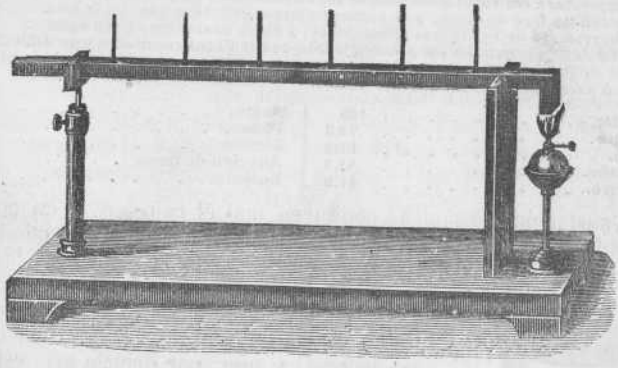


Fig. 208 (1=84).

otras no se nota ningun indicio de fusion. El poder conductor es, evidentemente, tanto mas intenso, cuanto mayor es la distancia á que se fundió la cera.

M. Despretz midió los poderes conductores de los sólidos con el aparato representado en la figura 208. Consiste en una barra prismática que lleva de decímetro en decímetro pequeñas cavidades llenas de mercurio, y con un termómetro cada una de ellas. Espuesta dicha barra, por una de sus estremidades, á un foco constante de calor, se ve que los termómetros suben sucesivamente á partir del foco, y que indican temperaturas fijas, pero decrecientes de uno

á otro termómetro. Merced á este procedimiento, comprobó M. Despretz la siguiente ley, que por vez primera formuló Lambert de Berlin : *Si las distancias al foco crecen en progresion aritmética, los escesos de temperatura sobre el aire ambiente decrecen en progresion geométrica.*

Con todo, solo es exacta esta ley en los metales muy buenos conductores, como el oro, el platino, la plata y el cobre; no es mas que aproximada para el hierro, el zinc, el plomo y el estaño, y de ninguna manera aplicable á los cuerpos no metálicos, como el mármol, la porcelana, etc.

Representando por 1000 el poder conductor del oro, encontró M. Despretz, que el de las sustancias siguientes es :

Platino	981	Estaño	304
Plata	973	Plomo	179
Cobre	898	Mármol	24
Hierro	374	Porcelana	12
Zinc	363	Tierra de ladrillos	11

* Los señores Wiedmann y Franz publicaron en 1853, en los anales de Poggendorf, el resultado de largas investigaciones sobre la conductibilidad de los metales. Con objeto de no alterar la forma de las barras metálicas abriendo en ellas cavidades, conforme lo habia hecho M. Despretz, destruyendo asi parcialmente la continuidad de los metales, se valieron aquellos físicos de un procedimiento que evitaba tal causa del error. Midieron la temperatura de las barras, en sus diferentes regiones, por medio de las corrientes termo-eléctricas que se obtenian aplicando sobre estas el punto de soldadura de un elemento de la pila termo-eléctrica de Melloni (lib. x, cap. viii).

Las barras metálicas eran lo mas regulares posible, y estaban dispuestas en un espacio cuya temperatura era constante. Una de las estremidades de la barra se hallaba en comunicacion con un foco de calor, y el elemento termo-eléctrico que debia estar en contacto con las barras era de cortisimas dimensiones, á fin de gastar muy poco calor

Operando asi, obtuvieron los señores Wiedmann y Franz resultados que diferian notablemente de los de M. Despretz. Representando por 100 la conductibilidad de la plata, encontraron para los demás metales los números siguientes :

Plata	100	Acero	11,6
Cobre	73,6	Plomo	8,5
Oro	53,2	Platino	8,4
Estaño	14,5	Aleacion de Rose	2,8
Hierro	11,9	Bismuto	1,8

Las sustancias orgánicas conducen mal el calórico, y en cuanto á las maderas, hizo ver M. de la Rive, de Ginebra, que su conductibilidad es mucho mayor en el sentido de las fibras que trasversalmente, y que las maderas mas densas son las mejores conductoras. El salvado, la paja, la lana y el algodon, que son cuerpos poco densos, y que, por decirlo así, están formados de partes discontínuas, son muy malos conductores.

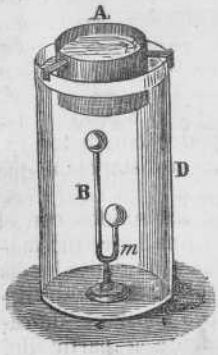


Fig. 209.

330. **Conductibilidad de los líquidos.** — La conductibilidad de los líquidos es sumamente débil, segun puede demostrarse por medio del siguiente esperimento : Se coloca en el fondo de una vasija cilíndrica de vidrio D (fig. 209), un pequeño termóscopo B, compuesto de dos esferas de vidrio reunidas por un tubo encorvado *m*, en el cual hay un pequeño índice de líquido colorado. Llena luego de agua la vasija D á la

temperatura ordinaria, se introduce en parte en dicho líquido otra vasija de hoja de lata A, en la cual se ha echado agua hirviendo ó aceite á 2 ó 300 grados. Nótase entonces que se calienta muy poco la esfera del termóscopo mas próxima al fondo de la vasija A, pues corre una cantidad muy poco sensible el índice *m*; de lo cual se deduce la débil conductibilidad del agua. Igual resultado dan otros líquidos.

Esperimentando con un aparato análogo al que precede, y disponiendo una série de termómetros, los unos debajo de los otros, en toda la altura de la vasija D, encontró M. Despretz que se propaga el calor en los líquidos siguiendo la misma ley que en las barras metálicas, pero que la conductibilidad es incomparablemente mas débil.

Fig. 210 (a=34).

331. **Modo de calentarse los líquidos.** — Cuando se calientan los líquidos por su parte inferior, resulta de su débil conductibilidad, que el calor se propaga sobre todo por medio de corrientes ascendentes y descendentes que se establecen en su masa. Esplícanse estas corrientes por la dilatacion de las capas inferiores que, volviéndose menos densas, suben en el líquido y son reemplazadas por las superiores, mas frias, y de consiguiente, mas densas. Se hacen estas corrientes visibles echando en el agua serrin, que sube y baja con ellas. Para esto se hace el esperimento como lo demuestra la figura 210.

332. **Conductibilidad de los gases.** — No puede apreciarse de un modo directo el poder conductor de los gases, á causa de su gran diatermancia y de la suma movilidad de sus moléculas; pero, cuando se ponen algunas trabas á sus movimientos, aparece casi nula su conductibilidad. Obsérvase, en efecto, que todas las sustancias entre cuyos filamentos queda aire interpuesto presentan una gran resistencia á la propagacion del calórico, como sucede con la paja, la plumazon y las pieles. Cuando se calienta una masa gaseosa, lo efectúa sobre todo por su contacto con un cuerpo caliente, y por las corrientes ascendentes que provienen de la dilatacion, de igual manera que en los líquidos.

333 **Aplicaciones.** — La mayor ó menor conductibilidad de los cuerpos es un manantial de numerosas aplicaciones. ¿Se trata, por ejemplo, de conservar por mucho tiempo caliente un líquido? Pues se le encierra en una vasija de doble cubierta, cuyo intervalo esté lleno de materias no conductoras, como serrin, vidrio, carbon machacado ó paja. El mismo medio sirve para impedir que un cuerpo absorba el calórico; de suerte que, para conservar el hielo durante el verano, se le pone una cubierta ó una capa de paja ó de lana.

Si en nuestras habitaciones nos parecen mas frios los embaldosados

que los entarimados, hay que atribuirlo á que aquellos conducen mejor el calórico. La sensacion de calor ó de frio que esperimentamos al contacto de ciertos cuerpos, depende de la conductibilidad. Si su temperatura es menos alta que la nuestra, nos parecen mas frios de lo que son, á causa del calórico que nos quitan en virtud de su conductibilidad, conforme puede observarse con el mármol; y si, por el contrario, es superior su temperatura á la de nuestro cuerpo, nos parecen mas calientes de lo que en realidad lo están, por el calórico que nos ceden de los diversos puntos de su masa, que es el fenómeno que nos presenta una barra de hierro espuesta al sol.

CAPITULO VIII.

CALORIMETRIA, MANANTIALES DE CALOR Y DE FRIO, CALEFACCION.

334. **Objeto de la calorimetría; caloria.** — El objeto de la calorimetría es medir la cantidad de calor que ceden ó absorben los cuerpos cuando su temperatura baja ó sube un número de grados conocido, ó cuando cambian de estado.

No se puede medir la cantidad absoluta de calor que pierde ó gana un cuerpo, sino tan solo la cantidad relativa, es decir, la relacion entre la cantidad absoluta y la que pierde ó absorbe otro cuerpo para producir un determinado efecto. Por eso se ha convenido en tomar como *unidad de calor ó caloría* la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á un grado la temperatura de un quilógramo de agua.

335. **Calórico específico.** — Llámase *calórico específico ó capacidad calorífica* de un cuerpo, la cantidad de calor que absorbe cuando se eleva su temperatura de cero á un grado, comparativamente con la que absorberia en el mismo caso un peso igual de agua. Por esta definicion se ve que, en último resultado, sirve de unidad el calórico específico del agua.

Se comprueba con la mayor facilidad que no todos los cuerpos poseen el mismo calórico específico, pues mezclando, por ejemplo, un quilógramo de mercurio á 100 grados con otro de agua á cero, solo llega á unos tres grados la temperatura de la mezcla. Es decir, los 97 grados de calor que ha perdido el mercurio hacen subir tan solo tres grados al mismo peso de agua. El agua absorbe, pues, en igualdad de peso, unas 33 veces mas calórico que el mercurio, para una misma elevacion de temperatura.

Tres son los métodos para la determinacion de los calóricos específicos, á saber, el de la fusion del hielo, el de las mezclas, y el del enfriamiento. En este último, se calcula el calórico específico de un cuerpo por el tiempo que tarda en enfriarse un número conocido de grados. Por nuestra parte, nos limitarémos á esponer los dos primeros métodos; pero ante todo conviene dar á conocer de qué manera se mide la cantidad de calórico absorbido por un cuerpo de masa

y calórico específico dados, cuando aumenta su temperatura cierto número de grados.

336. **Medida del calor sensible absorbido por los cuerpos.** — Sean m el peso de un cuerpo en quilógramos, c su calórico específico y t su temperatura. Sirviendo de unidad la cantidad de calor necesaria para que ascienda de cero á 1 grado un quilógramo de agua, es claro que se necesitarán m unidades de estas para elevarse de cero á 1 grado un peso de m quilógramos de agua; y para hacer subir este último peso de cero á t grados, se requerirán t veces mas, esto es, mt. Supuesto que tal es la cantidad de calor necesaria para que pase de cero á t grados m quilógramos de agua, cuyo calórico específico es 1, es evidente que, para un cuerpo del mismo peso y de calórico específico c, serán menester c veces mt ó mtc. De donde se deduce que, cuando se calienta un cuerpo de cero á t grados, *la cantidad de calor que absorbe puede ser representada por el producto de su peso, por su temperatura y por su calórico específico.* Este principio es la base de las fórmulas que van á servir para la determinacion de los calóricos específicos.

Si el cuerpo se calienta ó se enfria de t á t' grados, el calor absorbido ó desprendido estará igualmente representado por la fórmula $m(t'-t)c$, ó bien $m(t-t')c$.

Recomendamos á los alumnos se fijen mucho en estas fórmulas, porque con ellas se resuelven todos los problemas acerca de los calóricos específicos.

337. **Método de las mezclas.** — Para calcular, por el método de las mezclas, el calórico específico de un cuerpo sólido ó líquido, se le pesa ó se le da una temperatura conocida, que se determina, si es sólido el cuerpo, manteniéndolo cierto tiempo en una corriente de vapor á 100 grados, é introduciéndolo luego en una masa de agua fria cuyo peso y temperatura se conozcan igualmente. De la cantidad de calor que cede el cuerpo al agua se deduce desde luego su calórico específico.

Representemos al efecto por M el peso del cuerpo, por T su temperatura en el momento de introducirle en el líquido, y por c su calórico específico.

Sean, de igual manera, m el peso del agua fria y t su temperatura.

Sean, por último, m' el peso de la vasija que contiene el agua, c' su calórico específico y t su temperatura, que es evidentemente la del agua. Dicha vasija es, en general, un pequeño cilindro de plata o de laton, de paredes delgadas y pulimentadas.

Apenas se introduce el cuerpo caliente en el líquido, sube la temperatura de este; y si representamos por θ la mas alta á que llegue, se ve que se enfrió el cuerpo un número de grados igual á $(T-\theta)$, y que perdió, de consiguiente, una cantidad de calor que tiene por medida $Mc(T-\theta)$ (336). El agua y la vasija se calentaron, por el contrario, un número de grados igual á $(\theta-t)$, absorbiendo respectivamente las cantidades de calor $m(\theta-t)$ y $m'c'(\theta-t)$, supuesto que el calórico específico del agua es la unidad. La cantidad de calor que cede el cuerpo caliente, equivale evidentemente á la suma de las cantidades absorbidas por el agua y la vasija; de manera que tenemos la ecuacion

$$Mc(T-\theta)=m(\theta-t)+m'c'(\theta-t) \quad [1],$$

de la cual es fácil deducir el valor de c, una vez que se conozca el calórico específico c' de la vasija. Pero si no fuese conocido, habria que principiar por determinarle, introduciendo en el agua un cuerpo caliente de la misma materia que la vasija, y por lo tanto, del mismo calórico específico. Entonces la ecuacion anterior toma la forma

$$Mc'(T-\theta)=m(\theta-t)+m'c'(\theta-t) \quad [2].$$

Es decir, que solo contiene la incógnita c'.

Conocido ya el calórico específico de la vasija, se pasa á resolver la ecuacion [1], poniendo en el segundo miembro $(\theta-t)$ como factor comun, y se obtiene entonces

$$Mc(T-\theta)=(m+m'c')(\theta-t) \quad [3];$$

y dividiendo los dos miembros por $M(T-\theta)$, tendrémos

$$c=\frac{(m+m'c')(\theta-t)}{M(T-\theta)} \quad [4].$$

Frecuentemente se escribe el valor de c bajo esta forma: $c=\frac{(m+\mu)(\theta-t)}{M(T-\theta)}$ [5]; haciendo $m'c'=\mu$; es decir, que μ es el peso de agua que absorberia la misma cantidad de calor que la vasija, lo cual se espresa diciendo que la vasija está *reducida* en agua.

Por último, á fin de dar toda la precision posible al método de las mezclas, hay que tomar tambien en cuenta el calor que absorben el vidrio y el mercurio del termómetro.

Con objeto de tomar en cuenta las pérdidas de calor debidas á la radiacion en el procedimiento que acabamos de describir, se hace primero un esperimento con el cuerpo mismo cuyo calórico específico se busca, con la idea de conocer de un modo aproximado el número de grados que debe subir la temperatura del agua y de la vasija. Si dicho número es, por ejemplo, 10 grados, se enfrian la mitad el agua y la vasija, es decir, 5 grados bajo la temperatura del aire ambiente, procediéndose luego al esperimento definitivo. Como au-

menta entonces sensiblemente en unos 10 grados el agua, resulta que la vasija, cuya temperatura era en un principio 5 grados inferior á la del recinto, es al fin del esperimento 5 grados superior. Media, pues, una compensacion entre la pérdida y la ganancia de calor que provienen de la radiacion durante el esperimento.

338. **Aparato de M. Regnault para el método de las mezclas.**—La figura 211 representa el aparato que M. Regnault ha adoptado para la investigacion de los calóricos especificos por el método de las mezclas.

La pieza principal de este aparato es una estufa AA, representada en seccion en la figura 212. Se compone de tres compartimientos cilindricos: en el del centro hay suspendido,

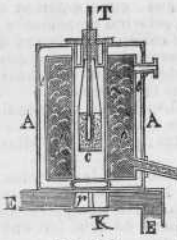


Fig. 212.

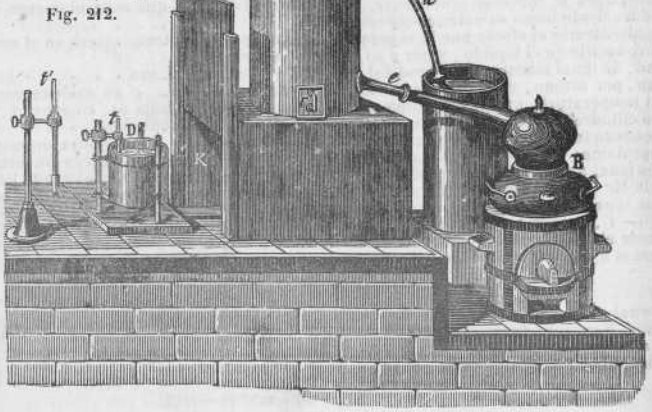


Fig. 211.

con hilos de seda, un cestito de alambre de laton; en este cestito es donde se coloca, en pedazos, la sustancia que se somete al esperimento. Un termómetro T, fijo en el centro mismo de estos fragmentos, marca la temperatura. En el segundo compartimiento *pp*, circula una corriente de vapor que llega por un tubo *e*, procedente de un generador B, y se marcha luego por un tubo *a* á un serpentin, donde se condensa. El tercer compartimiento *ee* está lleno de aire, destinado á impedir la pérdida de calor. Debajo de la estufa hay una cámara K, envuelta por una doble pared EE, formando un reservatorio que se mantiene lleno de agua fria, á fin de oponerse á la trasmision del calórico procedente de la estufa y del generador. Finalmente, el compartimiento central de la estufa está cerrado por un registro *r* que se abre á voluntad, y que permite entonces hacer pasar el cestito *c* de la estufa á la cámara K.

Ahora bien; á izquierda de la estufa se vé un vasito de laton D, de paredes muy delgadas, el cual está suspendido, por hilos de seda, sobre un carretoncillo que puede deslizar sobre una corredera para llegar á la cámara K. El vaso D, que está destinado á servir de calorímetro, está lleno de agua, y en esta entra un termómetro *t* que marca su temperatura. Por último, un termómetro *t'*, colocado cerca de los aparatos, marca la temperatura del aire ambiente.

Dispuesto asi el aparato, cuando el termómetro T indica que el cuerpo puesto en el cestito *c* ha tomado una temperatura estacionaria, lo cual tiene lugar pasadas dos horas y media ó tres, se levanta la pantalla *h*, y se hace adelantar el vaso D hasta que corresponda exactamente debajo del compartimiento central de la estufa. Tirando entonces del regis-

tro r, se deja caer rápidamente, en el agua del vaso D, el cestito c y las sustancias que contiene. Retirando al momento el carretoncillo y el vaso D, se remueve el agua de este hasta que el termómetro t quede estacionario. La temperatura que él indica entonces es la que se ha representado por θ en la fórmula del párrafo anterior. Conocida esta temperatura, lo restante del cálculo se verifica como ya queda dicho. Sin embargo, se tiene en cuenta el calor cedido al calorimetro por el cestillo de laton; M. Regnault ha tomado en consideracion, además, la que es absorbida por el medio ambiente.

339. **Método de la fusion del hielo.**—El método que vamos á describir está fundado en el calórico latente absorbido por el hielo que se funde, cantidad de calor que, conforme muy pronto verémos (345), es de 79 unidades para un quilógramo de hielo. Lavoissier y Laplace idearon el aparato que en este método sirve, y que se designa con el nombre de *calorimetro de hielo*. La fig. 213 lo representa visto por el esterior, y la 214 es un corte ó una seccion del mismo. Consta dicho aparato de tres cubiertas concéntricas de hoja de lata, colocándose en la del centro el cuerpo M (fig. 214), cuyo calórico especifico se busca, y llenando de hielo machacado los otros dos compartimientos. El hielo de la cavidad A está destinado á ser fundido por el cuerpo caliente, y el de la cavidad B se opone á la radiacion del recinto sobre el aparato. Las dos llaves D y E dan salida al agua que proviene de la fusion del hielo.

Fig. 213 (a = 80).

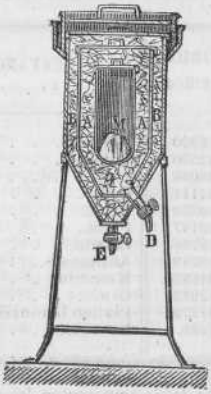


Fig. 214.

Cuando se quiere investigar el calórico especifico de un cuerpo sólido por medio de este calorimetro, se determina primero el peso m de dicho cuerpo en quilógramos; se le da luego una temperatura conocida t, manteniéndole por algun tiempo en un baño caliente de agua ó de aceite, ó en una corriente de vapor; trasládasele en seguida rápidamente á la cavidad central, colocando de nuevo las cubiertas y recubriéndolas de hielo. Recógese entonces el agua que sale por la llave D, y luego que cesa la salida, se determina en quilógramos su peso P, que representa evidentemente el del hielo fundido. Supuesto que 1 quilógramo de hielo absorbe, al fundirse, 79 unidades de calor, P quilógramos han absorbido P veces 79 unidades. Por otra parte, dicha cantidad de calor es necesariamente igual á la que cedió el cuerpo M mientras se estuvo enfriando de t grados á cero, es decir, á mtc (336); porque se admite como evidente que al enfriarse un cuerpo de t grados á cero, cede precisamente la cantidad de calor que habia absorbido para calentarse de cero á t grados. Se tiene, pues, la igualdad

$$mtc = 79\,P\text{; de donde } c = \frac{79\,P}{mt}.$$

Muchísimas causas de error presenta el método del calorimetro de hielo, consistiendo la principal en que parte del agua de fusion queda adherente al hielo, de suerte que no puede evaluarse con exactitud el peso P. Además, el aire esterior que entra en el calorimetro por las llaves, aumenta la cantidad de hielo fundido. Obvianse en parte estos inconvenientes, sustituyendo al calorimetro el *pozo de hielo*, que tal es el nombre que se da á una cavidad abierta en un pedazo de hielo compacto por medio de un hierro candente, y en la cual se coloca el cuerpo cuyo calórico especifico se busca, despues de haberle dado una temperatura conocida (fig. 215). Trazado con esmero el orificio, se le cierra luego herméticamente con otro pedazo de hielo bien modelado, y cuando se considera que habrá llegado ya á cero el cuerpo, se saca juntamente con el agua de fusion, de suerte que, despues de determinado el peso de esta, solo falta sustituirlo en la fórmula anterior.

Fig. 215.

340. **Calórico específico de los líquidos.**—El calórico especifico de los líquidos puede ser determinado igualmente por el método del enfriamiento, por el de las mezclas, ó por el del calorimetro de Lavoissier y Laplace. Solo que en este último método es menester encer-

rarles en una vasijita de hoja de lata, ó en tubos de cristal que se colocan en la cavidad M.

Comparando entre si los números de la tabla siguiente, se observa que el agua y la esencia de trementina tienen un calórico específico superior al de las otras sustancias, y sobre todo á los metales. Esta propiedad es general para los líquidos. Por tener el agua tan gran capacidad calorífica, es por lo que se necesita tanto tiempo para calentarla ó enfriarla, puesto que ella absorbe ó cede entonces mucha mayor cantidad de calor que otra sustancia, supuestas iguales la masa y temperatura. Esta doble propiedad es utilizada en la templadura del acero, y en calentar, mediante una circulacion de agua caliente, de lo cual nos ocuparémos mas tarde (400).

341. **Calóricos específicos medios de sólidos y líquidos, entre cero y 100°.** —M. Regnault ha calculado, por el método de las mezclas y por el del enfriamiento, el calórico específico de un gran número de cuerpos. A continuacion damos los que él ha obtenido, por el primer método, para los cuerpos de uso mas frecuente en las artes.

SUSTANCIAS.	CALÓRICOS específicos.	SUSTANCIAS.	CALÓRICOS específicos.
Agua..	1,00800	Niquel.	0,10863
Esencia de trementina. . .	0,42590	Cobalto..	0,10696
Negro animal calcinado. . .	0,26085	Zinc.	0,09555
Carb. de madera calcinado. .	0,24111	Cobre.	0,09515
Azufre.	0,20259	Laton.	0,09391
Grafito.	0,20187	Plata..	0,05701
Vidrio de los termómetros. .	0,19768	Estaño.	0,05623
Fósforo..	0,18949	Antimonio..	0,05077
Diamante.	0,14687	Mercurio.	0,03332
Fundicion blanca.	0,12983	Oro.	0,03244
Hierro.	0,11379	Platino laminado.	0,03243
Acero dulce.	0,1165.	Bismuto.	0,03084

Los números comprendidos en esta tabla representan los calóricos específicos medios entre cero y 100 grados; pues, efectivamente, resulta de los trabajos de Dulong y Petit acerca del calor, que los calóricos específicos aumentan con la temperatura. Los de los metales, por ejemplo, son mayores entre 100 y 200 grados, que entre cero y 100, y mayores aun de 200 á 300. Es decir, que para elevar la temperatura de un cuerpo de 200 á 250 grados, se requiere mas calor que para efectuarlo de 100 á 150, y en este último caso, mas que para hacerlo de cero á 50.

En una palabra, el aumento de calórico específico con la temperatura, es tanto mas sensible, cuanto los cuerpos estan mas próximos á su punto de fusion. Por el contrario, toda accion que aumenta la densidad de los cuerpos y la agregacion de sus moléculas, disminuye su calórico específico.

En cuanto á los líquidos, su calórico específico aumenta con la temperatura mucho mas rápidamente todavía que el de los sólidos. El agua hace escepcion, sin embargo; pues su calórico específico aumenta mucho menos que el de los otros líquidos.

Finalmente, una misma sustancia presenta mayor calórico específico en el estado líquido que en el sólido; y mas todavía que en estos dos estados, en el gaseoso.

* 342. **Ley de Dulong y Petit sobre el calórico específico de los átomos.** —En 1819, Dulong y Petit hicieron conocer esta ley notable, que el producto del calórico específico de los cuerpos simples por sus pesos atómicos es el mismo para todos los cuerpos, é igual á 37; cuya ley tambien puede enunciarse, diciendo que, *para los cuerpos simples, los calóricos específicos estan en razon inversa de sus pesos atómicos.*

M. Regnault, despues de haber determinado con mucho cuidado los calóricos específicos de un gran número de cuerpos, ha encontrado que el producto del peso atómico por el calórico específico no es constante, como lo habian anunciado Dulong y Petit; pero que este producto varia tan solo entre 38 y 42, variacion que puede resultar de no haber sido determinados los calóricos específicos á distancias iguales del punto de fusion de los cuerpos.

M. Regnault ha sido conducido además á las dos leyes siguientes, sobre los calóricos específicos de los cuerpos compuestos y de las aleaciones:

1.ª *En los cuerpos compuestos de igual fórmula atómica, el calórico específico está en razon inversa del peso atómico.*

2.ª *Para temperaturas un poco distantes del punto de fusion, el calórico específico de las aleaciones es exactamente la media de los calóricos específicos de los metales componentes.*

* 343. **Calórico específico de los gases.**—Refiérese el calórico específico de los gases al del agua ó al del aire; pero en el primer caso representa la cantidad de calor necesaria para elevar de 1 grado un peso dado de gas comparativamente con el que seria

necesario al mismo peso de agua; y en el segundo, la cantidad de calor necesaria para hacer subir de 1 grado un volúmen dado de gas, comparativamente con el que se necesitaria para el mismo volúmen de aire.

Cuando se consideran bajo este último punto de vista los calóricos especificos de los gases, se les puede suponer además á *presion constante* y á volúmen variable, ó bien á *volúmen constante* y á presion variable.

Los calóricos especificos de los gases, con relacion al agua, fueron determinados, en 1812, por Delaroche y Berard. Mediase, al efecto, la cantidad de calor que cede á un peso conocido de agua otro tambien conocido de gas, que circulaba por un serpentin sumergido en el agua. Deduciase en seguida de ella el calórico especifico del gas por medio de un cálculo análogo al que se hace para el método de las mezclas.

Los mismos físicos determinaron los calóricos especificos de los gases, á presion constante, refiriéndolos al aire, comparando entre si las cantidades de calor cedidas á un mismo peso de agua por volúmenes iguales de gas y de aire, á la misma temperatura y á la presion atmosférica, durante todo el esperimento. Despues de los trabajos de Delaroche y Berard, aplicaron los señores de la Rive y Marcet, en 1835, el método del enfriamiento á la misma determinacion.

Por último, los calóricos especificos de los gases, á volúmen constante, siempre con relacion al aire, han sido calculados por Dulong, apoyándose en una fórmula que da á conocer la velocidad de propagacion del sonido en los diferentes gases.

En virtud de los cálculos de Laplace y de Poisson, y de los esperimentos de Clément y Désormes, de Delaroche y Berard, de Gay-Lussac y de Dulong, se habia admitido hasta hace poco que el calórico especifico de los gases á presion constante es siempre mayor que á volúmen constante. Pero en un reciente trabajo, y siguiendo un método del todo nuevo, acaba de descubrir M. Regnault que es nula ó sumamente pequeña la diferencia entre estas dos especies de calórico especifico.

344. **Medida del calórico latente de fusion.**—Hemos visto (280) que, al pasar los cuerpos de sólidos á líquidos, hay una absorcion mas ó menos considerable de calórico latente; pero ahora debemos dar á conocer de qué manera se mide la cantidad de calor que entonces absorbe la unidad de peso. Esta cuestion se resuelve por el método de las mezclas, apoyándose, no obstante, en el principio, evidente al parecer, de que, al solidificarse un cuerpo, cede una cantidad de calórico exactamente igual á la que habia absorbido durante la fusion.

Propongámonos, por ejemplo, determinar el calórico de fusion del plomo. Fúndese un peso M de este cuerpo, y despues de averiguada su temperatura T, se le vierte en una masa de agua de peso m y temperatura t conocidas. Llamemos c al calórico especifico del plomo, x al calórico de fusion, es decir, la cantidad de calor latente absorbida por la unidad de peso al fundirse, ó lo que es lo mismo, el que restituye en el momento de la solidificacion; y por fin, sea θ la temperatura final del agua calentada por el plomo.

Calentándose la masa de agua de t á θ grados, ha absorbido una cantidad de calórico representada por $m(\theta-t)$ (336), y además, al enfriarse la masa de plomo de T á θ, cedió, por un concepto, una cantidad $Mc(T-\theta)$, y por otro, en el momento de la solidificacion emite Mx. Se tiene, pues, la ecuacion

$$Mc(T-\theta)+Mx=m(\theta-t), \text{ de donde } x=\frac{m(\theta-t)-Mc(T-\theta)}{M}.$$

345. **Calórico de fusion del hielo.**—Muchísimo interesa conocer el calórico de fusion del hielo, por las aplicaciones á que da lugar. Determínasele tambien por el método de las mezclas. Sean, al efecto, M un peso de hielo á cero, y m otro de agua caliente á t grados, suficiente para fundir todo el hielo. Echase este en el agua, y luego de completada la fusion, se mide la temperatura final θ de la mezcla. Al enfriarse el agua de t grados á θ, cedió una cantidad de calor igual á $m(t-\theta)$; y en cuanto al hielo, si se representa por x su calórico de fusion, absorbe, para fundirse, una cantidad de calor Mx; pero además se calienta despues de la fusion el agua formada, pasando su temperatura de cero á θ grados, y absorbiendo, por lo mismo, una cantidad de calor $M\theta$. Obtiénese, por fin, la ecuacion $Mx+M\theta=m(t-\theta)$, de la cual se deduce el valor de x.

Por medio de este procedimiento, y evitando con el mayor cuidado todas las causas de error, encontraron los señores la Provostaye y Desains, que el calórico de fusion del hielo es 79; es decir, que un quilógramo de hielo que se funde, absorbe, en el estado de calórico latente, la cantidad de calor necesaria para elevar 79 quilógramos de agua de cero á un grado, ó lo que es igual, un quilógramo de agua de cero á 79 grados.

M. Person, que ha hecho numerosas investigaciones sobre los calóricos latentes, ha encontrado esperimentalmente los siguientes números para los calóricos latentes de muchos cuerpos simples y compuestos:

Agua..	79,25	Bismuto.	12,64
Nitrato de sosa.	62,97	Azufre.	9,37
Zinc.	28,13	Plomo.	5,37
Plata..	21,07	Fósforo..	5,03
Estaño.	14,25	Aleacion de Darcet..	4,50
Cadmio..	13,66	Mercurio.	2,83

346. **Medida del calórico latente de vaporizacion.**—Hemos visto (305) que los líquidos, al evaporarse, hacen latente una cantidad muy considerable de calor, que se designa con el nombre de calórico de elasticidad ó de vaporizacion. A fin de determinar la cantidad de calor absorbida en tal caso por la unidad de peso de los diferentes líquidos, se admite como evidente que, un vapor que pasa á líquido, deja en libertad una cantidad de calórico precisamente igual á la que habia absorbido al evaporarse.

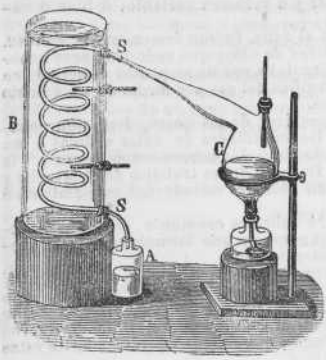


Fig. 216.

Ahora bien; el método que se aplica es el mismo que para la determinacion de las calóricos específicos de los gases con relacion al del agua. La fig. 216 representa el aparato en cuestion. Producese el vapor en una retorta C, cuya temperatura indica un termómetro, y se dirige á un serpentin SS sumergido en agua fria, donde se condensa, cediendo al serpentin y al agua de la vasija B su calórico latente. Recógese el agua que resulta de la condensacion en una vasija A, y su peso da á conocer el del vapor que atravesó por el serpentin. En fin, varios termómetros, situados en la vasija B, indican la elevacion de temperatura del agua.

Ahora bien; sean M el peso del vapor condensado, T su temperatura al entrar en el serpentin, y x su calórico de vaporizacion. Sean, además, m el peso del agua en que se introduce el serpentin, inclusos en él los de la vasija B y del serpentin reducidos á agua, t la temperatura inicial del agua, y θ la final al terminar el esperimento.

Obsérvese, para medir el calórico, que cede el vapor, que al principio del esperimento el agua de condensacion sale á t grados, siendo así que al fin sale á θ; de suerte que puede admitirse que, durante todo el esperimento, es su temperatura un término medio entre t y θ, es decir, $\frac{t+\theta}{2}$. El peso M de vapor ha cedido, pues, despues de su condensacion, la cantidad de calor $M\left(T-\frac{t+\theta}{2}\right)$; pero, además, en el momento de su liquidacion, emite otra cantidad representada por Mx. Por otra parte, el calor absorbido por el agua fria, el serpentin y la vasija, es $m(\theta-t)$, de manera que se tiene

$$Mx+M\left(T-\frac{t+\theta}{2}\right)=m(\theta-t).$$

Esta ecuacion da á conocer x. Por este medio encontró M. Despretz el número 540 para el calórico de elasticidad del vapor de agua, es decir, que un gramo de agua á 100 grados, absorbe, al vaporizarse, la cantidad de calor necesaria para elevar 540 gramos de agua de cero á un grado. MM. Fabre y Silberman han encontrado 535,8.

347. **Problemas sobre los calóricos específicos y los calóricos latentes.**—I. Proyectando en una vasija de vidrio que pesa 12 gramos, y que contiene 0 lit., 15 de agua á 10 grados, un pedazo de hierro de 20 gramos de peso y á la temperatura de 98 grados, se nota que el agua sube á 11°,29; pídese con estos datos el calórico específico del hierro, sabiendo que el del vidrio es 0,19768.

Resuélvese este problema por medio de la fórmula [3] del párrafo 337, reemplazando en ella las letras M, m, m', c', t y θ, por los números que les corresponden en el anterior enunciado; y por lo que hace al peso del agua, se obtiene sin mas que observar que 1 litro de agua, pesando 1 quilógramo, 0 lit., 15, ó lo que es igual, 0 lit., 150, pesa 150 gramos.

Haciendo las sustituciones indicadas en dicha fórmula, resulta

$$20(98-11,29)c=(150+12\times0,19768)(11,29-10),$$

de donde $c=0,113$.

II. Una masa de platino, de 40 gramos de peso, permanece en un horno el tiempo necesario para tomar su temperatura, conseguido lo cual se le introduce en una cantidad de agua que pesa 84 gramos, y que marca 12 grados de temperatura, elevándose entonces á 22 esta última. Se pide la temperatura del horno, sabiendo que el calórico específico del platino es 0,03243.

Si se representa por t la temperatura que se busca, el número de unidades de calor cedidas por el platino al enfriarse de t grados á 22, es $40\times(t-22)\times0,03243$, en virtud de la fórmula $m(\theta'-t)c$ del párrafo 336. De igual manera, el número de unidades absorbidas por el agua, cuyo calórico específico es 1, para calentarse de 12 á 22 grados, es $84(22-12)$,

ó sean 840. Como la cantidad de calor absorbida por el agua es necesariamente la misma que la que perdió el platino, se tiene $40 \times (t-22) \times 0{,}03243 = 840$, de donde $t = 669$ grados.

Obsérvese que no es mas que aproximado este valor de t, porque el número 0,03243 es el calórico especifico del platino entre cero y 100 grados; pero se ha visto ya que es mayor á una temperatura mas alta (337), y por consiguiente, es demasiado grande el número 669.

III. Abriendo una cavidad en un pedazo de hielo, y encerrando en ella una masa de estaño que pese 55 gramos, y cuya temperatura sea de 100 grados, se desea saber cuál será el peso del hielo fundido, teniendo presente que el calórico especifico del estaño es 0,05623, y el de fusion del hielo 79.

Al enfriarse el estaño desde 100 á cero, pierde un número de unidades de calor representado por $55 \times 100 \times 0{,}05623$, siempre segun la fórmula mtc (336). Como un quilógramo de hielo á cero absorbe para fundirse 79 unidades de calor (345), claro está que x quilógramos de hielo absorberán un número de unidades representado por $79 \times x$. Tenemos, pues,

$$79x = 55 \times 100 \times 0{,}05623, \text{ de donde } x = 3\text{gr},9.$$

IV. ¿Cuánto hielo en peso se necesitará para que 9 litros de agua bajen de 20 grados á 5?

Sea M, en quilógramos, el peso buscado, el cual absorberá, para fundirse, un número de unidades de calor igual á 79 M (345); pero como el peso resultante de agua M se encuentra á cero en el momento de la fusion, y debe subir á 5, absorbe una cantidad de calor representada por 5 M; y de consiguiente, el calor total absorbido es $79\text{M} + 5\text{M}$, ú 84 M. Los 9 litros de agua ceden, al enfriarse, de 20 grados á 5, la cantidad $9(20-5)$, ó 135. De manera que resulta

$$84\text{M} = 135, \text{ de donde } \text{M} = 1\text{quil},607.$$

V. ¿Cuánto pesa el vapor de agua á 100 grados, necesario para calentar, al condensarse, 208 litros de agua desde 14 hasta 32 grados?

Sea p este peso en quilógramos. Valiendo 540 el calórico latente del vapor de agua (346), resulta que los p quilógramos de vapor ceden, al condensarse, una cantidad de calor representada por $540 \times p$, y dan p quilógramos de agua á 100 grados. Como se enfria luego esta agua hasta 32 grados, cede á su vez una cantidad de calor igual á $p(100-32)$, ó $68p$. Por otra parte, como los 208 litros que se calientan de 14 á 32 grados pesan 208 quilógramos, absorben una cantidad de calor igual á $208(32-14)$, ó 3744 unidades: se tiene, pues,

$$540p + 68p = 3744, \text{ de donde } p = 6\text{quil},158.$$

VI. En una vasija hay agua á 11 grados, y en otra á 91; ¿cuántos litros habrá que tomar de ambas para formar un baño de 250 litros á 31 grados?

Si x é y son los números de litros que deben tomarse respectivamente de cada vasija, tenemos, en primer lugar, la ecuacion $x + y = 250$ [1]. Se obtiene una segunda ecuacion en x y en y, observando que x litros á 11 grados contienen $11x$ unidades de calor, y que y litros á 91, comprenden $91y$. Por otra parte, los 250 litros de mezcla á 31 grados, abrazan 250×31, ó 7750 unidades, de manera que resulta la ecuacion $11x + 91y = 7750$ [2].

Resueltas las ecuaciones [1] y [2], se encuentra $x = 187\text{lit.},5$, é $y = 62\text{lit.},5$.

TEORIA DINAMICA DEL CALOR.

348. **Equivalente mecánico del calor.**—Partiendo de la idea de que el desarrollo del calor depende de un movimiento vibratorio de las moléculas, sometido á las leyes ordinarias de la mecánica, muchísimos geómetras y físicos trabajan hace algunos años en el desenvolvimiento de una nueva teoría, que designan con el nombre de *Teoría dinámica del calor*, y en la cual se proponen, no solo hacer ver que una cantidad dada de calor puede trasformarse en trabajo mecánico (385), y recíprocamente, sino calcular además este trabajo mecánico, que puede producir cierta cantidad de calor, ó vice-versa, qué cantidad de calor puede producir un determinado trabajo mecánico. Se sabe efectivamente, que el calor puede producir un trabajo mecánico, conforme se nota en la espansion de los vapores y en la dilatacion de los gases, y que recíprocamente es posible desarrollar calor por medio de una accion mecánica, tal como la percusion, la presion ó el roce (387 y 388). La teoría dinámica del calor es de actualidad, y merece llamar la atencion de los físicos y de los mecánicos, porque puede introducir mejoras de la mas alta importancia en las máquinas de vapor y en las de aire caliente.

Mongolfier es, al parecer, el primer físico que ha supuesto que hay identidad de naturaleza entre el calórico y el movimiento, en el sentido, no solo de que el calor es causa de movimiento, y este de aquel, sino tambien en el de que el calor y el movimiento son dos formas distintas, dos efectos de una sola y única causa; en una palabra, que el movimiento puede trasformarse en calor, y el calor en movimiento.

Fundándose Mongolfier en estas consideraciones teóricas, inventó, en 1800, una máquina, que llamó *piro-ariete*, con la cual, segun su modo de ver, reducia el trabajo diario de un caballo de vapor al gasto de algunos céntimos. Consistia el principio del piro-ariete en dilatar, por medio del calor, cierta cantidad de aire, siempre igual, contenida en una vasija cerrada; en utilizar este aumento de volúmen y de elasticidad á elevar una columna de agua; y luego, en restituir á la misma masa de aire el calor gastado por la

dilatacion, y *convertido en efecto mecánico*, á fin de devolverle la fuerza elástica perdida, y así sucesivamente.

M. Séguin mayor, sobrino de Mongolfier, ha presentado recientemente al Instituto de Francia (el 3 de enero de 1855) una memoria, en la cual describe una nueva máquina de vapor, fundada en las ideas teóricas arriba espuestas.

En 1824, publicó S Carnot una obra intitulada *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego*, que contiene varias consideraciones muy notables acerca del modo de producir fuerza motriz con el calor. Posteriormente ha sido objeto la teoría dinámica de los trabajos de muchos físicos, y en particular de los señores Joule, Thomson y Rankins, en Inglaterra; Mayer y Clausius, en Alemania; E. Clapeyron, Reech y Regnault, en Francia.

Carnot admitia que, en una máquina de vapor, el trabajo mecánico depende únicamente del *paso* del calor en la máquina de la caldera al condensador (378), pues la cantidad de calórico en el vapor que sale es la misma que en el que entra. En la nueva teoría, la cantidad de calor que entra en la máquina no se conserva todo en el estado de calor, sino que desaparece parte en el trayecto, para convertirse en efecto mecánico, si bien, en todos los casos, el trabajo mecánico desarrollado es proporcional á la cantidad de calor que ha desaparecido.

En esta teoría, ha dado M. Joule el nombre de *equivalente mecánico del calor*, á la cantidad de trabajo que puede producir una unidad de calor, ó lo que es lo mismo, la cantidad de trabajo mecánico para desarrollar una unidad de calor. Despues de muchísimos esperimentos, encontró M. Joule que el equivalente mecánico del calor era 424 quilográmetros; es decir, que la cantidad de calor necesaria para calentar de 1 grado 1 quilógramo de agua puede desarrollar una fuerza motriz, capaz de elevar un peso de 424 quilógramos á 1 metro de altura por segundo. No siéndonos posible describir aquí los esperimentos de M. Joule, remitimos al lector á los *Archivos de las ciencias físicas y naturales de Ginebra* (mayo de 1854, p. 37).

Al tratar de las corrientes por induccion, harémos conocer un bonito esperimento, recientemente hecho por Foucault, en el cual este hábil físico trasforma de una manera notable un efecto dinámico en calor.

CAPITULO IX.

RADIACION DEL CALORICO.

349. **Propagacion del calórico en un medio homogéneo.** — Siempre que un cuerpo se halla en un recinto de temperatura mas ó menos elevada que la suya, se observa que la de aquel sube ó baja progresivamente hasta igualarse con la de este último; de lo cual se deduce que el cuerpo ha ganado ó perdido cierta cantidad de calor que recibió de los cuerpos que lo rodean, ó que cedió á los mismos. Se trasmite, pues, el calor de un cuerpo á otro, al través del espacio, de la misma manera que la luz. El calórico que se propaga así á distancia, se designa con el nombre de *calórico radiante*, llamándose *rayo de calor*, ó *rayo calorífico*, la línea recta que sigue el calórico al propagarse.

Tambien se trasmite el calor en la masa misma de los cuerpos; pero entonces es una verdadera radiacion interior de molécula á molécula, fenómeno que ya hemos estudiado (327) con el nombre de *conductibilidad*.

350. **Leyes de la radiacion.** — La radiacion del calórico obedece á las tres leyes siguientes:

1.ª *La radiacion tiene lugar en todas las direcciones alrededor de los cuerpos.* En efecto, si se coloca un termómetro en diferentes posiciones alrededor de un cuerpo caliente, indica en todas una elevacion de temperatura.

2.ª *En un medio homogéneo se efectúa la radiacion en línea recta.* Porque si se interpone una pantalla en la recta que une un foco calorífico con un termómetro, deja este de sentir la influencia de aquel.

Pero, al pasar de un medio á otro, como por ejemplo del aire al vidrio, los rayos caloríficos, lo mismo que los luminosos, se desvían en general, constituyendo así la *refraccion*, cuyas leyes darémos en óptica, pues son las mismas, así para el calórico como para el lumínico.

3.ª *El calórico radiante se propaga en el vacio del mismo modo que en el aire.* Demuéstrase esto fijando un pequeño termómetro en un globo de vidrio, en el cual se hace el vacío. Si se le acerca entonces un cuerpo caliente, se ve que sube el termómetro, fenómeno que solo se esplica admitiendo la radiacion en el vacío; porque se ha visto (329) que no es el vidrio suficientemente buen conductor del calórico para que pueda operarse la propagacion por las paredes del globo y por el tubo del termómetro.

Aun no ha sido determinada la velocidad de propagacion del calórico, sabiéndose tan solo que debe diferir poco de la de la luz, caso de que no le sea exactamente igual; porque la luz solar y la mayor parte de las luces artificiales van constantemente acompañadas de rayos de calor.

351. Causas que hacen variar la intensidad del calórico radiante. — Tomando como *intensidad del calórico* la cantidad de calor que recibe la unidad de superficie, se encuentra que tres son las causas que pueden modificar dicha intensidad, á saber: la temperatura del foco de calor, su distancia, y la oblicuidad de los rayos caloríficos con relacion á la superficie que los emite. Obsérvanse efectivamente las tres leyes siguientes en la intensidad del calórico radiante.

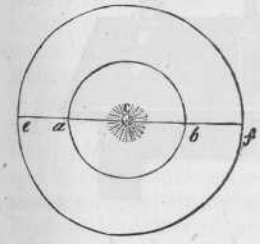


Fig. 217.

1.ª *La intensidad del calórico radiante es proporcional á la temperatura del manantial.*

2.ª *Esta misma intensidad se halla en razon inversa del cuadrado de la distancia.*

3.ª *La intensidad de los rayos caloríficos es tanto menor, cuanto son emitidos en una direccion mas oblícua con relacion á la superficie radiante.*

Demuéstrase la primera ley presentando una de las esferas de un termómetro diferencial (249) á varios focos de calor, por ejemplo, á un cubo de hoja de lata lleno sucesivamente de agua á 30 grados, á 20 grados y á 10 grados. Nótase entonces que, en igualdad de distancia, marca el termómetro temperaturas que están en la misma relacion que las del cubo, por ejemplo, como 6, 4, 2 (353, 2.°).

Para demostrar esperimentalmente la segunda ley, se coloca el termómetro diferencial á cierta distancia de un foco de calor constante, luego á otra doble, observándose que el termómetro en esta segunda posicion indica una temperatura cuatro veces menor que en la primera. A una distancia triple marca una temperatura nueve veces menor.

Demuéstrase tambien esta segunda ley, apoyándose en el teorema de geometría que dice, que la superficie de una esfera crece como el

cuadrado de su radio. En efecto, si se concibe una esfera hueca *ab* (fig. 217) de un radio cualquiera, y en su centro un foco constante de calor C, cada unidad de superficie de la pared interior recibe cierta cantidad de calor. Si se considera una esfera de radio duplo, su superficie, en virtud del teorema anterior, seria cuatro veces mayor. La pared interior contendria, pues, cuatro veces mas unidades de superficie, y como no varía la cantidad de calor emitida desde el centro, es claro que cada unidad recibiria necesariamente cuatro veces menos.

Para demostrar la tercera ley, se coloca delante de un espejo cóncavo una caja de hojalata *mn* (fig. 218), cilíndrica y de poca altura, que puede girar alrededor de un eje horizontal. La cara anterior de

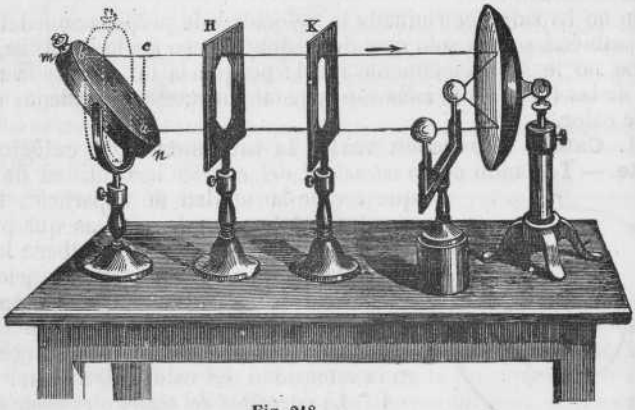


Fig. 218.

esta caja está cubierta de negro de humo, y sobre su borde superior hay una tubuladura que sirve para llenar la caja de agua caliente. Po último, entre la caja y el espejo hay dos pantallas H y K, con orificios circulares de igual diámetro, y dejan paso así á un haz de rayos paralelos que caen sobre el espejo.

Bajo este supuesto, habiendo colocado un termómetro diferencial en el foco del espejo, se da desde luego á la caja llena de agua caliente la posicion vertical figurada por líneas punteadas, y se la deja así hasta que la temperatura indicada por el termómetro haya quedado estacionaria. Pero en ambos casos se observa que el termómetro señala la misma temperatura, y esto precisamente demuestra la ley enunciada. En efecto, en el primer caso, la porcion de la superficie de la caja que envia rayos caloríficos hácia el espejo, está representada por un círculo que tiene por diámetro *ac*, y que es igual, por consiguiente, á la abertura de las pantallas; en el segundo, la superficie que radia hácia el espejo es una elipse, que tiene á *ab* por eje mayor y al diámetro de las aberturas circulares, ó sea *ac*, por eje menor; esta segunda superficie es, por consiguiente, mayor que la primera, y por

consiguiente, emite mas rayos hácia el espejo. Pero, una vez que el efecto producido sobre el termómetro no es mas intenso que en el primer caso, esto prueba que en el segundo caso, en que los rayos son oblícuos á la superficie radiante, la intensidad es menor que en el primero, en que son perpendiculares á la misma superficie.

Para formular esta ley, representemos por i la intensidad de los rayos perpendiculares á la superficie, y por i' la de los rayos oblicuos. Estando necesariamente estas intensidades en razon inversa de las superficies ab y ac, puesto que ambas producen el mismo efecto, resulta $i' \times$ superf. $ab = i \times$ superf. ac. Pero como la superficie ac no es otra cosa que la proyeccion de la superficie ab, se sabe, segun un teorema conocido en trigonometría, que superf. $ac =$ superf. ab sen. abc. Sustituyendo este valor en la ecuacion anterior, y suprimiendo el factor comun á ambos miembros, superf. ab, resulta $i' = i \times$ sen. abc; la cual nos dice que *la intensidad de los rayos oblicuos es proporcional al seno del ángulo que con la direccion de los mismos hace la superficie radiante.*

352. Equilibrio movible de temperatura. — Dos son las hipótesis que se han ideado acerca de la radiacion. Supónese en la primera que cuando dos cuerpos de desigual temperatura se hallan el uno delante del otro, solo hay radiacion desde el cuerpo mas caliente al mas frio, sin que este emita nada hácia aquel, hasta que, bajando gradualmente la temperatura del cuerpo mas caliente, se equilibre con la del mas frio, cesando entonces por completo la radiacion. Esta hipótesis ha sido sustituida por la siguiente, debida á Prévost, de Ginebra, que es la única admitida hoy dia. Pretende aquel físico que todos los cuerpos, sea cual fuere su temperatura, emiten constantemente calórico en todas direcciones. Entonces se nota una pérdida, es decir, enfriamiento en los de temperatura mas alta, porque los rayos que despiden son mas intensos que los que reciben; y por el contrario, hay ganancia, es decir, aumento de temperatura, para los que la tienen menos elevada. Llega así un momento en que la temperatura es igual en ambos cuerpos; pero aun continúa, no obstante, el cambio de calórico entre los mismos, si bien cada uno recibe tanto cuanto emite, y por eso permanece constante la temperatura. Este estado particular se designa con el nombre de *equilibrio movible de temperatura.*

353. Ley de Newton sobre el enfriamiento. — Un cuerpo situado en un recinto vacío no se enfria ó no se calienta mas que por radiacion, siendo así que en la atmósfera, además de esta, hay tambien el contacto con el aire. En ambos casos, la velocidad en el ascenso ó el descenso de temperatura, es decir, *la cantidad de calor perdida ó absorbida en un segundo*, es tanto mayor cuanto mas considerable es la diferencia de temperatura.

Newton sentó acerca de esta cuestion la ley que sigue: *La cantidad de calor que un cuerpo gana ó pierde, por segundo, es proporcional á la diferencia entre su temperatura y la del recinto.* Dulong y Petit hicieron ver que no es general esta ley, conforme supuso Newton, y que solo debe aplicarse á diferencias de temperatura que no escedan de 15 á 20 grados. Pasado este término, la cantidad de calor que se gana ó se pierde es mayor que lo que la ley indica.

Dedúcense de la ley de Newton las siguientes consecuencias:

1.ª Cuando un cuerpo se halla espuesto á un foco constante de calor, no puede aumentar indefinidamente su temperatura, porque la cantidad de calor que recibe en tiempos iguales es siempre la misma, mientras que la que pierde crece con el esceso de su temperatura sobre la del aire ambiente. Llega, pues, un momento en que la cantidad de calor emitida es igual á la absorbida, y entonces queda estacionaria la temperatura.

2.ª La ley de Newton, aplicada al termómetro diferencial, hace ver que las indicaciones de este instrumento son proporcionales á las cantidades de calor que recibe. Sea, en efecto, un termómetro diferencial con una de sus esferas sujeta á la accion de un foco constante de calor. El instrumento indica primero temperaturas crecientes, quedando luego estacionario, segun lo indica la posicion fija que toma el índice. En este momento, la cantidad de calor que recibe la esfera es igual á la que emite, pero esta última, segun la ley de Newton, es proporcional al esceso de la temperatura de la esfera sobre la del ambiente, es decir, al número de grados que marca el termómetro. De consiguiente, *la temperatura que marca el termómetro diferencial es tambien proporcional á la cantidad de calórico que recibe.*

REFLEXION, EMISION Y ABSORCION DEL CALORICO.

354. **Leyes de la reflexion.** — Cuando los rayos caloríficos caen sobre la superficie de un cuerpo, se dividen generalmente en dos partes; unos penetran en la masa del cuerpo, y los otros son repelidos por la superficie, á la manera de una esfera elástica, circunstancia que se espresa diciendo que son *reflejados.*

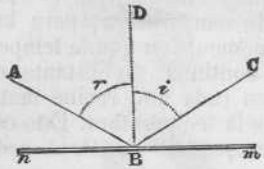


Fig. 219.

Si representamos por *mn* (fig. 219) una superficie plana reflejante, por CB el *rayo incidente*, por BD una línea perpendicular á la superficie que se llama *normal*, por BA el *rayo reflejado*, el ángulo CBD es el *ángulo de incidencia*, y DBA el *ángulo de reflexion.* Entendido esto, la reflexion del calórico se halla sujeta, lo mismo que la de la luz, á las dos leyes siguientes:

1.ª *El ángulo de reflexion es igual al de incidencia.*

2.ª *El rayo incidente y el reflejado están en un mismo plano perpendicular á la superficie reflejante.*

Estas dos leyes se demuestran por medio de espejos cóncavos (356).

355. **Reflexion sobre los espejos cóncavos.** — Dáse el nombre de *espejos cóncavos*, ó *reflectores*, á unas superficies esféricas ó parabólicas, de metal ó de vidrio, que sirven para concentrar en un mismo punto los rayos luminosos ó caloríficos.

Solo considerarémos los espejos esféricos. La figura 221 representa dos, y en la 220 se vé su seccion por un plano que pasa por el eje. El centro C de la esfera á que pertenece el espejo se llama *centro de curvatura*; el punto A, ó la parte media del reflector, es el *centro de*

figura; y por fin, la recta AB, tirada por estos dos puntos, es el *eje principal* del espejo.

A fin de aplicar á los espejos esféricos las leyes de la reflexion sobre las superficies planas, se los considera formados por una infinidad de superficies planas infinitamente pequeñas, y mediante esta hipótesis, se puede deducir, por la geometría, que las normales á estas pequeñas superficies van á concurrir todas al centro de curvatura.

Supongamos en el eje AB del espejo MN un foco de calor bastante lejano para que podamos considerar como paralelos entre sí los rayos EK, PH.... que de él emanan. En virtud de la hipótesis anterior,

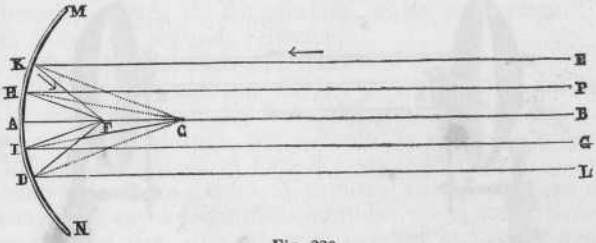


Fig. 220.

que supone constituido el espejo por una infinidad de pequeños elementos planos, el rayo EK se refleja sobre el elemento K, absolutamente como sobre un espejo plano; es decir, que siendo CK la normal á este elemento, toma el rayo una direccion KF tal, que el ángulo CKF es igual al CKE. Los demás rayos PH, GI..., que se reflejan del mismo modo, van á concurrir sensiblemente en un mismo punto F situado en la parte media de AC, conforme se demostrará en óptica. Hay, pues, en F reunion de los rayos caloríficos, y por consiguiente, una temperatura mas elevada que en los demás puntos. De aquí el nombre de *foco* que se ha dado á este punto. La distancia FA del foco al espejo se llama *distancia focal*.

En la figura anterior se propaga el calórico siguiendo las líneas EKF, LDF..., en el sentido de las flechas; pero, recíprocamente, si se halla en F el cuerpo caliente, se propaga el calórico en las direcciones FKE, FDL..., de suerte que los rayos emitidos del foco quedan, despues de la reflexion, paralelos entre sí: de lo cual resulta que nada pierde de su intensidad el calor trasmitido.

356. **Demostracion de las leyes de la reflexion.** — El esperimento que sigue, hecho la primera vez por Pictet y Saussure, en Ginebra, y conocido bajo el nombre de *esperimento de los espejos conjugados*, demuestra la existencia de los focos, y á la vez las leyes de la reflexion del calórico. Hállanse dispuestos dos reflectores M y N (figura 221) á 4 ó 5 metros de distancia, de manera que coincidan sus ejes. En el foco de uno de ellos, en un canastillito de alambre de hierro A, se ponen varias ascuas, y en el otro foco un cuerpo inflamable B, por ejemplo, yesca. Los rayos emitidos por las ascuas se re-

flejan primero en el espejo á que corresponde el foco A; toman, por efecto de esta reflexion, una direccion paralela al eje (355); se reflejan de nuevo sobre el otro reflector, y van á concurrir en su foco B. La prueba está en que la yesca se enciende en dicho punto, y no en los demás.

Sirve este esperimento además para demostrar que el calórico y la luz se reflejan siguiendo unas mismas leyes. Colócase, al efecto, en el foco A una vela encendida, y en el B una pantalla de vidrio deslustrado, notándose en esta un foco luminoso, exactamente en el sitio en donde se enciende la yesca, lo cual nos dice que el foco de calor

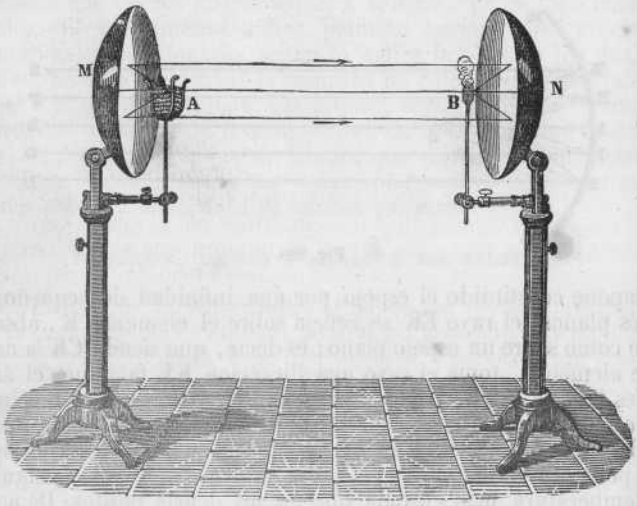


Fig. 221 (a = 1m,50).

y el de luz se forman en un mismo punto. Verifícase, pues, la reflexion en ambos casos, siguiendo las mismas leyes. Al hablar de la luz demostrarémos que el ángulo de reflexion es igual al de incidencia, y que el rayo incidente y el reflejado se encuentran en un mismo plano perpendicular á la superficie reflejante (414); y *por lo tanto, sucede lo mismo que en el calórico.*

Los espejos cóncavos han recibido el nombre de *espejos ustorios*, por efecto de la alta temperatura que con ellos se puede obtener. Refiérese que Arquímedes incendió los buques romanos delante de Siracusa, por medio de tales espejos. Buffon construyó espejos ustorios, cuya potencia prueba que es posible el hecho atribuido á Arquímedes. Formábanle muchos espejos planos y azogados, de 22 centímetros de largo por 16 de ancho, que podian volverse con entera independencia entre sí en tal ó cual direccion, de suerte que los rayos reflejados fuesen á concurrir en un mismo punto. Con 128 espejos sometidos al

ardiente sol del verano, inflamó Buffon una tabla de madera embreada y á 68 metros de distancia.

357. **Reflexion en el vacío.**—El calórico se refleja del mismo modo en el vacío que en el aire, conforme se demuestra por medio del siguiente esperimento que debemos al químico inglés Davy. Dispónense debajo del recipiente de la máquina neumática dos pequeños reflectores enfrente el uno del otro: en uno de los focos hay un termómetro muy sensible, y en el otro foco un manantial de calor eléctrico, que consiste en un alambre de platino hecho incandescente por el paso de la corriente de una pila. Vése en seguida que sube el termómetro muchos grados á causa del calórico reflejado, pues no acusa aquel elevacion alguna de temperatura, si no se encuentra exactamente en el foco del segundo reflector.

358. **Reflexion aparente del frio.**—Si se disponen dos reflectores enfrente el uno del otro (fig. 221), y en vez de carbones incandescentes, se coloca en uno de los focos una masa de hielo, estando á 12 ó 15 grados el aire ambiente, por ejemplo, se observa que un termómetro diferencial, fijo en el foco del segundo reflector, indica un enfriamiento de muchos grados. A primera vista parece que dependa este fenómeno de rayos frigoríficos emitidos por el hielo; pero esta *reflexion aparente del frio*, que tal es el nombre que recibe, se esplica por la teoría que dimos (352) acerca del equilibrio de temperatura que tiende siempre á establecerse entre los cuerpos. Media un cambio de calórico de la misma manera que en la inflamacion de la yesca, sin mas diferencia que el cambio de condiciones, pues ahora el termómetro es el cuerpo caliente. Como los rayos que emite son mas intensos que los del hielo, no hay compensacion entre el calor que cede y el que recibe, originándose de aquí su enfriamiento.

A este mismo hecho debemos referir el frio que sentimos junto á las paredes de yeso, de piedra, y en general, cerca de toda masa cuya temperatura es inferior á la nuestra.

359. **Poder reflector.**—Dáse el nombre de *poder reflector* á la propiedad que poseen los cuerpos de reflejar una cantidad mayor ó menor del calor incidente.

Varía, segun las sustancias, este poder, y á fin de poder estudiarle, sin necesidad de construir tantos reflectores cuantos fuesen aquellas, puso Leslie en práctica un medio muy ingenioso (fig. 222). El manantial de calor es un cubo M lleno de agua á 100 grados; y en el eje de un reflector esférico N, entre el foco y el espejo, hay fija una lámina *a* de la sustancia cuyo poder reflector se busca. Con esta disposicion, los rayos emitidos, y reflejados primero sobre el espejo, encuentran la lámina *a*, se reflejan en ella de nuevo, y van á formar un foco, entre la lámina y el espejo, en un punto donde se coloca la esfera de un termóscopo. Permaneciendo el mismo reflector y termómetro, y siendo siempre la temperatura del agua del cubo 100 grados, se observa que la del termóscopo varía con la naturaleza de las láminas *a* que se someten al esperimento; de lo cual se deduce, no el poder reflector absoluto de un cuerpo, sino la relacion de este

poder con el de otro cuerpo tomado como término de comparacion. Efectivamente, en conformidad con lo dicho (353, 2.°) acerca de la aplicacion de la ley de Newton al termómetro diferencial, las temperaturas que este instrumento marca son proporcionales á las cantidades de calor que recibe. De consiguiente, si una lámina de vidrio y otra de plomo, por ejemplo, hacen recorrer al termómetro diferencial un grado la primera y seis la otra, debemos deducir que la cantidad de calor reflejada por el plomo es seis veces mayor que la que refleja

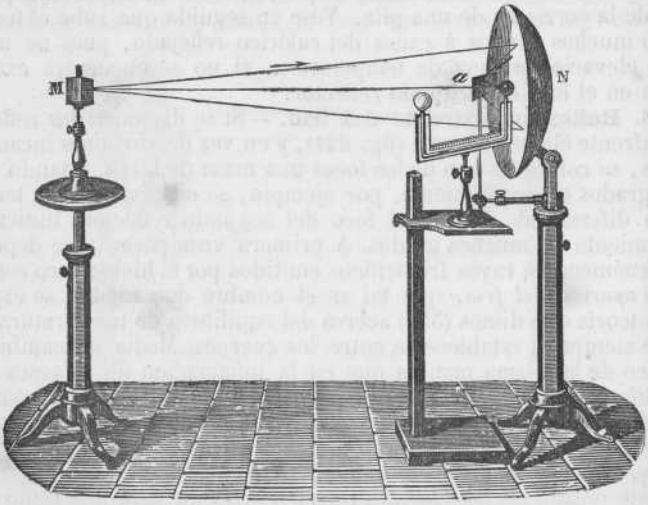


Fig. 222 (a = 1m,50).

el vidrio; porque siendo la misma la cantidad de calor que emana del cubo, el reflector cóncavo refleja siempre igual porcion, no pudiendo depender la diferencia mas que del poder reflector de las láminas *a*.

Mediante este procedimiento, y representando por 100 el poder reflector del laton, tomado como término de comparacion, formó Leslie el cuadro siguiente de los poderes reflectores relativos:

Laton..	100	Tinta de China.	13
Plata..	90	Vidrio.	10
Estaño.	80	Vidrio impregnado de aceite..	5
Acero..	70	Vidrio mojado con agua.	0
Plomo.	60	Negro de humo.	0

Melloni ha hecho tambien investigaciones acerca del poder reflector de los cuerpos, habiendo resultado de sus esperimentos lo mismo que de los de Leslie, que el poder reflector de los metales es mucho mayor que el de los demas cuerpos, conforme se ve en la tabla anterior. Melloni comprobó, además, por medio de un aparato que mas adelante describirémos con el nombre de termo-multiplicador, que el mercurio es el metal de mayor poder reflector.

Pronto se verá (363) cuáles son las causas que, en un mismo cuerpo, modifican el poder reflector.

360. **Poder absorbente.** — El *poder absorbente* de los cuerpos es la propiedad que poseen de dejar penetrar en su masa una porcion mayor ó menor del calor incidente.

El poder absorbente de un cuerpo está siempre en un órden inverso del reflector; es decir, cuanto mas calórico refleja un cuerpo, menos absorbe, y recíprocamente, sin que por esto sean complementarios ambos poderes, esto es, la suma de las cantidades de calor reflejado y absorbido no representa la totalidad del calor incidente. Siempre es menor; porque en realidad se divide el calor incidente en tres partes, á saber: 1.ª una que es absorbida; 2.ª otra que es reflejada con regularidad ó siguiendo las leyes antes demostradas (356), y 3.ª otra parte que se refleja irregularmente, es decir, en todas las direcciones, y que se designa con el nombre de *calor difuso* (373).

Para determinar el poder absorbente de los cuerpos, se valió Leslie del mismo aparato que sirve para la investigacion de los poderes reflectores fig. 222, pero suprimiendo la placa *a*, colocando la esfera del termóscopo en el foco mismo del reflector. Recubriendo sucesivamente de negro de humo, de barniz, de oro, de plata, de cobre, etc., dicha esfera, se nota que marca el termóscopo, bajo la influencia del manantial de calor M, una temperatura tanto mas alta, cuanto mas calórico absorbia la sustancia que servia de cubierta á la esfera focal. De esta suerte averiguó Leslie que el poder absorbente de un cuerpo es tanto mayor, cuanto mas débil es el reflector. Sin embargo, no es posible, en estos esperimentos, deducir la relacion de los poderes absorbentes de las temperaturas termoscópicas, por no ser en este punto rigurosamente aplicable la ley de Newton; pues esta ley solo es cierta en los cuerpos cuya sustancia no varía, mientras que la cubierta que envuelve á la esfera focal es diferente en cada observacion. Pronto verémos (362) de qué manera pueden deducirse de las relaciones de los poderes emisivos las de los absorbentes.

361. **Poder emisivo.** — El *poder emisivo* de los cuerpos es su propiedad de emitir, en igualdad de temperatura y de superficie, una cantidad mayor ó menor de calor.

Sirvióse tambien Leslie del mismo aparato (fig. 222) para la determinacion del poder emisivo de los cuerpos. La esfera del termóscopo ocupa el foco mismo del reflector, y las caras del cubo M se componen de diferentes metales ó se cubren con diversas sustancias, como negro de humo, papel, agua, etc. Lleno el cubo de agua á 100 grados, y permaneciendo invariables todas las demas condiciones, volvia sucesivamente Leslie cada cara del cubo y anotaba las temperaturas del termóscopo. La cara cubierta de negro de humo determinaba en el foco del reflector una temperatura mucho mas elevada que la que producian todas las demas, y las caras metálicas eran las que daban temperaturas mas débiles. Aplicando la ley de Newton, y representando por 100 el calor emitido por el negro de humo, formó Leslie la tabla siguiente de los poderes emisivos:

Negro de humo.	100	Cola de pescado.	80
Agua.	100	Plomo empañado.	45
Papel.	98	Mercurio.	20
Lacre.	95	Plomo brillante.	19
Vidrio blanco ordinario.	90	Hierro pulimentado.	15
Tinta de China.	88	Estaño, oro, plata, cobre, etc.	12

Obsérvese que en este cuadro el órden de los cuerpos es precisamente el inverso de el del cuadro de los poderes reflectores. Los señores de La Provostaye y Desains, que han hecho recientes esperimentos sobre los poderes emisivos, han obtenido números que difieren notablemente de los anteriores.

362. **Identidad de los poderes absorbente y emisivo.** — No seria fácil deducir los poderes absorbentes de los reflectores, porque se ha visto (360) que no son rigurosamente complementarios el uno del otro; pero sí quedarian aquellos determinados, caso de demostrar que son iguales, en cada cuerpo, á los emisivos. Tal es lo que Dulong y Petit han deducido del esperimento que sigue. En un gran globo de vidrio, que se mantiene á cero dentro del hielo, y que lleva interiormente ennegrecidas las paredes, fijaron un termómetro á cierta temperatura, 15 grados, por ejemplo; y luego, habiendo hecho el vacío en el globo por medio de un tubo que le ponia en comunicacion con la máquina neumática, dejaron que se enfriara gradualmente el termómetro, anotando el tiempo que tardaba en bajar de 10 á 5 grados. Repitieron luego el esperimento en sentido contrario, es decir, mantuvieron las paredes del globo á 15 grados y enfriaron el termómetro á cero, resultando que el tiempo que empleaba el termómetro en subir de 5 á 10 grados, era precisamente el mismo que el que habia tardado en bajar de 10 á 5. Dedúcese de aquí que, para un mismo cuerpo, y para una misma diferencia entre su temperatura y la del recinto, es igual el poder emisivo al absorbente, supuesto que son iguales las cantidades de calor emitido y absorbido en el mismo tiempo.

363. **Causas que modifican los poderes reflector, absorbente y emisivo.** — Siendo iguales los poderes emisivo y absorbente, toda causa que modifique al uno, modifica necesariamente al otro en el mismo sentido. En cuanto al poder reflector, supuesto que sigue un órden inverso al de los otros dos, toda causa que aumente estos, debe disminuirle, y recíprocamente.

Se ha visto ya que varían, segun las sustancias, estos diferentes poderes, y que los metales son los cuerpos de mas poder reflector, mientras que el del negro de humo es el mas débil. Pero, en un mismo cuerpo, se modifican estos poderes segun el grado de pulimento, la densidad, el espesor de la sustancia radiante, la oblicuidad de los rayos incidentes, y por fin, la naturaleza del manantial.

Durante largo tiempo se ha admitido que el poder reflector crecia de un modo general con el grado de pulimento de las superficies, y que, por el contrario, disminuian los demás poderes. Pero Melloni manifestó que, rayando una lámina metálica pulimentada, unas veces aumentaba y otras disminuia su poder reflector, lo cual se lo esplicó por medio de la mayor ó menor densidad que adquiere la lámina me-

tálica reflejante. Si esta ha sido préviamente batida (71), pierde la homogeneidad; las moléculas se hallan mas aproximadas en la superficie que en el interior de la masa, y el poder reflector aumenta. Pero cuando se raya la superficie, la masa interior, que es menos densa, queda á descubierto, y disminuye el poder reflector. Por el contrario, en una lámina no templada y homogénea en toda su masa, aumenta el poder reflector cuando se raya la lámina con un instrumento cortante, lo cual proviene de un aumento de densidad en la superficie, ocasionado por las rayas que en ella se han trazado.

El espesor de las sustancias radiantes puede modificar tambien su poder emisivo, conforme lo prueban los esperimentos de Leslie, de Rumford y de Melloni. Cercioróse este último físico de que, barnizando las caras de un cubo metálico lleno de agua á una temperatura constante, crecia el poder emisivo con el número de capas de barniz, hasta 16, quedando en seguida estacionario por mas capas que se añadieran. Calculó que las 16 capas formaban un espesor de $^4/_{100}$ de milímetro. En punto á los metales, aplicadas sucesivamente hojitas de oro de 8, 4 y 2 milésimas de milímetro á las caras de un cubo de vidrio, se notó que era la misma la diminucion del calórico radiante. De aquí resulta, al parecer, que en los metales no influye el espesor de la capa radiante, por lo menos hasta el límite á que es posible llegar.

Melloni ha comprobado tambien que el poder absorbente varía con la naturaleza del foco de calor. Por ejemplo, siendo igual la cantidad de calor incidente, el carbonato de plomo absorbe casi dos veces mas, si es emitido por un cubo lleno de agua á 100 grados, que si lo es por una lámpara. Solo el negro de humo absorbe siempre la misma cantidad de calor, sea cual fuere el manantial.

El poder absorbente varía con la inclinacion de los rayos incidentes. Se encuentra en su máximum bajo la incidencia normal, y disminuye á medida que los rayos incidentes se separen de la normal. Hé aquí una de las razones por qué el suelo se calienta mas en verano que en invierno, pues son entonces menos oblícuos los rayos solares.

Parece ser que los cuerpos reducidos á polvo tienen, en general, el mismo poder emisivo; al menos, esto es lo que se observa para diez y seis cuerpos, de veinte que Masson y Courtépée sometieron al esperimento.

En cuanto á los cuerpos gaseosos en combustion, su poder radiante es escesivamente débil; como se prueba aproximando la esfera de un termóscopo hácia una llama de hidrógeno, aunque la temperatura de esta llama sea muy elevada. Pero colocando en esta llama una espiral de platino, toma esta la temperatura de la llama, y radia fuertemente, segun lo indica el termóscopo. Por un efecto semejante es por lo que las llamas de las lámparas y del gas del alumbrado radian mucho mas que la llama de hidrógeno, á causa del esceso de carbono que contienen, y que, no siendo quemado en totalidad, queda incandescente en la llama.

364. **Aplicaciones.** — Las propiedades de los diversos poderes re-

flejante, absorbente ó emisivo encuentran muchísimas aplicaciones en la economía doméstica y en las artes. Si se trata de elegir, por ejemplo, el traje mas conveniente en invierno ó en verano, debe darse la preferencia al blanco, porque su poder emisivo es menor que el del negro, y de consiguiente, se oponen mas, durante el invierno, á la pérdida del calor del cuerpo humano. En verano, á causa de su débil poder absorbente, absorbe menos calor de la atmósfera que el negro, y por esto parece mas fresco. Tal será, sin duda, la razon que habrá guiado á la naturaleza para dar, á los animales que habitan las regiones polares, un pelaje blanco, sobre todo durante el invierno.

Conviene que la superficie de las vasijas para calentar agua, como las cafeteras, sea negra y esté despulimentada, porque es entonces mayor el poder absorbente. El brillo que se acostumbra darles se compra á espensas del combustible. Si se desea, por el contrario, conservar caliente un líquido el mayor tiempo posible, debe colocársele en una vasija metálica pulimentada y brillante, porque como es entonces menor el poder emisivo, se verifica con mas lentitud el enfriamiento.

En los Alpes, aceleran los montañeses la fusion de las nieves cubriéndolas con tierra, pues así crece su poder absorbente.

En nuestras casas debe ser negra la superficie esterior de las estufas y de los caloríferos, á fin de dar libre emision al calórico; y al contrario, el interior de nuestras chimeneas tendria que estar vestido de porcelana ó de loza blanca y pulimentada, á fin de aumentar el poder reflector del foco hácia la estancia.

* TRASMISION DEL CALORICO RADIANTE AL TRAVES DE LOS CUERPOS.

365. **Poder diatérmano.**—Hay cuerpos que dan paso al calórico radiante, de la misma manera que los cuerpos diáfanos permiten pasar la luz; pero otros se hallan privados de esta propiedad, ó no la poseen sino en grado muy remiso. Melloni dió á los primeros el nombre de *diatérmanos*, y á los segundos el de *atérmanos*. Los gases son los cuerpos mas diatérmanos, y los metales, completamente atérmanos. No se crea que, á pesar de la analogía que hay entre el calórico radiante y la luz, sean siempre los cuerpos trasparentes los mas diatérmanos, ni que los opacos sean constantemente atérmanos.

Prevost, en Ginebra, y Delaroche, en Francia, descubrieron, en 1811 y 1812, muchos fenómenos que presentan los cuerpos diatérmanos; pero en 1832 dió Melloni, merced á un ingenioso aparato termométrico que luego describirémos, una teoría completa de las propiedades diatérmanas de los sólidos y de los líquidos.

Valióse aquel físico en sus esperimentos de cinco manantiales de calor, á saber: 1.° una lámpara de Locatelli, es decir, sin cristal, con reflector y con una sola corriente de aire; 2.° una lámpara de Argant, esto es, con doble corriente de aire y con cristal: tales son las lámparas Carcel; 3.° un alambre de platino arrollado en hélice y mantenido al rojo blanco en la llama de una lámpara de alcohol;

4.° un cubito de cobre ennegrecido esteriormente y lleno de agua á 100 grados; 5.° en fin, una placa de cobre ennegrecida y sostenida á unos 400 grados por medio de la llama de una lámpara de alcohol.

Cambiando sucesivamente las láminas diatérmanas y los focos de calor, comprobó Melloni los hechos que vamos á dar á conocer.

366. **Causas que modifican el poder diatérmano.** — Seis son las causas que modifican el poder diatérmano, á saber:

1.ª La naturaleza de la sustancia que constituye las pantallas que atraviesa el calórico;

2.ª El grado de pulimento de estas pantallas;

3.ª Su espesor;

4.ª El número de pantallas que atraviesa el calórico;

5.ª La naturaleza de las pantallas que han sido atravesadas;

6.ª La naturaleza del foco de calor.

367. **Influencia de la sustancia de las pantallas.**—Trabajando con diversos líquidos colocados sucesivamente en una vasija de vidrio, cuyas paredes opuestas eran paralelas y distantes entre sí $9^{mm},2$, y comparando las indicaciones dadas por su aparato cuando se hallaban interpuestos los líquidos, con el efecto que se obtenia con el calórico directo, encontró Melloni, tomando por manantial de calor una lámpara de Argant, que, de 100 rayos incidentes:

El sulfuro de carbono deja pasar.	63
El aceite de olivas.	30
El éter.	21
El ácido sulfúrico..	17
El alcohol.	15
El agua azucarada ó aluminosa.	12
El agua destilada..	11

Habiendo hecho los mismos esperimentos con diversas sustancias sólidas talladas en láminas, con un espesor constante de $2^{m},6$, obtuvo Melloni la tabla siguiente;

De cada 100 rayos,	la sal gema deja pasar..	92
	el espato de Islandia y el vidrio de espejos.	62
	el cristal de roca ahumado.	57
	el carbonato de plomo diáfano.	52
	la cal sulfatada diáfana..	20
	el alumbre diáfano..	12
	el sulfato de cobre.	0

De los resultados consignados en estos dos cuadros, se deduce que, varias sustancias, mas ó menos impenetrables á la luz, como el cristal de roca ahumado, pueden muy bien dejarse atravesar por el calórico; mientras que otras sustancias, muy poco permeables á este último fluido, como por ejemplo, el sulfato de cal, y sobre todo el alumbre, pueden ser muy diáfanas. Estos diversos esperimentos conducen, pues, á admitir que no hay relacion alguna entre el poder diatérmano y la traslucidez de los cuerpos.

368. **Influencia del pulimento.** — El poder diatérmano de una lámina aumenta con su grado de pulimento. Por ejemplo, Melloni encontró que las indicaciones de su aparato variaban de 12 á 5 grados, con solo interponer varias pantallas de vidrio de la misma naturaleza y del mismo espesor, pero mas ó menos pulimentadas.

369. **Influencia del espesor.** — La cantidad de calor que atraviesa una pantalla diatérmana, decrece cuando aumenta el espesor. La absorcion se efectúa, en general, en las primeras capas, pues á cierta profundidad tiende el calor trasmitido á permanecer constante, caso aun de que continúe creciendo el grueso.

Comprobó Melloni este hecho trabajando con láminas de vidrio blanco, cuyos espesores eran 1, 2, 3, 4, y encontró que de cada 1000 rayos dejaban pasar 619, 576, 558, 549, números cuyas diferencias tienden á llegar á ser nulas.

370. **Influencia del número de pantallas.** — El aumento del número de pantallas que el calórico atraviesa produce un efecto análogo al aumento de espesor; es decir, que la absorcion crece con menos velocidad que el número de pantallas, ó en otros términos, que la cantidad de calor absorbido decrece desde una pantalla á la siguiente.

Además, si se hallan superpuestas muchas láminas de la misma especie, la cantidad de calor á que impiden el paso es mayor de lo que seria si constituyesen una sola placa de un grosor igual á la suma de sus espesores. Por fin, el efecto que producen varias láminas superpuestas de diversas sustancias, es independiente del órden en que se suceden.

371. **Influencia de la naturaleza de las pantallas ya atravesadas.** — Los rayos caloríficos que han atravesado ya una ó muchas sustancias, sufren una modificacion que los hace mas ó menos propios para ser trasmitidos al través de nuevas sustancias diatérmanas. Por ejemplo, comparando los resultados que se obtienen con una lámpara de Argant, cuya llama esté envuelta por un tubo de vidrio, con los que da una lámpara de Locatelli sin cristal, y representando por 100 los rayos incidentes, encontró Melloni los resultados que siguen, relativamente á la cantidad de calor trasmitido por las dos lámparas, á saber:

SUSTANCIAS	LÁMPARA de Argant.	LÁMPARA de Locatelli.
La sal gema deja pasar.	92	92
El espato de Islandia y el cristal de espejos. . .	62	39
El cristal de roca ahumado.	57	37
La cal sulfatada.	29	14
El alumbre.	12	9

Dedúcese de aquí que el calor que en la lámpara de Argant ha atravesado ya al vidrio, se trasmite con mas facilidad al través de las

demas sustancias. Solo la sal gema da siempre paso á la misma cantidad de calor incidente.

372. **Influencia de la naturaleza del manantial.** — La naturaleza del manantial de calor modifica mucho, en general, el poder diatérmano de los cuerpos, conforme lo demuestran los resultados obtenidos por Melloni, haciendo uso de cuatro manantiales distintos. En efecto, representando tambien por 100 los rayos incidentes, obtuvo aquel físico los resultados consignados en el cuadro siguiente :

SUSTANCIAS.	LÁMPARA de Locatelli.	PLATINO incandescente.	COBRE calentado á 400°.	COBRE calentado á 100°.
La sal gema deja pasar. .	92	92	92	92
El espato de Islandia. . .	39	28	6	0
El cristal de espejos. . .	39	24	6	0
La cal sulfatada.	14	5	0	0
El alumbre..	9	2	0	0

Este cuadro demuestra, sin mas escepcion que la sal gema, que la proporcion de calor trasmitida al traves de los sólidos disminuye con la temperatura del foco, llegando á ser nula cuando solo tiene este 100 grados. El mismo fenómeno se observa en los líquidos.

373. **Diferentes especies de rayos caloríficos.** — Las propiedades que presenta el calor, en su paso al traves de los cuerpos, indujeron á Melloni á emitir acerca del calórico una hipótesis análoga á la que hace tiempo se conoce sobre la luz. Así como Newton admitió muchas especies de luz, como son la *roja*, *anaranjada*, *amarilla*, *verde*, *azul*, *añil* y *violeta*, desigualmente trasmisibles al traves de los cuerpos diáfanos, y combinables entre sí, ó bien aislables; de la misma manera admite Melloni la existencia de muchas especies de rayos caloríficos que serán emitidos simultáneamente, en proporciones variables, por los diversos focos de calor, y que estarán dotados de la propiedad de atravesar mas ó menos fácilmente las sustancias diatérmanas. Poseerian, pues, estas una verdadera *coloracion* calorífica; es decir, que absorberian ciertos rayos dejando pasar los demás, así como un vidrio azul, por ejemplo, solo se deja penetrar por el color azul y no por los demas colores.

La teoría de Melloni se esplica muy bien en el sistema de las ondulaciones, admitiendo que las propiedades de las diferentes especies de rayos caloríficos dependen del número distinto de vibraciones, ó de ondas caloríficas de desigual longitud.

374. **Aplicaciones de los poderes diatérmanos.** — Si bien no se ha hecho aun esperimento alguno directo acerca del poder diatérmano de los gases, no puede negarse que el aire es muy diatérmano, supuesto que en él se producen todos los fenómenos de calor radiante. A causa de su gran poder diatérmano se hallan siempre las capas superiores de la atmósfera á una baja temperatura, á pesar de los rayos

solares que las atraviesan. Por ser poco diatérmana el agua, se produce el fenómeno contrario en el seno de los mares y de los lagos. Las capas superiores son las únicas que participan de las variaciones de temperatura, siguiendo las estaciones; pues á cierta profundidad permanece constante la temperatura.

Se han utilizado las propiedades de los cuerpos diatérmanos para separar la luz y el calor que irradian juntos de un mismo foco. La sal gema, cubierta con negro de humo, detiene por completo la luz, dando paso al calórico; y por el contrario, las placas ó disoluciones de alumbre detienen al calórico, dejando pasar la luz. Aplícase, con ventaja, este último procedimiento en los aparatos que se iluminan con los rayos solares ó con la luz eléctrica, cuando es necesario evitar un calor demasiado intenso.

El uso de campanas en los jardines para el abrigo de ciertas plantas, está fundado en la propiedad diatérmana del vidrio (véase el cuadro anterior), pues atraviesan á esta sustancia los rayos solares que tienen una alta temperatura, pero no el calor radiante del suelo.

375. **Difusion.** — Hemos visto ya (360) que el calor que cae sobre la superficie de un cuerpo no se refleja en totalidad, siguiendo las leyes de réflexion (356); sino que parte lo verifica con irregularidad, es decir, en todas direcciones alrededor del punto de incidencia. Este fenómeno es el que se designa con el nombre de *difusion* ó de *reflexion irregular* del calórico, dándose el nombre de *reflexion regular* ó de *reflexion especular* á la que sigue las leyes citadas. Melloni fué quien descubrió el fenómeno de la difusion por la superficie de los cuerpos.

La reflexion regular no se efectúa mas que en las superficies pulimentadas; y la irregular, por el contrario, se produce en las mates ó rugosas, como en las láminas de madera, de vidrio, de metal, sin pulimentar y mates.

Varía el poder difusivo, segun la naturaleza del foco y la de las sustancias reflectoras. Los cuerpos blancos dispersan mucho el calórico que radia de un foco incandescente; y los metales mates son aun mas dispersivos que los cuerpos blancos.

CAPITULO X.

MAQUINAS DE VAPOR.

376. **Objeto de las máquinas de vapor.** — Las *máquinas de vapor* son aparatos que sirven para utilizar la fuerza elástica del vapor de agua como fuerza motriz.

En las máquinas generalmente usadas, imprime el vapor, en virtud de su fuerza elástica, á un émbolo ó piston un movimiento rectilíneo, trasformado luego en movimiento circular contínuo por medio de diversos mecanismos.

Toda máquina de vapor consta de dos partes bien distintas, que son: el aparato en donde se produce el vapor, y la máquina, propiamente dicha: describirémos, desde luego, el primer aparato.

377. Generador del vapor.—Llámase *generador* ó *caldera* el aparato que sirve para la produccion del vapor. La fig. 223 representa la forma que de ordinario se da á los generadores de las máquinas fijas, pues los de las locomotoras y de los buques de vapor son muy diferentes. Consiste en un largo cilindro de palastro, cuyas estremidades son hemisféricas; debajo hay otros dos cilindros de menor diámetro, de palastro igualmente, y que comunican con el generador por dos tubos. Estos dos cilindros, de los cuales solo es visible uno en el grabado, reciben el nombre de *hervideros*; sirven para recibir el golpe de fuego de la hornilla, y estan completamente llenos de agua, mientras que la caldera solo lo está poco mas de la mitad.

Debajo de los hervideros está la hornilla alimentada con hulla ó con madera. Los productos de la combustion, despues de haber circulado alrededor de los hervideros y de la caldera, salen á la atmósfera por una chimenea, á la cual se da casi siempre gran altura, á fin de activar el tiro.

La siguiente descripcion nos dispensa de entrar en mayores detalles:

Esplicacion de la figura 223.

A Tubo que conduce el vapor al tubo *c* de la caja de distribucion de la máquina (fig. 225).

B Tubo que conduce el vapor á un manómetro que indica la tension del vapor en el interior de la caldera.

C Tubo que sirve para la introduccion del agua en la caldera.

D *Silbato de alarma*, así llamado porque dá un aviso cuando no hay bastante agua en la caldera, circunstancia que puede causar una esplosion en el momento de entrar el agua, porque, encontrándose al rojo las paredes, se forma al instante un esceso de vapor. Mientras no es demasiado bajo el nivel en la caldera,

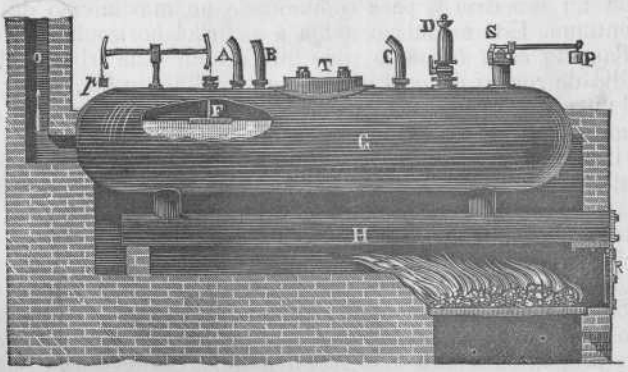


Fig. 223 (1=6m).

no pasa el vapor al silbato; pero si desciende aquel á un punto inferior á la debida altura, baja y da salida al vapor un pequeño flotador que no se ve en el grabado, y que cierra el pié del silbato. Al escaparse el vapor, pasa rasando los bordes de un disco metálico, y le hace producir un sonido agudo que con frecuencia se oye en los caminos de hierro.

F *Flotador* destinado á indicar el nivel del agua en la caldera. Consta de una piedra rectangular, que se introduce en parte en el agua, conforme se vé, merced á la porcion separada de la pared del generador. Esta piedra, que se halla suspendida en la estremidad de una palanca, permanece en equilibrio por

efecto de la pérdida de peso que esperimenta en el agua y de un contrapeso p. Mientras llega el agua á la altura necesaria, permanece horizontal la palanca que sostiene al flotador; pero se inclina hácia F cuando no hay bastante agua, y en sentido contrario, si hay demasiada. En ambos casos es un signo que sirve para regular convenientemente la introduccion del agua de alimentacion.

G *Generador* cilíndrico de palastro, completamente cerrado.
H *Hervideros*, en número de dos, yustapuestos.
O Conducto de la chimenea.
P Peso que carga la válvula de seguridad.
p Contrapeso del flotador.
R Puerta del hogar.
S *Válvula de seguridad*, descrita ya al hablar de la marmita de Papin (304).
T Abertura para la limpieza y reparacion de la caldera (es el *Trou d'homme* de los franceses).

378. **Máquina de doble efecto, ó máquina de Vatt.** — Dáse el nombre de *máquina de vapor de doble efecto* á aquella en la cual obra el vapor alternativamente encima y debajo del piston. Conócesela tambien con la denominacion de *máquina de Watt*, porque está construida segun el sistema que habia adoptado aquel ilustre ingeniero.

Demos primero una idea del conjunto de esta máquina, á fin de describir cada una de sus piezas en particular. A la izquierda del dibujo (fig. 224) se vé un cilindro de fundicion á donde va el vapor de la caldera; y merced á la porcion desprendida de la pared del mismo, se puede observar un piston, sobre el cual obra el vapor alternativamente por encima y por debajo, con objeto de hacerle subir y descender. Por su vástago A trasmite el piston su movimiento alternativo á una enorme palanca de fundicion L, llamada *balancin*, y sostenida por cuatro columnas de fundicion tambien. El balancin trasmite su movimiento á una larga barra de fundicion I, que se articula con un *manubrio* K para comunicarle un movimiento de rotacion contínuo. Este manubrio se fija á un árbol horizontal de fundicion, llamado *árbol de asiento*, que gira con él. Este árbol es el que, por medio de ruedas de engranaje ó de tornillos sin fin, va á comunicar el movimiento á diversos mecanismos, tales como sierras, tornos, laminadores, máquinas de hilar, etc.

A la izquierda del cilindro está la caja de distribucion, pasando el vapor alternativamente debajo y encima del piston. Pero interesa que despues de su accion en cada cara de este desaparezca el vapor, pues de lo contrario habria presion en ambos sentidos, quedando en equilibrio el piston. Al efecto, el vapor que ha actuado ya, va á un cilindro O, que contiene agua fria y que se llama *condensador*, porque en él se condensa casi por completo, cesando la presion en la parte del cilindro que comunica con el condensador. De consiguiente, como solo hay presion en una de las caras del émbolo, sube ó baja este.

El uso del condensador está basado en el principio de la teoría de los vapores, debido á Watt, es decir, que cuando dos vasijas que comunican entre sí y que contienen vapor en el estado de saturacion, se hallan á diferentes temperaturas, en ambas es igual la tension, correspondiendo esta á la temperatura de la vasija menos caliente (294).

Como se calienta rápidamente el agua del condensador por efecto de

la liquidacion de los vapores, es preciso renovarla con frecuencia, lo cual se obtiene mediante dos bombas. Una de ellas, FM, se llama *bomba de aire*, y aspira del condensador el agua caliente que contiene, y al mismo tiempo el aire disuelto en el líquido del generador que va juntamente con el vapor al cuerpo del cilindro y al condensador. La otra bomba, HR, se denomina *bomba de pozos*, porque aspira de un pozo ó de un rio el agua fria, que es repelida al condensador por la presion atmosférica.

Una tercera bomba, GQ, llamada *bomba alimenticia*, impele hácia el generador el agua caliente aspirada del condensador; con lo cual se economiza combustible.

Máquina de vapor de doble efecto.

(Esplicacion).

A *Vástago del piston* que se articula con el paralelógramo, y que sirve para trasmitir al balancin el movimiento de vaiven del piston.

B Palanca fija en el cilindro á fin de sostener el brazo de retorno C.

C *Brazo de retorno* doble, que dirige el movimiento del paralelógramo.

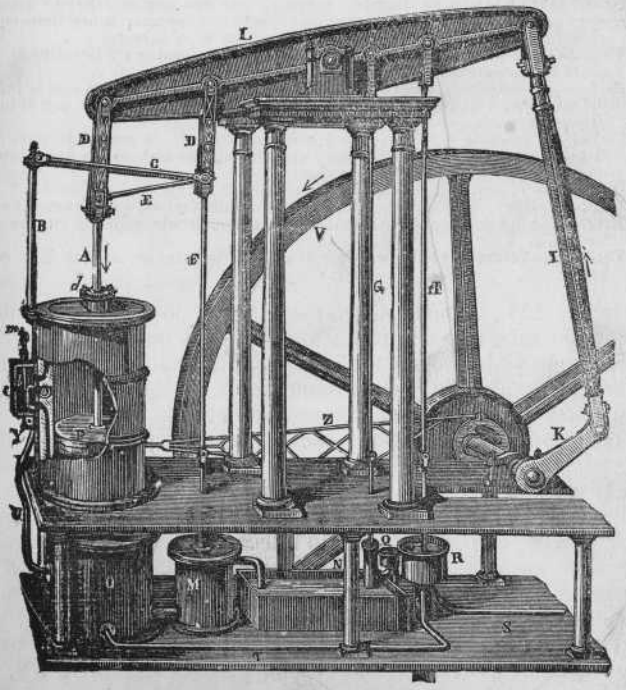


Fig. 224 (a = 1m.)

D, D, E Varillas que forman con la estremidad del balancin un *paralelógramo articulado*, al cual se fija el vástago del piston, y que tiene por objeto conservar á este vástago un movimiento rectilíneo durante su carrera.

F Vástago de la *bomba de aire* que saca el aire y el agua caliente del condensador.
G Vástago de la *bomba alimenticia* que repele hácia el generador por el tubo S el agua caliente aspirada del condensador.
H Eje de la *bomba de pozos* que sirve para estraer el agua fria necesaria para la condensacion.
I *Barra de fundicion* que trasmite el movimiento del balancin al manubrio.
K *Manubrio* que trasmite el movimiento de la barra al árbol de asiento.
L *Balancin* móvil en su parte media sobre dos gorrones. Trasmite el movimiento del émbolo á la barra.
M Cilindro de la bomba de aire en comunicacion con el condensador O.
N Depósito de agua caliente que aspira del condensador la bomba de aire.
O *Condensador* lleno de agua fria, en el cual se liquida el vapor despues de haber obrado sobre el émbolo.
P *Piston metálico* móvil en un cilindro de fundicion. Este piston es el que recibe directamente la presion del vapor y el que trasmite el movimiento á todas las piezas de la máquina.
Q Depósito de aire (190) de la bomba impelente alimenticia que envia agua á la caldera.
R Depósito de agua fria de la bomba de pozo.
S Tubo que conduce al generador el agua caliente repelida por la bomba alimenticia.
T Tubo que conduce del depósito R al condensador el agua fria aspirada por la bomba de pozo.
U Tubo que va desde el cilindro al condensador, despues de haber actuado sobre el émbolo.
V Gran rueda de fundicion, llamada *volante*, que gira con el árbol de asiento y sirve para regular el movimiento, en virtud de su inercia, sobre todo cuando el émbolo se halla en la parte alta y en la baja de su carrera.
Y Palanca angular que trasmite el movimiento del escéntrico *c* á la cajita *b*.
Z Tirante del escéntrico.
a Orificio que comunica unas veces con la parte superior y otras con la inferior del cilindro, y que sirve para dar paso al vapor á fin de que vaya por el tubo M al condensador.
b Varilla que trasmite el movimiento á la válvula en D [1], la cual sirve para hacer llegar el vapor unas veces encima y otras debajo del émbolo. La describirémos en el artículo *Distribucion de vapor*.
c Orificio por el cual llega el vapor del generador á la caja de distribucion.
d *Caja con estopa*, en la cual se desliza el vástago del émbolo sin dar paso al vapor.
e *Escéntrico* fijo en el árbol de asiento: gira en un círculo sobre el cual se ata el tirante *z*.
m Varilla que enlaza la varilla *b* de la válvula con la palanca angular Y y con el escéntrico.

En la figura 224, la parte inferior del dibujo no representa enteramente la disposicion que de ordinario se da á las bombas, al depósito de agua caliente y al de agua fria. Las modificaciones del grabado se han hecho con la idea de que se comprenda mejor de qué manera funcionan estas piezas, y cómo comunican entre sí.

379. Distribucion del vapor; escéntrico. — La figura 225 representa los pormenores de la *distribucion del vapor*. Un tubo *c*, que comunica con la caldera, conduce el vapor á una caja rectangular de fundicion fija sobre el cilindro. En el espesor de la pared de este último hay tres orificios *u*, *n*, *a*: por un conducto interno comunica el primero con la parte superior del cilindro; el segundo con la inferior, y el tercero *a* con un agujero *r* que se dirige al condensador. Sobre los tres orificios corre una pieza *t*, llamada *corredera* ó *válvula en D*, y fija por una varilla *b* articulada en *m* con un eje mayor *d*, á fin de recibir con él un movimiento de vaiven de una palanca angular *y o* S, que

[1] Llámase *válvula en D* á la especie de cajoncito que, por su movimiento recibido del escéntrico, hace que el vapor obre alternativamente sobre y debajo del piston, dejando luego salida al vapor que ya ha funcionado. *(N. de J. P.)*

está en comunicacion con el escéntrico. Cuando la válvula está en la parte mas alta de su carrera, segun lo indica la figura, penetra el vapor por el orificio *n* y va á la parte inferior del cilindro, mientras que, estando cerrado por aquella el orificio *u*, no puede penetrar por él el vapor; pero el que se halla encima del émbolo se dirige por el mismo orificio *u* y por el *a* al agujero *r*, por donde pasa al condensador. El émbolo, solo se encuentra impelido de abajo arriba, y sube.

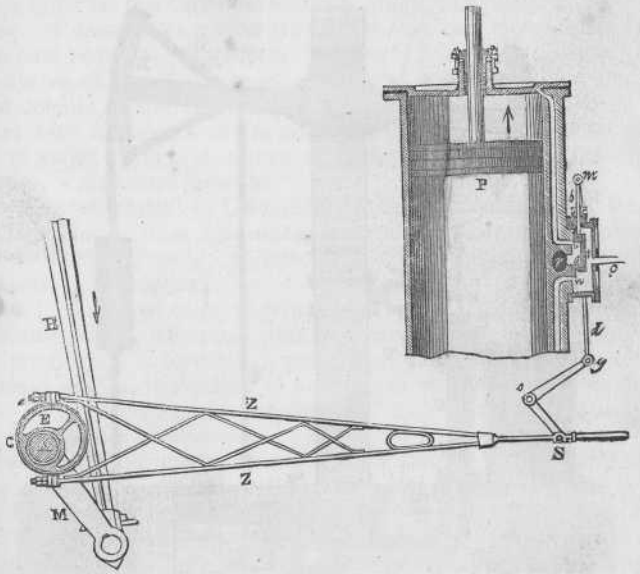


Fig. 225.

Si, por el contrario, se encuentra la válvula en el punto mas bajo, el orificio *u* es el que da entrada al vapor, y el *n* el que le deja paso para dirigirse al condensador; de consiguiente, desciende el émbolo, y así sucesivamente á cada traslacion de la válvula.

En cuanto al movimiento de vaiven que esta toma, procede del *escéntrico*. Tal es el nombre que se da á una pieza circular E, fija en el árbol de asiento A, pero de modo que su centro no coincida con el eje de dicho árbol. El escéntrico se halla envuelto por un aro C, en el cual gira, á rozamiento suave, terminando en el mismo las varillas ZZ. Sigue el aro, sin girar, el movimiento del escéntrico, y recibe de él, en la direccion horizontal, un movimiento alternativo que comunica á la palanca S *o y*, y de aquí á la válvula.

380. **Máquina de simple efecto.** — Llámase *máquina de simple efecto* aquella en la cual solo obra el vapor en la cara superior del émbolo, exigiendo para el ascenso de este la accion de un contrapeso colocado en la otra estremidad del balancin. Estas máquinas, que

apenas sirven hoy dia, fueron en un principio aplicadas, especialmente por Watt, al movimiento de las bombas para el desagüe de las minas. En este caso son preferibles, por su sencillez, á la máquina de doble efecto, y así es que aun se emplean en el condado de Cornualles, en Inglaterra.

La fig. 226 representa la seccion de una máquina de simple efecto. El balancin BB es de madera : vénse en su estremidad unos arcos de

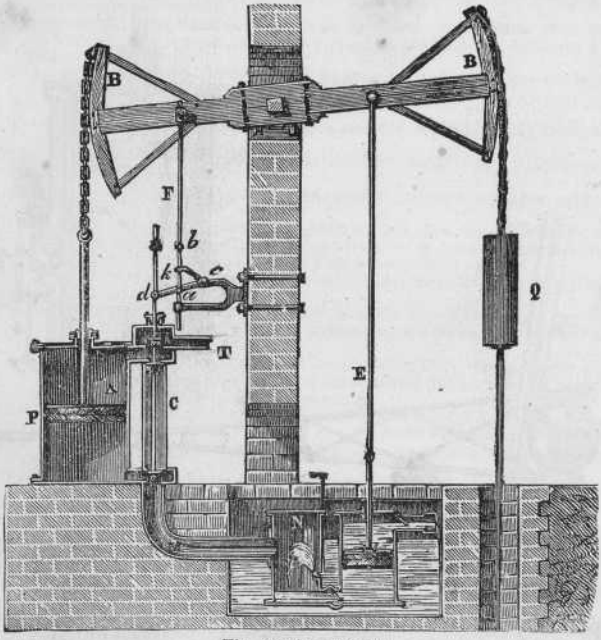


Fig. 226 (a = 9m,50).

círculo, en los cuales se arrollan dos cadenas sujetas, la una al vástago del émbolo P, que recibe el vapor, y al vástago de la bomba de desagüe la otra. A la derecha del cilindro A está la caja de distribucion C, á la cual llega el vapor de la caldera por el tubo T. Una varilla vertical *d* lleva tres válvulas *m*, *n*, *o*; la *m* y la *o* se abren de abajo arriba, y la *n* de arriba abajo.

Estando abiertas las válvulas *m* y *o*, conforme lo indica el dibujo, llega de lleno el vapor de la caldera, por el tubo T, al piston P, mientras que el que se encuentra debajo va al condensador N por el conducto M; y entonces desciende el piston. La varilla que lleva las válvulas *m*, *n*, *o*, está en relacion con una palanca angular *dck*, móvil sobre una charnela *c*. Esta palanca angular es la que hace abrir y cerrar las válvulas. Al efecto, una varilla F, fija en el balancin, lleva dos topes *a* y *b*, por medio de los cuales choca con la estremidad *k*

de la palanca angular. En la fig. 226, por efecto de la disposicion de las válvulas, baja el émbolo y con él la varilla F; de consiguiente, el tope *b* hiere la palanca y la hace descender al mismo tiempo que á la varilla *dmo*, cerrándose entonces las válvulas *m* y *o*, y abriéndose la *n*. Al llegar este momento se interrumpe toda clase de comunicacion con el condensador; pero el vapor que acaba de hacer descender al émbolo, pasa libremente debajo por el conducto C. Como entonces impele por igual las dos caras del émbolo, queda en equilibrio, subiendo de nuevo el émbolo en virtud de la traccion que ejerce el peso Q; todo lo cual requiere poca fuerza, porque la bomba de desagüe, cuyo eje se fija en el peso Q, solo exige esfuerzo cuando sube su émbolo. En el momento en que el piston P llega á la parte mas alta de su carrera, el tope *a* choca á su vez contra la palanca *k*, levanta la varilla *dno*, y el vapor acciona de nuevo sobre el émbolo, el cual principia á descender, y así sucesivamente.

381. **Locomotoras.** — Llámanse *máquinas locomotoras*, ó simplemente *locomotoras*, unas máquinas de vapor que, montadas sobre el armazon de un carruage, se mueven por sí mismas, trasmitiendo el movimiento á las ruedas.

En las locomotoras estan suprimidos el paralelógramo, el balancin y el volante de las máquinas fijas; se encuentra tambien completamente modificada la forma del generador. Las partes principales de que consta son las siguientes: el *bastidor*, la *caja de fuego*, el *cuerpo cilíndrico* de la caldera, los *cilindros de vapor* con sus válvulas, las *ruedas motoras* y la *alimentacion*.

El bastidor es un marco de madera, sostenido por los ejes de las ruedas, y que sirve de apoyo á su vez á todas las partes de la máquina. La fig. 227 representa al maquinista que dirige la locomotora, subido sobre la plataforma que cubre al bastidor, en el momento de ir á abrir la *toma de vapor* I, situada en la parte superior de la caja de fuego Z. En la parte inferior de esta se encuentra el fogon, desde el cual la llama y los productos de la combustion van á la caja de humo Y, y luego al tubo de la chimenea, despues de haber atravesado 125 tubos de cobre que se hallan completamente sumergidos en el agua de la caldera.

La caldera que enlaza la caja de fuego con la de humo, es de cobre, de forma cilíndrica, de un metro de diámetro, y está rodeada de duelas de caoba que, por su débil conductibilidad, se oponen al enfriamiento. Al salir de la caldera pasa el vapor á los dos cilindros situados á cada lado de la caja de humo. En ellos, por medio de una distribucion análoga á la ántes descrita (379), obra alternativamente sobre las dos caras de los pistones, cuyos vástagos trasmiten el movimiento al eje de las grandes ruedas. No se ve esta distribucion en el grabado, porque se encuentra debajo del bastidor entre los dos cilindros. Despues de haber obrado el vapor sobre los pistones, se desprende por la chimenea y contribuye así á aumentar el tiro. La trasmision del movimiento de los pistones á las dos grandes ruedas se efectúa por dos barras que, por medio de manivelas, ligan los vástagos

de los émbolos con el eje de dichas ruedas. En cuanto al movimiento de vaiven en la caja de distribucion de cada cilindro, se obtiene por medio de escéntricos, colocados sobre el eje de las dos grandes ruedas.

La alimentacion, es decir, la renovacion del agua en la caldera, se consigue por medio de dos bombas aspirantes é impelentes, situadas debajo del bastidor y movidas por escéntricos. Estas bombas aspiran, por medio de tubos de comunicacion, el agua de un depósito que hay sobre el *tender* (1), nombre que se da al carruage que sigue inmediatamente á la locomotora, y que lleva el agua y el carbon necesarios para un determinado viaje.

La esplicacion que acompaña al grabado nos dispensa de entrar en mas pormenores.

Locomotora de cúpula.

(Esplicacion).

A	Tubo de cobre que recibe el vapor por la estremidad I, y que se bifurca en la otra estremidad para conducirle á los dos cilindros que contienen los émbolos motores.
B	Mango de la palanca que sirve para cambiar de direccion. Trasmite el movimiento á la varilla C, la cual lo comunica á la distribucion de vapor.
C	Barra para cambiar de direccion.
D	Parte inferior de la caja de fuego que contiene las rejillas del fogon.
E	Tubo de salida del vapor luego que ha obrado sobre los pistones.
F	Cilindro de fundicion que contiene un piston motor. A cada lado de la locomotora hay uno análogo. Con objeto de que se vea el émbolo, está entreabierto el cilindro en la figura.
G	Varilla que sirve para abrir la corredera I, á fin de que pase el vapor al tubo A. En el grabado tiene en la mano el maquinista la palanca que hace girar esta varilla.
H	Llave para vaciar la caldera.
I	Corredera que se abre y se cierra á mano para la graduacion del vapor.
K	Gran barra motora aborquillada, que reune la estremidad del vástago del piston con el manubrio M de la rueda mayor.
L	Lámpara y reflector que sirven para indicar, de noche, la aproximacion de la locomotora.
M	Manivela que trasmite al eje de la rueda mayor el movimiento del piston.
N	Boton para enganchar el tender
O	Puerta del fogon para introducir el coke.
P	Embolo metálico cuyo vástago se articula con la barra K.
Q	Tubo de la chimenea por la cual salen el humo y el vapor de los cilindros.
R, R	Tubos que conducen el agua del tender á dos bombas impelentes que alimentan la caldera, pero que no se ven en el dibujo.
S	Palanca que barre las piedras ú otros obstáculos de la via.
T, T	Muelles que sostienen la caldera.
U, U	Rails ó barras de hierro apoyadas sobre coginetes, y estos sobre piezas de madera.
V	Bastidor de la caja de estopa de los cilindros.
X, X	Cuerpo cilíndrico de la caldera, cubierto de duelas de caoba que disminuyen la pérdida de calor por su débil conductibilidad. Vése debajo del tubo A hasta dónde sube el nivel del agua en la caldera. En medio mismo del agua hay unos tubos de cobre *a*, al traves de los cuales pasan los productos de la combustion para dirigirse á la caja de humo.
Y	Caja de humo donde terminan los tubos *a*.
Z, Z	Caja de fuego con cúpula para el vapor.
a	Tubos de cobre en número de 125, abiertos por sus dos estremidades. Terminan por un lado en la caja de fuego, y por otro en la de humo. Estos tubos trasmiten el calor del fogon al agua de la caldera, y la vaporizan.

(1) La palabra inglesa *tender* no ha sido vertida al francés ni español, y una de sus acepciones es *guarda*; así, al carruage que lleva la provision de agua para el vapor, lo llaman en inglés *tender-carriage*. *(N. de J. P.)*

b Sector-guia situado al lado de la caja de fuego. Lleva varias muescas, en las cuales puede engranar el brazo de palanca B. La muesca estrema anterior corresponde á la marcha hácia adelante, la estrema posterior á la marcha hácia atrás, y la de enmedio es un punto muerto. Las muescas intermedias entre esta y las estremas regulan la marcha hácia adelante ó hácia atrás.

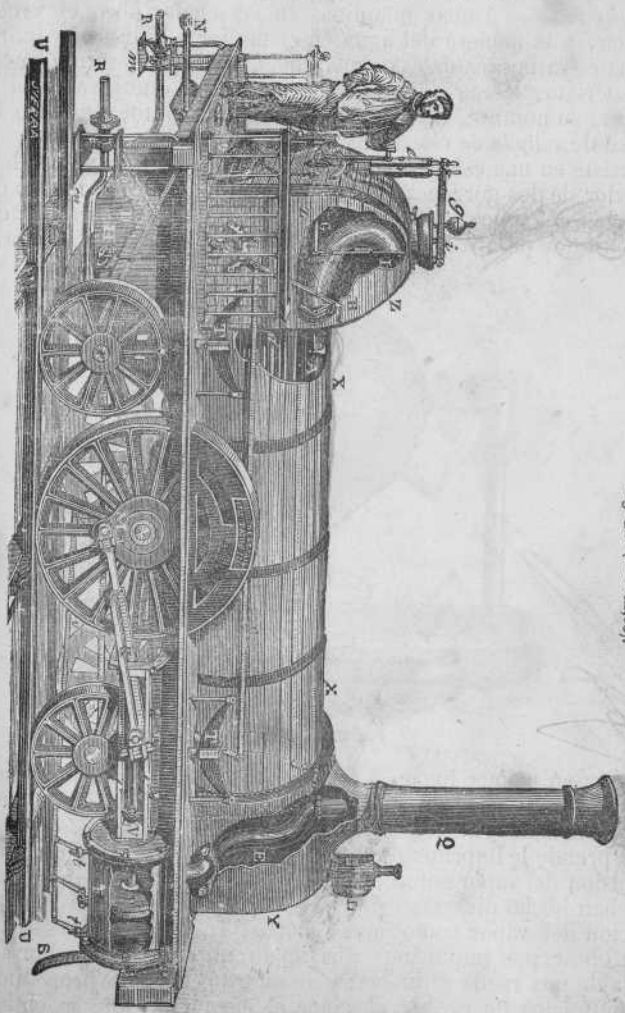


Fig. 227 (l = 5m,38).

e Estuches con resortes que regulan el juego de las válvulas de seguridad *i*.
g Silbato de alarma que se oye á unos 2000 metros.
i Válvulas de seguridad.
m, m Estribos para subir á la locomotora.
n Tubo de cristal situado delante del maquinista para indicar el nivel del agua en la caldera, con la cual comunica por sus dos estremidades.

r, r Guias que mantienen en linea recta el movimiento de la cabeza del émbolo.
l, l Llaves de espurgo despues de dispuesto el tren y de calentados los cilindros.
v Varilla que trasmite el movimiento á las llaves de espurgo.

382. **Máquinas de reaccion; eolípila.** — Dáse el nombre de *máquinas de reaccion* á unas máquinas en las cuales obra el vapor por reaccion, á la manera del agua en el molinete hidráulico (85). Muy antigua es ya la idea de estas máquinas, pues ciento veinte años antes de Jesucristo, Heron de Alejandría, el mismo que inventó la fuente que lleva su nombre, describió el siguiente aparato, conocido con el nombre de *eolípila de reaccion*.

Consiste en una esfera hueca de metal (fig. 228), que puede girar alrededor de dos gorrones. En las estremidades de un mismo diámetro se ven dos tubos agujereados lateralmente, y en sentido contrario, para dar paso al vapor. Para introducir agua en la esfera, se la

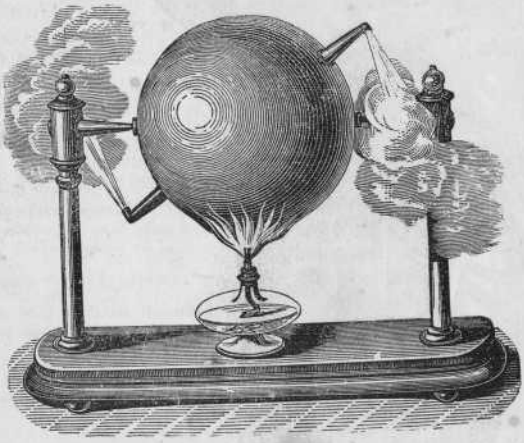


Fig. 228 (a=18).

calienta, en primer lugar, á fin de enrarecer el aire; luego se la introduce en agua fria, el aire se contrae y el líquido penetra en la esfera. Calentando entonces el aparato hasta la ebullicion, el vapor que se desprende le imprime un rápido movimiento de rotacion, debido á la presion del vapor sobre la pared opuesta al orificio de salida.

Se han hecho diversas tentativas con objeto de utilizar en grande la reaccion del vapor como fuerza motriz. Tambien se ha ensayado hacerle obrar por impulsion, dirigiendo un chorro de vapor sobre la paleta de una rueda giratoria; pero en estos diversos procedimientos, está muy lejos de prestar el vapor el efecto útil que se obtiene haciéndolo obrar por espansion sobre un émbolo.

383. **Máquinas de baja, de alta y de media presion.** — Se dice que una máquina es de *baja presion*, cuando la tension del vapor no pasa de 1 atmósfera y 1/4; de *media presion*, si dicha presion se

halla comprendida entre 1 ¼ y 4 atmósferas, y de *alta presion*, si es superior á 4 atmósferas.

384. **Máquinas con espansion y sin ella.** — Si el vapor funciona de lleno sobre el émbolo durante toda su carrera, no varía su fuerza elástica, y se dice que el vapor obra *sin espansion;* pero si, merced á una adecuada disposicion de la válvula, cesa de llegar vapor sobre el émbolo, cuando solo se encuentra este á los dos tercios ó á los tres cuartos de su carrera, entonces es *con espansion*, es decir, que, en virtud de su fuerza espansiva, debida á su alta temperatura, continúa obrando sobre el émbolo, y así le obliga á acabar de recorrer su carrera. De aquí la distincion de *máquinas con espansion* y de *máquinas sin espansion.*

Por último, llámanse *máquinas de condensacion* las que tienen un condensador para la liquidacion del vapor que ha obrado sobre el émbolo; y *máquinas sin condensacion*, las que carecen de condensador, como las locomotoras.

385. **Caballo de vapor.** — En mecánica aplicada, se entiende, por *trabajo mecánico* de un motor, el producto del esfuerzo que ejerce por el camino recorrido por este, y se toma como unidad de trabajo mecánico el *quilográmetro*, ó sea el trabajo necesario para elevar 1 quilógramo á 1 metro de altura en 1 segundo.

En la medida del trabajo de las máquinas de vapor, sirve de unidad el *caballo de vapor*, que representa el *trabajo necesario para elevar* 75 *quilógramos á 1 metro de altura en 1 segundo*, es decir, que equivale á 75 quilográmetros. De consiguiente, una máquina de 40 caballos es la que puede elevar, de una manera contínua, 40 veces 75 quilógramos, ó 3000 quilógramos, á 1 metro de altura por segundo. El trabajo de un caballo de vapor es casi doble del de un caballo ordinario de tiro.

CAPITULO XI.

MANANTIALES DE CALOR.

386. **Diferentes manantiales de calor.** — Los diversos manantiales de calor son: 1.° los *mecánicos*, que comprenden el rozamiento, la percusion y la presion, 2.° los *físicos*, á saber, la radiacion solar, el calor terrestre, las acciones moleculares, los cambios de estado y la electricidad; 3.° los *químicos*, es decir, las combinaciones moleculares, y especialmente la combustion.

Manantiales mecánicos.

387. **Calor debido al rozamiento.** — El roce de dos cuerpos el uno contra el otro desarrolla una cantidad de calor tanto mas considerable, cuanto mas intensa es la presion y mas rápido el movimiento. Por ejemplo, sucede á menudo que se calientan hasta inflamarse los cubos de las ruedas de los coches por su roce con el eje. Davy

fundió en parte dos pedazos de hielo frotándolos el uno contra el otro en una atmósfera bajo cero. Rumford encontró que, para obtener 250 gramos de limaduras, el calor desarrollado por el rozamiento es capaz de elevar 25 quilógramos de agua de cero á 100 grados, cantidad que representa 2500 calorías (334). En la esposicion universal de 1855, MM. Beaumont y Mayer tenian espuesto un aparato con el que elevaban, en algunas horas, desde 10 hasta 130 grados, 400 litros de agua. Este calor era desarrollado por el rozamiento que se producia en el interior de un cono hueco de cobre por otro cono de madera recubierto de cáñamo, que daba en el interior de aquel 400 vueltas por minuto. El cono hueco estaba fijo y completamente sumergido en el agua de una caldera herméticamente cerrada. Las superficies frotadas estaban constantemente impregnadas de aceite.

Al chocar el eslabon contra el pedernal, se desarrolla con el rozamiento tal calor, que las partículas metálicas que se desprenden llegan á inflamarse en el aire.

Atribúyese el calor que el rozamiento desarrolla á un movimiento vibratorio que toman las moléculas de los cuerpos.

388. Calor originado por la presion y la percusion. — Si se comprime un cuerpo de manera que aumente su densidad; sube tanto mas su temperatura, cuanto mayor es la diminucion de volúmen.

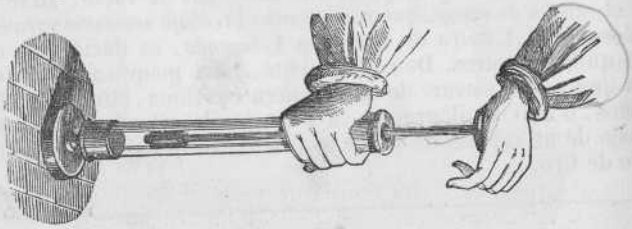


Fig. 229 (1=36).

Este fenómeno, poco sensible en los líquidos, lo es mas en los sólidos; pero en los gases que son sumamente compresibles es muy considerable el desprendimiento de calor.

Demuéstrase este último por medio del *eslabon neumático*. Se compone este instrumento de un tubo de vidrio de paredes gruesas, con un émbolo de cuero que ajusta herméticamente (fig. 229), y que tiene en su base una cavidad para recibir un pedacito de yesca. Lleno de aire el tubo, se introduce bruscamente el piston, y el aire comprimido se calienta entonces en términos de inflamar la yesca, la cual arde con solo retirar rápidamente el piston. La inflamacion de la yesca, en este esperimento, supone una temperatura de 300 grados por lo menos. En el acto de la compresion se ve una luz bastante viva, que se atribuyó primero á la alta temperatura que adquiere el aire; pero luego se ha reconocido que depende tan solo de la combustion del aceite con que se impregna el piston.

La presion, por efecto del ascenso de temperatura que determina, basta para dar lugar á la combinacion, y de consiguiente, á la detonacion de una mezcla de oxígeno y de hidrógeno.

El calor que desarrolla la compresion se esplica por la aproximacion de las moléculas, que hace pasar parte del calor latente á sensible (1).

Otro manantial de calor es la percusion, conforme puede verse batiendo sobre un yunque un metal maleable. Pero el calor debe su orígen, no solo á la aproximacion de las moléculas, sino tambien á un movimiento vibratorio, pues el plomo se calienta, no obstante de que no crece por la percusion su densidad.

Manantiales fisicos.

389. **Radiacion solar.** — El sol es el manantial mas intenso de calor, pero se ignora la causa de este, que suponen unos es una masa inflamada que esperimenta inmensas erupciones, mientras que otros le han considerado como compuesto de capas que reaccionan químimicamente las unas sobre las otras, á la manera de los pares de la pila voltáica, dando así orígen á corrientes eléctricas, á las cuales deberíamos la luz y el calor solares. Segun ambas hipótesis, debe tener un término la incandescencia del sol.

Varias son las tentativas que se han hecho para medir la cantidad de calor que anualmeute emite el sol. M. Pouillet encontró, por medio de un aparato que él ha dedominado *pyrheliómetro*, que si la cantidad total de calor que la tierra recibe del sol, en el curso de un año, fuese enteramente empleada en fundir hielo, seria capaz de fundir una capa de 31 metros de espesor alrededor de todo el globo. Ahora bien, atendida la superficie que presenta la tierra á la radiacion del sol, y en vista de la distancia á que de él se encuentra, solo recibe $^1/_{2381000000}$ del calor emitido por dicho astro.

390. **Calor terrestre.** — El globo terrestre posee un calor propio que se designa con el nombre de *calor central*. En efecto, á una profundidad poco considerable, pero que varía segun los paises, se encuentra una capa cuya temperatura permanece constante en todas las estaciones; de lo cual se deduce que el calor solar no penetra en el suelo mas que hasta una profundidad determinada. Luego, debajo de esta capa, que se designa con el nombre de *capa invariable*, se observa que la temperatura aumenta, por término medio, un grado por cada 30 ó 40 metros de profundidad. En las minas y en los pozos artesia-

(1) Esta teoria no la consideramos admisible, por cuanto el calor desarrollado por la compresion de los cuerpos sólidos provendria del calórico latente que habrian tomado estos al adquirir semejante estado. Y ¿cuál es el otro estado que por descenso de temperatura pueden adquirir los cuerpos sólidos? Creemos, si, que la causa de este fenómeno sea la aproximacion de las moléculas, en virtud de la cual todo el calor que antes ocupaba un espacio grande, ocupa ahora otro pequeño; y, por consiguiente, como este contiene ahora mayor número de moléculas calorificas, mayor temperatura ha de indicar. De aqui se deduce que el cuerpo mas compresible será tambien el que por igual compresion desarrolle mayor cantidad de calor; lo cual está comprobado por la esperiencia.

(N. de J. P.)

nos, ha sido comprobada á grandes profundidades esta ley del aumento de temperatura del suelo. A 3500 metros, es decir, á algo menos de una legua métrica, llegaria ya á 100 grados la temperatura de la capa correspondiente. Las aguas termales y los volcanes confirman la existencia del calor central.

La profundidad de la capa invariable no es la misma en los diferentes puntos del globo, pues en París está á 27 metros, y la temperatura permanece constantemente á 11°,8.

Muchas son las hipótesis que se han ideado para esplicar el calor central; pero la que generalmente admiten los físicos y los geólogos es la que supone que la tierra fué líquida en un principio por efecto de una alta temperatura, y que, por irradiacion se solidificó poco á poco la superficie terrestre hasta formar una corteza sólida, y que aun hoy dia no pasará de 14 á 15 leguas de espesor, encontrándose en el estado líquido la masa central. El enfriamiento no puede menos de verificarse con suma lentitud, por razon de la débil conductibilidad de las capas terrestres [1]. Por igual causa, el calor central solo eleva, al parecer, $^1/_{36}$ de grado la temperatura del globo.

391. Calor desprendido por la imbibicion y la absorcion. — Los fenómenos moleculares, como la imbibicion (134), la absorcion, las acciones capilares, van acompañados en general de un desprendimiento de calor. M. Pouillet observó que, siempre que se vierte un líquido sobre un sólido muy dividido, se nota una elevacion de temperatura que varía segun la naturaleza de las sustancias. Con las materias inorgánicas, como los metales, los óxidos y las tierras, viene á ser de 2 á 3 décimos de grado; pero con las orgánicas, tales como la esponja, la harina, el almidon, las raices y las membranas secas, varía de 1 á 10 grados.

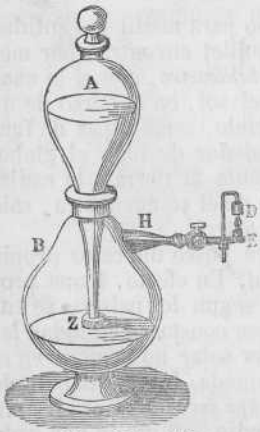


Fig. 230 (a=38).

Igual fenómeno ofrece la absorcion de los gases por los cuerpos sólidos. M. Dobereiner averiguó que, colocando en el oxígeno platino muy dividido, cual es el que se obtiene en el estado de precipitado químico con el nombre de *negro de platino*, absorbe este metal muchos centenares de veces su volúmen de aquel gas, elevándose entonces la temperatura lo suficiente para dar márgen á combustiones muy intensas. Produce igual efecto la *esponja* ó el *musgo de platino*, que se obtiene precipitando el cloruro de platino por la sal amoniaco; y así es que basta dirigirle una corriente de hidrógeno, para que este se inflame por el desprendimiento de calor debido á la absorcion.

---

[1] Mas por el que recibe de los cuerpos celestes. *(N. de J. P.)*

En este principio se funda el *eslabon de musgo de platino.* Consta este aparato de dos vasijas de vidrio (fig. 230), una de las cuales A penetra en otra inferior B por medio de un tubo esmerilado que la cierra herméticamente, y en cuya estremidad hay una masa de zinc Z que entra en agua cargada de ácido sulfúrico. La reaccion del agua, del ácido y del metal produce un desprendimiento de hidrógeno que, no encontrando en un principio salida alguna, repele el agua de la vasija B á la A hasta que no se halle sumergido ya el zinc. El tapon de la vasija superior permite que salga por los lados el agua á medida que va subiendo. Un tubo de cobre H, fijo en el lado de la vasija B, lleva un pequeño cono E con un orificio, y encima una esponja de platino en una cápsula D.

Ahora bien; luego que se abre una llave que cierra el tubo de cobre, se desprende y se inflama el hidrógeno en contacto con el platino; pero no hay que presentar este metal á la corriente del gas sino despues de espulsado todo el aire de la vasija B, pues, de lo contrario, la combinacion del oxígeno y del hidrógeno ocasionaria una viva detonacion.

M. Favre, que ha hecho recientes investigaciones acerca del calor que desprende un gas al ser absorbido por el carbon (135), obtuvo el notable resultado que el calor máximum emitido por la absorcion de 1 gramo de ácido sulfuroso ó de protóxido de nitrógeno, es muy superior al que da la liquidacion de un peso igual de los mismos gases; y el calor desprendido por la absorcion del ácido carbónico escede al que daria su propia solidificacion. Debemos deducir de aquí, que no puede esplicarse por completo el calor que se obtiene por la absorcion de los gases, admitiendo que el gas absorbido se liquida y se solidifica en los poros del carbon, sino que además debe admitirse una accion especial entre las moléculas del carbon y las del gas, accion que M. Mitcherlich ha designado con el nombre de *afinidad capilar.*

El calor que originan los cambios de estado ha sido tratado ya en los artículos *Solidificacion* y *Liquefaccion* (282 y 307); y el que procede de la electricidad se dará á conocer en la teoría de los fenómenos eléctricos.

Manantiales químicos.

392. **Combinaciones químicas; combustion.** — Acompaña generalmente á las combinaciones químicas un desprendimiento mas ó menos abundante de calor. Es insensible, si se efectúan con lentitud, como por ejemplo, cuando se oxida el hierro en el aire; pero es muy intenso, si se producen con rapidez, mediando entonces combustion.

Dáse el nombre de *combustion* á toda combinacion química que se efectúa con desprendimiento de calor y de luz. En las combustiones que nos presentan las hornillas, lámparas, bujías, etc., se combinan con el oxígeno del aire el carbono y el hidrógeno de la madera, del aceite y de la cera; pero además hay combustiones en que para nada entra el oxígeno. Por ejemplo, si en un frasco de cloro se proyecta

antimonio muy dividido ó fragmentos de fósforo, se unen estos cuerpos con el cloro con un vivo desprendimiento de luz y de calor.

Muchos combustibles arden con llama. Una *llama* es simplemente un gas ó un vapor que han adquirido una alta temperatura por efecto de la combustion. Su poder iluminante varía con los productos que se forman durante la combustion. La presencia de un cuerpo sólido en una llama aumenta la facultad iluminante. Las llamas de hidrógeno, de óxido de carbono y de alcohol son pálidas, porque no contienen mas que productos gaseosos; pero las de las velas, velones y gas del alumbrado, poseen un gran poder iluminante por contener un esceso de carbono, el cual, esperimentando tan solo una combustion incompleta, se vuelve incandescente en la llama. Se da una intensidad mucho mayor á una llama colocando en ella hilos de platino ó de amianto. Obsérvese que la temperatura de una llama no está en relacion con su poder iluminante; pues la de hidrógeno, que es la mas pálida, es, sin embargo, la que mas calor produce.

393. **Calor emitido durante la combustion.** —Muchos físicos, y particularmente Lavoisier, Rumfort, Dulong, M. Despretz, M. Hess y los señores Fabre y Silbermann, han tratado de investigar el calor que emiten los diferentes cuerpos durante la combustion y las combinaciones.

Para estos esperimentos, se sirvió Lavoisier del calorímetro de hielo, descrito (339); Rumfort hizo uso de un calorímetro, que lleva su nombre, y que consiste en una cuba rectangular, llena de agua, en cuyo interior hay un serpentin que atraviesa su fondo, terminando en forma de embudo invertido. Debajo de este embudo es donde se queman los cuerpos que se someten al esperimento. Los productos de la combustion se desprenden por el serpentin calentando el agua de la cuba, y segun la temperatura de esta agua, se deduce el calórico desprendido. Despretz y Dulong han modificado sucesivamente el calorímetro de Rumfort, quemando los cuerpos, no debajo de la cuba que contiene el agua que se ha de calentar, sino en una cámara de combustion colocada en el interior mismo del líquido; el oxígeno necesario á la combustion llegaba por un tubo, dispuesto en la parte inferior de la cámara, y los productos de la combustion se desprendian por otro tubo, colocado en la parte superior y arrollado en forma de serpentin en la masa del líquido que habian de calentar. Finalmente, MM. Fabre y Silbermann son los que, sobre todos, han perfeccionado hábilmente este calorímetro, evitando, en cuanto es posible, toda causa de error, y pudiendo determinar, no solo la cantidad de calor desprendida en la combustion, sino tambien en las acciones químicas.

Tomando como unidad de calor la cantidad de calórico necesaria para elevar 1 grado la temperatura de 1 quilógramo de agua, encontró Dulong que un quilógramo de las sustancias siguientes emite, al arder, los números de unidades comprendidos en esta tabla.

Hidrógeno.	34600	Hulla mediana.	7600
Hidrógeno protocarbonado. .	13205	Carbono puro.	7295
— bicarbonado.. . .	12032	Alcohol á 42° de Baumé. . . .	6855
Esencia de trementina. . . .	10836	Madera muy seca.	3652
Aceite de olivas.	9862	Azufre.	2601
Eter sulfúrico.	9430	Oxido de carbono..	2488

Los números hallados anteriormente por otros físicos difieren mucho, en algunos cuerpos, de los obtenidos por Dulong, sobre todo para el carbono; pero hoy dia la muy aproximada concordancia entre los resultados de MM. Fabre y Silbermann, y los de Dulong, manifiesta la exactitud de los números obtenidos por este físico.

Los esperimentos de Dulong, de M. Despretz y de M. Hess conducen al principio de que un cuerpo que arde emite siempre la misma cantidad de calor para llegar al mismo grado de oxidacion, ora lo verifique inmediatamente, ora de un modo progresivo. Por ejemplo, un gramo de carbono que se trasforma directamente en ácido carbónico, desprende la misma cantidad de calor que si se hubiese convertido primero en óxido de carbono, y este luego en ácido carbónico.

CALEFACCION.

394. **Diversos medios de calefaccion.** — La *calefaccion* es un arte que tiene por objeto utilizar, en la economía doméstica y en la industria, los manantiales de calor que nos ofrece la naturaleza.

La combustion de la madera, del carbon, de la hulla, del coke, de la turba y de la antracita, es el manantial de calor que está hoy dia mas principalmente en uso.

Atendiendo á los aparatos que sirven para la combustion, pueden admitirse cuatro procedimientos de calefaccion, á saber : 1.° la directa por radiacion del calórico, como en las chimeneas y en las estufas; 2.° por medio del aire caliente; 3.° por el vapor, y 4.° por circulacion de agua caliente. Vamos á dar á conocer sucesivamente de un modo muy sucinto estos cuatro procedimientos.

395. **Chimeneas.** — Las *chimeneas* son hogares abiertos situados junto á la pared, y terminados en un tubo que da paso á los productos de la combustion. La invencion de las chimeneas data, al parecer, del primer siglo de la era cristiana. En tiempos mas remotos, se colocaba el foco en el centro de la pieza que habia que calentar, y el humo se escapaba por una abertura que se hacia en el techo de las habitaciones. Por eso aconsejaba Vitruvio que no se adornáran con obras suntuosas los cuartos de invierno, á fin de que no los echase á perder el humo y el hollin.

Las primeras chimeneas, si bien estaban aplicadas contra las paredes, no llevaban jambas ni dinteles, sino simplemente un *canastillo* para la salida del humo; de suerte que la forma que hoy se les da es enteramente moderna. Las personas que sucesivamente han ido perfeccionándolas son físicos, y particularmente Filiberto Delorme, Ganger, Franklin y Rumford.

A pesar de todos los perfeccionamientos de las chimeneas, son los caloríferos mas imperfectos y mas dispendiosos, porque solo utilizan,

con la madera, un 6 por 100 del calor total emitido por el combustible, y un 13 con el coke y la hulla. Proviene esta enorme pérdida de que la corriente de aire necesaria para la combustion arrastra siempre una cantidad considerable del calor producido, de suerte que este se pierde en gran parte en la atmósfera. Esta circunstancia obligó á decir á Franklin que si se deseaba, con una cantidad dada de combustible, obtener el menor calor posible, debian adoptarse las chimeneas. Con todo, son y seguirán siendo el modo de calefaccion mas agradable y sano, por la presencia del fuego y porque renuevan de contínuo el aire de las habitaciones.

396. **Tiro de las chimeneas.** — Se entiende por *tiro* de una chimenea una corriente de abajo arriba que se establece en el tubo por efecto del ascenso de los productos de la combustion. Cuando la corriente es rápida y contínua, se dice que *tira* bien la chimenea.

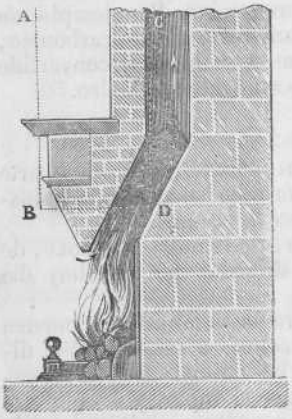


Fig. 231.

El tiro tiene por causa la diferencia de temperatura entre el interior del tubo y el esterior, porque, siendo, en su virtud, las materias gaseosas que llenan el tubo menos densas que el aire del aposento, es imposible el equilibrio (171). Efectivamente, como el peso de la columna gaseosa CD (fig. 231) en el tubo es menor que el de la columna de aire esterior AB, que tiene la misma altura, resulta por esto, de afuera á dentro, un esceso de presion que repele los productos de la combustion, con tanta mayor rapidez, cuanto mas crecida es la diferencia de peso entre las dos masas gaseosas.

Compruébase perfectamente la existencia de las corrientes que dan orígen, en los gases, á la diferencia de temperatura, por medio del esperimento que sigue: se abre una puerta que ponga en comunicacion una pieza calentada con otra que no lo esté, y luego se coloca en la parte superior una vela encendida, cuya llama se dirige desde el sitio caliente al frio; y por el contrario, si se la pone en el suelo, se dirige la llama desde el aposento frio al que se halla caliente. Dependen estos dos efectos de una corriente de aire calentado que se escapa por la parte superior de la puerta, y de otra fria que pasa á reemplazarle por la inferior.

La chimenea que tira bien debe satisfacer las siguientes condiciones:

1.ª La seccion del tubo ha de tener las dimensiones estrictamente necesarias para la salida de los productos de la combustion; pues en caso contrario, si fuese demasiado grande, se establecen á la vez corrientes ascendentes y descendentes, y la chimenea deja escapar humo por su parte inferior. Conviene colocar en el vértice un tubo cónico

mas estrecho, á fin de que salga el humo con la velocidad suficiente para resistir la accion del viento.

2.ª El tubo de la chimenea ha de ser bastante alto, porque como la causa del tiro es el esceso de la presion esterior sobre la interna, en el tubo, dicho esceso de presion será tanto mayor, cuanto mas alta sea la columna de aire caliente.

3.ª Es preciso que el aire esterior pueda penetrar con toda la rapidez que exija el hogar. En una habitacion herméticamente cerrada no arderia el combustible, ó se establecerian corrientes de aire descendentes que llenarian de humo el cuarto. El aire entra, de ordinario, en cantidad suficiente por las rendijas de las puertas y ventanas.

4.ª Debe evitarse que comuniquen entre sí dos tubos de chimenea, porque si tira el uno mas que el otro, se produce, en este último, una corriente de aire descendente que llena de humo la habitacion.

397. **Estufas.** — Las *estufas* son aparatos caloríferos de hogar aislado, situados en medio mismo de la masa de aire que trata de calentarse, de suerte que radia el calórico en todas las direcciones alrededor del foco. Por la parte inferior entra el aire, y los productos salen por la superior por medio de tubos. Estos productos gaseosos se enfrian al salir, de modo que puede utilizarse casi la totalidad del calor desarrollado. Este procedimiento es mas económico, pero dista mucho de ser tan saludable como las chimeneas, porque su ventilacion es muy débil, y hasta nula, si se toma el aire del esterior como en las estufas suecas. Ofrecen, además, el inconveniente de producir un olor desagradable y perjudicial, sobre todo cuando son de fundicion ó de palastro, lo que probablemente debe atribuirse á la descomposicion de las materias orgánicas del aire en contacto con las paredes calentadas de los tubos.

Mas rápida es la calefaccion con las de metal ennegrecido y de gran poder emisivo, pero tambien se enfrian muy pronto. Las de loza blanca y barnizada, de débil poder emisivo, calientan con mas lentitud, pero tambien mas tiempo y con mas suavidad.

398. **Calefaccion por medio del vapor.**—Utilízase la propiedad que poseen los vapores de restituir su calórico de vaporizacion, cuando se condensan, para calentar baños, talleres, edificios públicos, estufas, invernáculos, etc. Al efecto, se produce el vapor en calderas análogas á la que hemos descrito en el artículo *Generador de vapor* (figura 223), y luego se le hace circular por tubos situados en el punto que se trata de calentar. Se condensa el vapor en estos tubos, y les cede todo su calórico latente, el cual queda libre en el momento de la condensacion. Este calórico se trasmite en seguida al aire esterior ó al líquido en que se encuentran los tubos de conduccion.

399. **Calefaccion por medio del aire caliente.** — La calefaccion por medio del aire caliente consiste en calentar aire en la parte inferior de un edificio, dejándole que suba luego hasta los pisos superiores, en virtud de su menor densidad, por tubos de conduccion situados en las paredes. El aparato se halla dispuesto conforme se ve en la fig. 232. Un fogon F, construido en el piso bajo, contiene un

sistema de tubos encorvados AB, uno de los cuales es visible tan solo en el dibujo. Por el orificio inferior A entra el aire, se calienta en el tubo, y sube en el sentido de las flechas, penetrando en las habitaciones M por el orificio superior B llamado *boca de calor*.

En los diferentes pisos, tiene así cada pieza una ó muchas bocas de calor, que se procura sean lo mas bajas posible, á fin de que tienda siempre á subir el aire caliente.

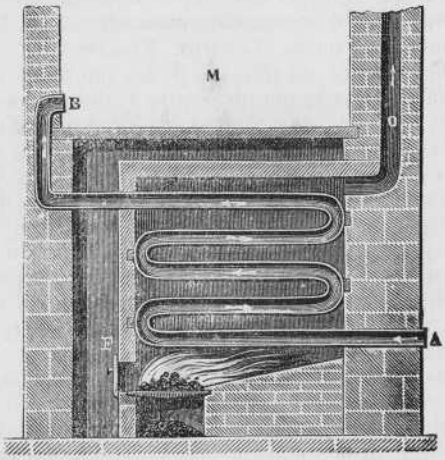


Fig. 232.

El conducto O es un tubo de chimenea ordinario, que da paso á los productos de la combustion.

Estos aparatos, conocidos con el nombre de *caloriferos*, son mucho mas económicos que las chimeneas, pero no pueden ventilar tan bien el aire de las habitaciones, y de consiguiente, son menos saludables.

400. **Calefaccion por medio del agua caliente.** — La calefaccion por circulacion del agua caliente consiste en un movimiento circulatorio contínuo de agua, que, despues de haberse calentado en una caldera, sube por una série de tubos, volviéndose por otros á la misma caldera luego que está fria.

A fines del siglo pasado inventó Bonnemain, en Francia, el primer aparato á propósito para este género de calefaccion; pero M. Leon Duvoir fué quien dió á estos aparatos la forma que hoy reciben. La figura 233 representa la disposicion adoptada por este ingeniero para calentar un edificio de muchos pisos. En el inferior se pone una caldera *oo* en forma de campana y con la lumbre dentro F, y encima un largo tubo M que va á un depósito Q, situado en el tejado del edificio que se desea calentar. Dicho depósito lleva en su parte superior un tubo *n* cerrado por una válvula *s* mas ó menos cargada, de suerte que limite la tension del vapor en el interior del aparato.

Esto sentado, y llenos de agua la caldera, el tubo M y parte del depósito Q, á medida que se calienta el agua, se produce en el tubo M una corriente ascendente de agua hasta Q, y al mismo tiempo se establecen corrientes de agua no ya tan caliente y mas densa, que nacen de la parte inferior del depósito Q, y se dirigen respectivamente

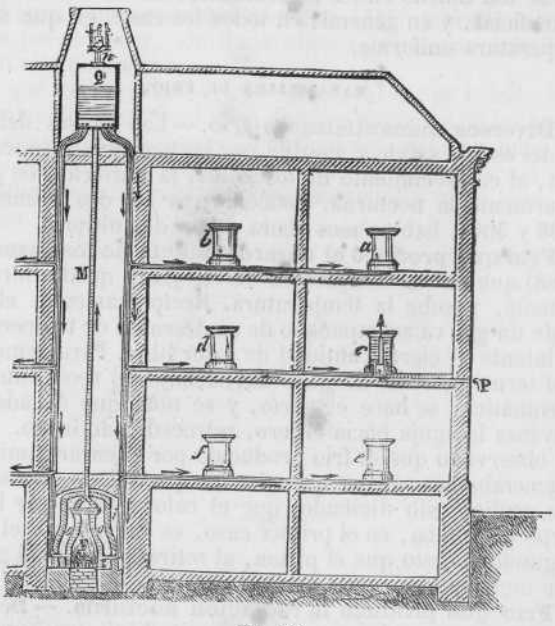


Fig. 233.

por otros tantos tubos á los recipientes *b*, *d*, *f*, llenos de agua. Parten luego de estos nuevos tubos, en los cuales continúa la corriente descendente, hasta otros receptáculos *a*, *c*, *e*; y por fin, dos de estos últimos siguen por tubos de retorno hasta la parte inferior de la caldera.

Durante este doble trayecto, cede sucesivamente el agua caliente su calórico sensible á los tubos y á los depósitos, de suerte que se calientan estos y se trasforman en verdaderas estufas de agua. Determínase fácilmente su número y sus dimensiones, para calentar un espacio dado, apoyándose en que la esperiencia y la teoría han demostrado que un litro de agua basta para comunicar el calor necesario á 3200 litros de aire. Dos de estas estufas pueden, durante el invierno, mantener de 600 á 700 metros cúbicos de aire á una temperatura de 15 grados.

En el interior de estos recipientes hay tubos de fundicion llenos de aire, que se toma del esterior por medio de los tubos P situados de-

bajo del piso. Este aire se calienta en los tubos, y sale luego por la parte superior de los recipientes.

La principal ventaja de este medio de calefaccion consiste en dar una temperatura sensiblemente constante durante mucho tiempo, pues se enfria con gran lentitud el agua de los recipientes y de los tubos. Por esto se usa mucho en los invernáculos, en las estufas, en la incubacion artificial, y en general, en todos los casos en que se requiere una temperatura uniforme.

MANANTIALES DE FRIO.

401. **Diversos manantiales de frio.**—Las causas del frio son: el paso del estado sólido al líquido por las acciones químicas, la evaporacion, el enrarecimiento de los gases, la radiacion en general, y particularmente la nocturna. Conocidas ya las dos primeras causas (280, 286 y 306), hablarémos ahora de las dos últimas.

402. **Frio que produce el enrarecimiento de los gases.**—Hemos visto (388) que por la compresion de los gases queda libre parte del calor latente, y sube la temperatura. Recíprocamente, el enrarecimiento de un gas va acompañado de un descenso de temperatura, por pasar á latente [1] cierta cantidad de calor libre. Para demostrarlo, se coloca el termómetro de Bréguet (251) debajo del recipiente de la máquina neumática, se hace el vacío, y se nota que á cada golpe de piston avanza la aguja hácia el cero, retrocediendo luego.

Se ha observado que el frio producido por el enrarecimiento de un gas es generalmente menor que el calor producido por su compresion: se esplica esto diciendo, que el calor cedido por las paredes del cuerpo de bomba, en el primer caso, es mayor que el absorbido en el segundo, puesto que el piston, al retirarse, pone al gas en contacto con una superficie cada vez mayor.

403. **Frio que produce la radiacion nocturna.**—De dia recibe la tierra del sol mas calor que el que emite hácia los espacios celestes, y por lo tanto, se aumenta su temperatura; pero de noche sucede todo lo contrario. El calor que pierde entonces la tierra no queda compensado, y de aquí resulta un descenso de temperatura tanto mayor, cuanto menos nebuloso está el cielo; porque, si hay nubes, estas emiten á la tierra mayor cantidad de calórico que los cuerpos celestes. Obsérvase, en efecto, en ciertos inviernos, que no se hielan los rios, á pesar de que marque el termómetro menos de 4 grados bajo cero, por encontrarse cubierto el cielo, mientras que en otros inviernos menos rigurosos se hielan aquellos, porque está despejada la atmósfera. El poder emisivo (361) influye muchísimo en el enfriamiento por radiacion nocturna; pues cuanto mayor es aquel, tanto mas considerable es este.

Ya se verá en la meteorologia, que el enfriamiento que proviene de la radiacion nocturna es la causa del fenómeno denominado rocío.

---

[1] Véase la nota del párrafo 389. *(N. de J. P.)*

En Bengala se utiliza el enfriamiento nocturno para obtener artificialmente el hielo. Con este objeto, durante las noches serenas, se esponen á la intemperie grandes vasijas llenas de agua, anchas y de poca altura, teniendo cuidado de que descansen sobre sustancias mal conductoras, como paja, hojas secas, etc. Entonces, por efecto de la radiacion nocturna, se enfrian lo suficiente estas vasijas para que se congele el agua, aun cuando el aire esté á 10° sobre cero. El mismo partido se puede sacar, sin duda alguna, en todas aquellas partes que tengan el cielo sereno.

Se dice que los peruvianos, para preservar de la helada las yemas de las plantas jóvenes, producian grandes hogueras en la inmediacion del lugar que querian proteger, consiguiendo así una nube artificial que se oponia al enfriamiento producido por la radiacion nocturna. Este procedimiento deberia de esperimentarse, sobre todo en nuestros viñedos.

LIBRO SETIMO.

DE LA LUZ.

CAPITULO PRIMERO.

TRASMISION, VELOCIDAD E INTENSIDAD DE LA LUZ.

404. **Luz; hipótesis sobre su naturaleza.** — La *luz* es el agente que produce en nosotros, por su accion sobre la retina, el fenómeno de la vision. La parte de la física que trata sobre las propiedades de la luz se designa con el nombre de *óptica*.

Para esplicar el orígen de la luz, se han adoptado las mismas hipótesis que para el calor, á saber: la de la *emision* y la de las *ondulaciones*. En la primera, sostenida por Newton, se dice que los cuerpos luminosos emiten en todas direcciones, bajo la forma de moléculas sumamente ténues, una sustancia imponderable que se propaga en línea recta con una velocidad casi infinita. Al penetrar estas moléculas en el ojo, reaccionan sobre la retina, y determinan la sensacion que constituye la vision.

En la hipótesis de las ondulaciones, sostenida por Grimaldi, Descartes, Huyghens, Young, Malus y Fresnel, se admite que las moléculas de los cuerpos luminosos están animadas por un movimiento vibratorio infinitamente rápido, que se comunica á un fluido eminentemente sutil y elástico, difundido por todo el universo, que se llama *éter*; y que una conmocion en un punto cualquiera de este éter se propaga en todos sentidos bajo la forma de ondas esféricas luminosas, de igual manera que se propaga el sonido en el aire por ondas sonoras. Con todo, se admite que las vibraciones del éter se producen, no perpendicularmente á la superficie de la onda luminosa, como en la propagacion del sonido, sino segun esta superficie misma, es decir, perpendicularmente á la direccion que sigue la luz al propagarse, lo cual se espresa diciendo que las vibraciones son *trasversales*. Podemos formarnos una idea de estas vibraciones, agitando una cuerda por uno de sus estremos, pues el movimiento se propaga serpenteando hasta el otro estremo. La propagacion se efectúa, pues, en el sentido de la cuerda, pero tienen lugar al traves las vibraciones.

En el sistema de las ondulaciones consiguió Fresnel dar una esplicacion completa de muchos fenómenos luminosos, tales como los de la *difraccion* y de los *anillos coloreados*, que quedaban antes sin esplicar en el sistema de la emision. Por eso, la teoría de las ondulaciones es la única que generalmente se admite desde los trabajos de Fresnel.

405. Cuerpos luminosos, diáfanos, traslúcidos, opacos. — Llámanse *cuerpos luminosos* los que emiten luz, como el sol y las sustancias en ignicion; *cuerpos diáfanos* ó *trasparentes* los que dan fácilmente paso á la luz, y al traves de los cuales se distinguen los objetos, tales son el agua, los gases y el vidrio pulimentado. Los *cuerpos traslúcidos* son los que permiten paso á la luz; pero no dejan reconocer la forma de los objetos, como el vidrio deslustrado y el papel impregnado de aceite. Por fin, se denominan *cuerpos opacos* aquellos que se oponen al paso de la luz, tales como las maderas y los metales. Sin embargo, no hay cuerpos completamente opacos, pues todos son mas ó menos traslúcidos luego que se les ha reducido á láminas bastante delgadas.

406. Rayo y haz luminosos. — *Rayo luminoso* es la línea que sigue la luz al propagarse, y *haz luminoso* un conjunto de rayos emitidos de un mismo foco. Dícese que es *paralelo* un haz luminoso, cuando se compone de rayos paralelos; *divergente*, si se separan estos entre sí, y *convergente*, cuando concurren hácia un mismo punto. Todo cuerpo luminoso emite, de todos sus puntos y en todas direcciones, rayos rectilíneos divergentes.

407. Propagacion de la luz en un medio homogéneo. — Un *medio* es el espacio, lleno ó vacío, en donde se produce un fenómeno. El aire, el agua y el vidrio son medios en los cuales se propaga la luz. Es *homogéneo* un medio, cuando la densidad y la composicion química son las mismas en todas sus partes.

Ahora bien, *en todo medio homogéneo se propaga la luz en línea recta.* En efecto, si se interpone un cuerpo opaco en la línea recta que une el ojo con un cuerpo luminoso, queda interceptada la luz. Obsérvase tambien que la luz que penetra en la cámara oscura por un pequeño orificio, traza en el aire un surco luminoso rectilíneo, que se hace visible iluminando las moléculas de polvo que flotan en la atmósfera.

Sin embargo, varía de direccion la luz cuando encuentra un obstáculo que no puede penetrar, ó cuando pasa de un medio á otro. Pronto describirémos estos fenómenos con los nombres de *reflexion* y de *refraccion*.

408. Sombra, penumbra, reflejo. — La *sombra* de un cuerpo es el lugar del espacio donde aquel impide que penetre la luz. Si se desea

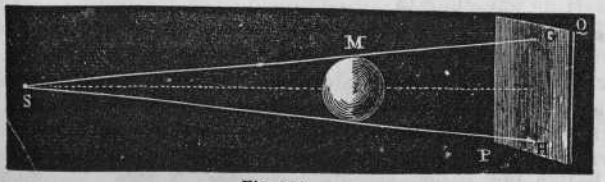


Fig. 234.

determinar la estension y la forma de la sombra que un cuerpo proyecta, hay que distinguir dos casos: ó el cuerpo luminoso es un punto único, ó es una estension cualquiera.

En el primer caso, sean S (fig. 234) el punto luminoso, y M el cuerpo que produce la sombra, y que supondremos esférico. Si se concibe que una recta indefinida SG se mueve alrededor de la esfera M, siéndole tangente y pasando constantemente por el punto S, engendra dicha recta una superficie cónica que mas allá de la esfera separa la porcion del espacio con sombra del iluminado. En el caso en cuestion, si se colocara á cierta distancia del cuerpo opaco una pantalla PQ, seria brusco el tránsito de la sombra á la luz; pero no es esto lo que de ordinario sucede siempre que los cuerpos luminosos son algo estensos.

Supongamos, en efecto, para simplificar la demostracion, que los cuerpos iluminante é iluminado sean dos esferas SL y MN (fig. 235). Si se concibe que una recta indefinida AG se mueve tangencialmente

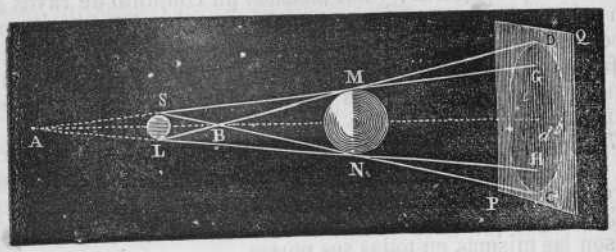


Fig. 235.

á estas dos esferas, cortando siempre la línea de los centros en el punto A, engendra una superficie cónica que tiene por vértice dicho punto, y que limita, detrás de la esfera MN, un espacio MGHN completamente privado de luz. Si luego una segunda recta LD, que corta la línea de los centros en B, gira tambien tangencialmente á las dos esferas, en términos de que engendre una nueva superficie cónica BDC, se reconoce, por la inspeccion de la figura, que todo el espacio esterior, con respecto á dicha superficie, está completamente iluminado; pero que la parte comprendida entre las dos superficies cónicas no se halla ni del todo privada de luz, ni enteramente iluminada. De suerte que, si se coloca una pantalla PQ detrás del cuerpo opaco, la porcion *c*G*d*H de aquella está por completo en la sombra, y la anular *ab* recibe luz de ciertos puntos del cuerpo luminoso, pero no de todos. Esta porcion de pantalla se encuentra, pues, mas iluminada que la sombra propiamente dicha, pero menos que el resto, y por eso se le da el nombre de *penumbra*.

Las sombras, tal cual acabamos de construirlas, son las sombras *geométricas;* pero las *físicas*, es decir, las que realmente se observan, no se hallan tan rigurosamente limitadas. Nótase, en efecto, que cierta cantidad de luz pasa á la sombra, y que recíprocamente se observa sombra en la parte iluminada. Este es el fenómeno que á su tiempo (530) describirémos con el nombre de *difraccion*.

Cuando un cuerpo opaco intercepta la luz por una de sus caras, no

está nunca completamente oscura la cara opuesta, sino siempre mas ó menos iluminada por la luz que reflejan los cuerpos inmediatos. Este efecto de reverberacion se llama *reflejo*. Como la luz que refleja un cuerpo colorado participa, en general, del color propio del mismo, resulta que los reflejos adquieren á su vez la tinta de los objetos próximos. Los pintores en sus cuadros, los decoradores de las habitaciones en la eleccion de ropajes, y las mujeres en sus adornos, se sirven con gran arte de los efec os de luz que presentan los reflejos.

409. **Imágenes producidas por pequeñas aberturas.** — Cuando se reciben, en una pantalla blanca, los rayos luminosos que penetran

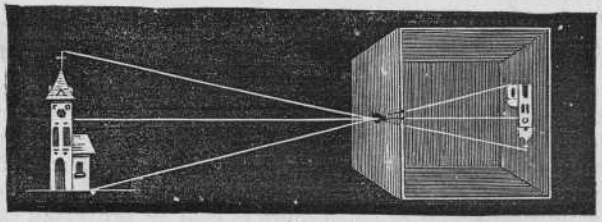


Fig. 236.

en una cámara oscura *por un pequeño orificio*, se obtienen de los objetos esteriores imágenes que ofrecen los fenómenos siguientes: 1.° estan invertidas; 2.° su forma, igual á la de los objetos esteriores, es independiente de la del orificio.

La inversion de las imágenes depende de que los rayos luminosos que proceden de los objetos esteriores y penetran en la cámara oscura, se cruzan al pasar por el orificio (fig. 236). Como continúan propagándose en línea recta, los rayos que parten de los puntos mas altos encuentran la pantalla en los mas bajos, y recíprocamente, los que proceden de abajo van á parar arriba. De aquí la inversion de la imágen. En el artículo *Cámara oscura* dirémos de qué manera se au-

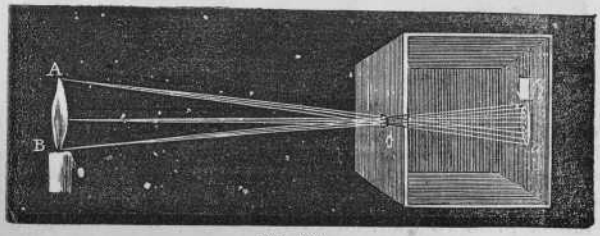


Fig. 237.

menta el brillo y la claridad de las imágenes por medio de vidrios convergentes, y qué medios se emplean para darles su verdadera posicion.

Para demostrar que la forma de la imágen no depende de la de la abertura, cuando esta es suficientemente pequeña y está á la debida

distancia la pantalla, supongamos una abertura triangular O (figura 237) en la pared de una cámara oscura, y una pantalla *ab*, sobre la cual se recibe la imágen de una llama AB que se encuentra fuera. De cada punto de la llama penetra en la cámara un haz de luz divergente, que va á formar en la pantalla una imágen triangular semejante á la abertura. La reunion de todas estas imágenes parciales produce una total de la misma forma que el objeto luminoso. En efecto, si se concibe que una recta indefinida se mueve en la abertura que suponemos muy pequeña, con la condicion de que permanezca siempre tangente al objeto luminoso AB, se puede admitir que describe en su movimiento dos conos cuyos vértices estan en el orificio mismo de la cámara, y las bases respectivamente en el cuerpo luminoso y en la parte iluminada de la pantalla, es decir, la imágen. Por lo tanto, si la pantalla es perpendicular á la recta que une el centro de la abertura con el del cuerpo luminoso, es semejante á este la imágen, pero si está aquella oblícua, se presenta prolongada la imágen en el sentido de la oblicuidad. Tal es lo que se observa, por ejemplo, en la sombra que da el ramage de los árboles, pues los haces luminosos que pasan al traves de las hojas dan imágenes del sol, que son redondas ó elípticas, segun el suelo sobre el cual se proyectan es perpendicular ú oblícuo á los rayos solares, sea cual fuere, por lo demás, la forma de los intervalos que entre sí dejan las hojas para el paso de la luz.

410. Velocidad de la luz. — La luz se propaga con una velocidad tal, que no es posible, en la superficie de la tierra, constituir ningun

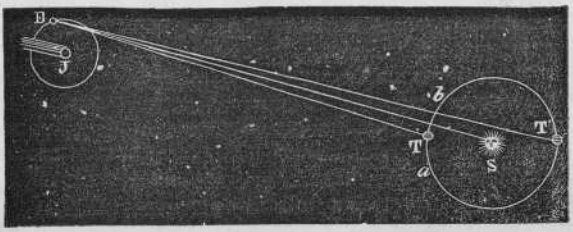


Fig. 238.

intervalo apreciable, por mucha distancia que medie, entre el momento en que se produce un fenómeno luminoso y aquel en que el ojo le percibe; y así es que ha tenido que ser determinada esta velocidad por medio de observaciones astronómicas. El astrónomo danés Rœmer fué el primero que, en 1675, dedujo la velocidad de la luz de la observacion de los eclipses del primer satélite de Júpiter.

Sabido es que Júpiter es un planeta alrededor del cual giran rápidamente cuatro satélites, de igual manera que da vueltas la luna alrededor de la tierra. Su primer satélite E (fig. 238) tiene sus inmersiones, ó entra en la sombra proyectada por Júpiter J á intervalos de tiempos iguales que valen $42^h\ 28^m\ 36^s$. Mientras la tierra T se encuen-

tra en la parte *ab* de su órbita, es decir, sensiblemente á la misma distancia de Júpiter, se nota que son constantes los intervalos entre dos inmersiones consecutivas; pero á medida que se aleja de él, dando vueltas alrededor del sol S, crece el intervalo entre dos inmersiones, y cuando á los seis meses ha pasado la tierra de la posicion T á la T′, se observa un retraso total de $16^m\ 36^s$ entre el instante en que aparece el fenómeno y aquel en que, segun el cálculo, se ha efectuado en realidad. Cuando la tierra se encontraba en T, la luz solar, reflejada por el satélite E, recorria la distancia ET, y en T′ ha de recorrer la ET′, superior á la anterior en la cantidad TT′, supuesto que los rayos ET y ET′ pueden pasar como paralelos, atendida la distancia del punto E. Preciso es, pues, que tarde la luz $16^m\ 36^s$ en recorrer el diámetro TT′ de la órbita terrestre, es decir, dos veces la distancia de la tierra al sol; de suerte que la velocidad es de unas 77000 leguas de 4000 metros por segundo.

Las estrellas mas próximas á la tierra se encuentran por lo menos á una distancia 206265 veces mayor que la del sol, y de consiguiente, la luz que nos mandan tarda mas de 3 años y 3 meses en llegar hasta nosotros. Por lo que hace á las estrellas que no son visibles sino por medio del telescopio, se encuentran á tal distancia de la tierra, que se requieren millares de años para que llegue la luz hasta nuestro sistema planetario, de suerte que habrian trascurrido ya muchos siglos desde su desaparicion, y sin embargo, continuaríamos contemplando y estudiando sus movimientos.

* 411. **Aparato de M. Foucault para medir la velocidad de la luz.**—A pesar de la prodigiosa velocidad de la luz, ha conseguido M. Foucault determinarla esperi-

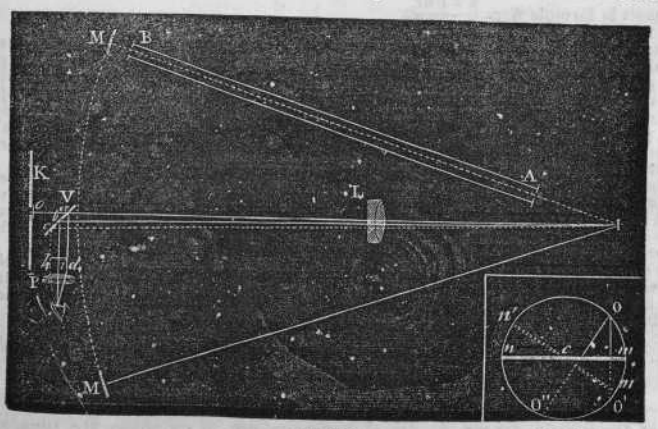


Fig. 239. Fig. 240.

mentalmente, por medio de un ingenioso aparato fundado en el uso del espejo giratorio, adoptado ya por M. Wheatstone para medir la velocidad de la electricidad.

Antes de describir este aparato, indicarémos que se funda en el conocimiento de las propiedades de los espejos y de las lentes (426 y 450). La fig. 239 representa, en plano horizontal, las principales disposiciones del aparato de M. Foucault. El tabique K de una cámara

oscura lleva un orificio cuadrado, detrás del cual se halla tenso verticalmente un alambre fino de platino *o*. Un haz de luz solar, reflejado esteriormente sobre un espejo, penetra en la cámara por el orificio cuadrado, encuentra el alambre de platino, y de aquí se dirige á una lente acromática L, de largo foco, situada á una distancia del alambre menor que el doble de la distancia focal principal. La imágen del alambre de platino tiende entonces á ir á formarse sobre el eje de la lente, con dimensiones mas ó menos amplificadas. Pero el haz luminoso, despues de haber atravesado la lente, encuentra un espejo plano *m*, que gira con gran velocidad, sobre el cual se refleja, y va á formar en el espacio una imágen del alambre de platino, que se va moviendo con una velocidad angular doble de la del espejo (¹). Esta imágen es reflejada por un espejo M, cóncavo y fijo, cuyo centro de curvatura coincide con el eje de rotacion del espejo giratorio *m* y con su centro de figura. El haz reflejado sobre el espejo M retrocede sobre sí mismo, se refleja de nuevo en el espejo *m*, atraviesa segunda vez la lente, y va á formar una imágen del alambre de platino, que aparece sobre este mismo alambre mientras el espejo *m* gira con lentitud.

A fin de ver esta imágen sin interceptar el haz que entra por el orificio K, se coloca una lámina de vidrio V, de caras paralelas, entre la lente y el alambre de platino, y se le inclina de manera que los rayos reflejados vayan á caer sobre un poderoso ocular P.

Ahora bien, si está en reposo el espejo *m*, ó si gira con escasa velocidad, el rayo *de retorno* M*m* encuentra al espejo *m* en la misma posicion que tenia en el momento de la primera reflexion; recobra, pues, la misma direccion que ya siguió, encuentra en *a* el espejo V, se refleja en él parcialmente, y va á formar en *d'* á una distancia *ad*, igual á *ao*, la imágen que observa el ojo con el ocular P. A cada revolucion hace desaparecer el espejo *m* dicha imágen, y si es uniforme su velocidad rotatoria, queda inmóvil dicha imágen en el espacio. En velocidades que no pasen de 30 vueltas por segundo, son distintas las apariciones sucesivas; pero á un número superior á 30 vueltas persisten las impresiones en el ojo, y aparece absolutamente tranquila la imágen.

Por último, si el espejo *m* gira con suficiente velocidad, muda sensiblemente de posicion mientras la luz recorre el doble trayecto de *m* á M y de M á *m*; el rayo de retorno, despues de su reflexion en *m*, toma la direccion *mb*, y va á formar su imágen en *i*, es decir, que la desviacion total de esta es *di*. Rigurosamente hablando, hay desviacion apenas gira el espejo, aunque sea con lentitud, pero no es apreciable hasta que adquiere cierta magnitud, lo cual exige una velocidad de rotacion bastante rápida, ó una distancia M*m* suficientemente grande, porque la desviacion crece necesariamente como el tiempo que tarda la luz en volver sobre sí misma.

En el esperimento de M. Foucault, la distancia M*m* no era mas que de 4 metros, y dando entonces al espejo *m* una velocidad de 600 á 800 vueltas por segundo, se obtienen desviaciones de 2 á 3 décimos de milímetro.

Suponiendo que $Mm = l$, $Lm = l'$, $oL = r$, y representando por n el número de vueltas por segundo, por δ la desviacion absoluta di, y por V la velocidad de la luz, obtuvo M. Foucault la fórmula $V = \frac{8\pi l^2 nr}{\delta(l+l')}$.

El aparato de M. Foucault permite trabajar tambien sobre los líquidos. Se interpone, al efecto, un tubo AB de 3 metros de longitud y lleno de agua destilada, entre el espejo giratorio *m* y otro cóncavo M' idéntico al M. Los rayos luminosos reflejados por el *m* en la direccion *m*M' atraviesan dos veces la columna de agua AB antes de volver sobre el espejo V. El rayo de retorno acaba de reflejarse entonces en *c*, y de dar su imágen en *h*, y la desviacion es, por lo tanto, mayor para los rayos que han atravesado el agua, que para los que se han propagado solo por el aire, lo cual indica que la velocidad de la luz es menor en el agua que en el aire.

Esta consecuencia es la parte interesante del esperimento de M. Foucault. En efecto, habiendo revelado la teoría que, en el sistema de las ondulaciones, es menor la velocidad de la luz en el medio mas refringente, mientras que lo contrario es lo que se verificaria en el de la emision, el resultado que M. Foucault obtuvo demuestra que el sistema que debe adoptarse esclusivamente debe de ser el de las ondulaciones.

Por lo que hace al mecanismo de que se vale M. Foucault para comunicar gran velocidad al espejo giratorio, consiste en una pequeña turbina de vapor, algo parecida á la sirena, y que, como esta, produce un sonido tanto mas agudo cuanto mas rápida es la rotacion. De la agudeza del sonido se deduce la velocidad de rotacion.

412. Leyes de la intensidad de la luz.—Llmando *intensidad* de una luz la cantidad que recibe la unidad de superficie de un cuerpo

---

(¹) Para demostrarlo, sea *mn* (fig. 240) el espejo giratorio, O un objeto fijo situado delante y formando su imágen en O'. Cuando el espejo toma la posicion *m'n'* está la imágen en O''. Los dos ángulos O'OO'' y *mcm'* son iguales, por tener los lados respectivamente perpendiculares; pero el ángulo inscrito O'OO'' tiene por medida la mitad del arco O'O'', mientras que el ángulo *mcm'*, cuyo vértice está en el centro, reconoce por medida todo el arco *mm'*. De consiguiente, el arco O'O'' es dos veces mayor que *mm*, lo cual demuestra que la velocidad angular de la imágen es doble de la del espejo.

iluminado, esta intensidad se halla sometida á las dos leyes siguientes:

1.ª *La intensidad de la luz, en una superficie dada, está en razon inversa del cuadrado de la distancia al foco luminoso.*

2.ª *La intensidad de la luz recibida oblicuamente es proporcional al seno del ángulo que forman los rayos luminosos con la superficie iluminada.*

Para demostrar la primera ley, consideremos dos pantallas circulares CD y AB (fig. 241), colocadas, la una á una cierta distancia del manantial luminoso L, y la otra á una distancia dupla, y representemos

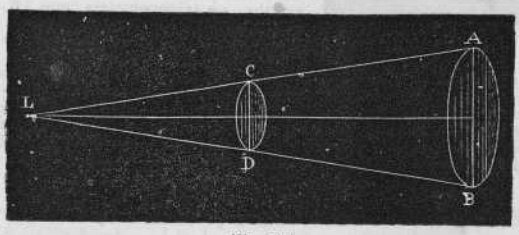


Fig. 241.

por s y S las superficies de estas dos pantallas. Representando por K la cantidad total de luz emitida por el manantial, segun el cono ALB, la intensidad de la luz sobre la pantalla CD, es decir, la cantidad de luz que cae sobre la unidad de superficie, es $\frac{K}{s}$; é igualmente, la intensidad sobre la pantalla AB es $\frac{K}{S}$. Pero, á causa de la semejanza de los triángulos ALB y CLD, el diámetro AB es duplo de CD; por consiguiente, siendo entre sí las superficies de los círculos como el cuadrado de los diámetros, la superficie S es cuatro veces mayor que la s. Luego la intensidad $\frac{K}{S}$ es cuatro veces menor que $\frac{K}{s}$, que es lo que queríamos demostrar.

Todavía se puede demostrar esperimentalmente la primera ley con el auxilio del aparato representado en la figura 243. Compárense, para esto, las sombras proyectadas sobre cristal deslustrado por dos varillas opacas, estando la una iluminada por una sola bujía, y la otra por cuatro colocadas á una distancia dupla de la primera. Se encuentra que las dos sombras así producidas tienen la misma intensidad, lo cual demuestra la ley.

La fig. 241 manifiesta que la causa de que la intensidad luminosa esté en razon inversa del cuadrado de la distancia, es la divergencia de los rayos luminosos emitidos desde un mismo manantial. Para rayos luminosos paralelos, la intensidad permanece constante, en el vacío al menos, porque en el aire y demás medios trasparentes la in-

tensidad de la luz decrece por un efecto de absorcion (470), aunque mucho mas lentamente que por el cuadrado de la distancia.

El cálculo comprueba la segunda ley. Sea, en efecto, un haz de rayos paralelos DA, EB (fig. 242), que caen sobre una superficie AC, formando con ella un ángulo α; y sea K la cantidad total de luz que recibe dicha superficie. Si se representa por I la intensidad de la luz, es decir, la cantidad que recibe la unidad de superficie, se tendrá $I = \frac{K}{AC}$ [A]; pero como AB es la proyeccion de la superficie AC sobre un plano perpendicular á la direccion del haz, se sabe, en trigonometría, que $AB = AC\ sen\ \alpha$; de donde $AC = \frac{AB}{sen\ \alpha}$. Sustituyendo este valor en la igualdad [A], resulta $I = \frac{sen\ \alpha}{AB} K$, lo cual demuestra la ley, pues siendo constantes AB y K, crece I como $sen\ \alpha$.

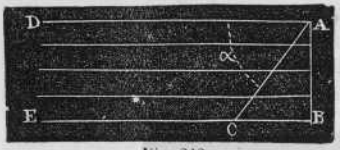


Fig. 242.

La ley del seno se aplica tambien á los rayos emitidos oblicuamente por una superficie luminosa; es decir, que los rayos son tanto menos intensos, cuanto mas inclinados están sobre la superficie que los emite, lo cual se refiere á la tercera ley del calórico radiante (351).

413. **Fotómetros.** — Denomínanse *fotómetros* unos aparatos propios para comparar las intensidades relativas de dos luces. Varios han sido imaginados, pero todos dejan mucho que desear bajo el

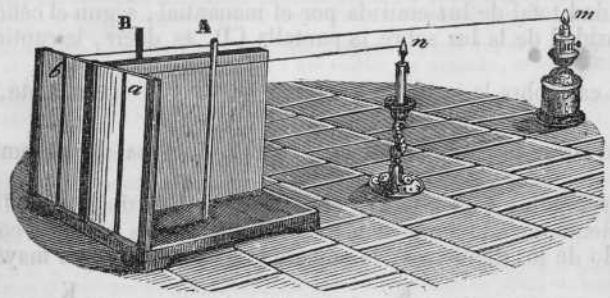


Fig. 243.

punto de vista de la precision. Solo hablarémos del fotómetro de Rumford y del de Wheatstone.

Fotómetro de Rumford. — El fotómetro de Rumford consta de una pantalla de vidrio deslustrado, delante de la cual se fijan dos varillas opacas A y B, separadas por una pantalla (fig. 243). A cierta distancia se encuentran dos luces que se van á comparar, por ejemplo, un quinqué y una vela, de manera que cada una proyecta sobre el vidrio una sombra de la varilla que le corresponde. Las sombras proyectadas tienen en un principio desigual intensidad; pero alejando ó acercando el quinqué, se obtiene una posicion en que la intensidad de las dos sombras *a* y *b* es la misma, lo cual da á entender que el vidrio se halla igualmente iluminado por las dos luces. Entonces, las intensidades de estas son directamente proporcionales á los cuadrados de

sus distancias á las sombras proyectadas; es decir, que si el quinqué está, por ejemplo, 3 veces mas distante que la vela, debe iluminar 9 veces mas.

Efectivamente, sean i é i' las intensidades del quinqué y de la vela á la unidad de distancia, y d y d' sus distancias respectivas á las sombras proyectadas. En virtud de la primera ley de la intensidad de la luz (442), la del quinqué á la distancia d es $\frac{i}{d^2}$, y la de la vela $\frac{i'}{d'^2}$ á la distancia d'. Estas dos intensidades son iguales en la pantalla, de suerte que se tiene la igualdad $\frac{i}{d^2}=\frac{i'}{d'^2}$, de donde $\frac{i}{i'}=\frac{d^2}{d'^2}$, que es lo que se debia demostrar.

* *Fotómetro de Wheatstone.* — La pieza principal de este fotómetro es una esfera brillante de acero P (fig. 244), montada sobre el borde de un disco de corcho, sostenido este á su vez por un piñon *o* que engrana interiormente con una rueda mayor. Se fija esta en una pequeña

Fig. 244.

Fig. 245.

caja cilíndrica de cobre que se tiene con una mano, mientras que con la otra se hace girar un manubrio A que trasmite el movimiento á un eje central y al piñon *o*. Gira este entonces siguiendo el contorno interior de la rueda grande, y, al mismo tiempo, sobre sí mismo; la esfera participa de este doble movimiento, y describe una curva en forma de roseton (fig. 245).

Tratemos de comparar dos luces M y N. Se coloca entre ellas el fotómetro, se le hace girar rápidamente, y los puntos brillantes que producen la reflexion de las dos luces sobre dos puntos opuestos de la esfera, dan orígen entonces á dos fajas luminosas dispuestas conforme se ve en la fig. 245. Si una de ellas es mas intensa que la otra, como por ejemplo, la que procede de la luz M, se acerca el instrumento á la otra luz, hasta que ambas fajas ofrezcan el mismo brillo. Midiendo entonces la distancia del fotómetro á cada una de las dos luces, sus intensidades son proporcionales á los cuadrados de las distancias. Este aparatito, que se fabrica en casa de los señores Lerebours y Secretan, es de uso muy sencillo, y ha sido adoptado en muchas fábricas de gas para comparar la intensidad de la luz que puede producir el gas que sale por los mecheros.

CAPÍTULO II.

REFLEXION DE LA LUZ, ESPEJOS.

414. Leyes de la reflexion de la luz. — Cuando un rayo luminoso encuentra una superficie pulimentada, se refleja siguiendo las dos leyes mismas que el calórico :

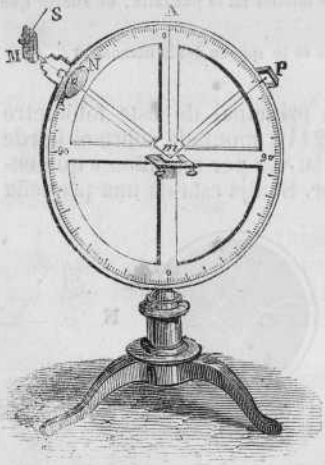


Fig. 246 (a = 48).

1.ª *El ángulo de reflexion es igual al de incidencia;*

2.ª *Los rayos incidente y reflejado estan en un mismo plano perpendicular á la superficie reflejante.*

Las palabras *rayo incidente, rayo reflejado, ángulo de incidencia* y *ángulo de reflexion* se toman en el mismo sentido que en el párrafo 354, por lo que no las volvemos á definir.

1.ª *Demostracion.* — Las dos leyes anteriores se demuestran por medio de un círculo graduado (fig. 246) cuyo plano es vertical. Dos reglas de cobre, móviles alrededor del centro, llevan, la una, una pantalla de vidrio deslustrado P, y la otra, una pieza opaca N agujereada en su centro. En la estremidad de esta última regla hay un espejo M que se puede inclinar mas ó menos, permaneciendo siempre perpendicular al plano del círculo graduado. Por fin, en el centro de este último hay un espejito plano *m* de metal, que le es exactamente perpendicular.

Al hacer el esperimento, se recibe un haz de luz solar S sobre el espejo M, que se inclina de manera que la luz reflejada pase al traves de la pantalla N y caiga en el centro del espejo *m*. El haz luminoso esperimenta allí una segunda reflexion, y toma una direccion *m*P, que se determina haciendo avanzar el vidrio P hasta que la imágen de la abertura N vaya á formarse en el centro. El limbo marca entonces los números de grados comprendidos en los arcos AN y AP, y se nota que son iguales estos números, lo cual demuestra que el ángulo de reflexion A*m*P es igual al de incidencia A*m*M.

Queda demostrada la segunda ley por la disposicion misma del aparato, supuesto que el plano de los rayos *m*M y *m*P es paralelo al plano del círculo graduado, y de consiguiente, perpendicular al espejo *m*.

2.ª *Demostracion.* — Todavía se puede demostrar la ley de la reflexion de la luz por el siguiente esperimento, que ofrece mas precision que el anterior, pero que es mas difícil de repetir en una clase. Dispónese verticalmente un círculo graduado M (fig. 247), al centro

del cual hay un anteojo móvil en un plano paralelo al limbo; luego se coloca, á una distancia conveniente, un vasito lleno de mercurio, destinado á hacer las veces de un espejo plano perfectamente horizontal. Dispuesto esto así, se dirige por el anteojo una visual AE á una estrella notable de primera ó de segunda magnitud; despues se inclina el anteojo de manera que se pueda recibir un rayo AD, procedente de la misma estrella, despues de haberse reflejado en D sobre

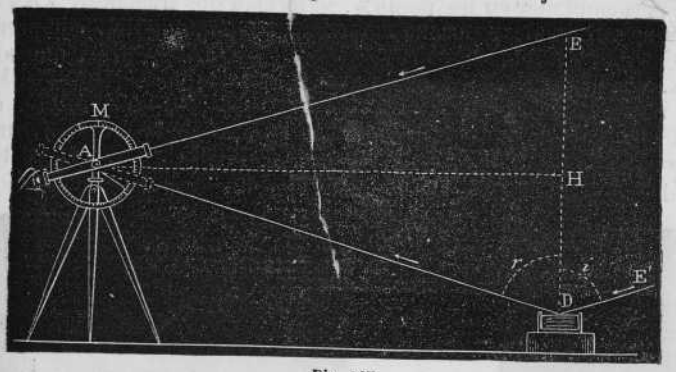


Fig. 247.

la superficie brillante del mercurio. Ahora bien; se observa así que los dos ángulos, formados por los rayos EA y DA con la horizontal AH, son iguales (1); de donde es fácil de concluir que el ángulo de incidencia E'DE es igual al de reflexion EDA. En efecto, si se tira la perpendicular DE á la AH, el triángulo AED es isósceles, y los ángulos ADE y AED son iguales; pero los dos rayos luminosos AE y DE', siendo paralelos á consecuencia de la gran distancia de la estrella, los ángulos AED y EDE' son iguales como alternos internos; luego EDE'= EDA, que es lo que se queria demostrar.

REFLEXION SOBRE SUPERFICIES PLANAS.

415. **Espejos, imágenes.** —Llámanse *espejos* unos cuerpos de superficie pulimentada, de metal ó de vidrio, que hacen ver por reflexion los objetos que se les presentan. El sitio en que estos objetos aparecen es su *imágen*.

Dividense los espejos, por su forma, en *planos*, *cóncavos*, *convexos*, *esféricos*, *parabólicos*, *cónicos*, etc. Las imágenes mismas son *virtuales* ó *reales*, cuyos caractéres pronto verémos (417).

416. **Formacion de las imágenes en los espejos planos.**—La determinacion de la posicion y del tamaño de las imágenes se reduce siempre á la investigacion de las imágenes de una série de puntos.

(1) Para convencerse de esta igualdad no hay mas que prolongar la horizontal AH hasta que encuentre al rayo luminoso DE', y uniendo este punto de encuentro con el E, se tendrá construido un paralelógramo del que serán diagonales la vertical y la horizontal.
(N. de J. P.)

Sea, por lo tanto, en primer lugar, un punto único A situado delante de un espejo plano MN (fig. 248), y AB un rayo cualquiera que parta de dicho punto, y que encuentre al espejo; se refleja en la direccion BO, formando el ángulo de reflexion DBO igual al de incidencia ABD.

Si se baja desde A una perpendicular AN sobre el espejo, y si se prolonga el rayo OB por debajo del espejo hasta que encuentre á dicha perpendicular en un punto *a*, se forman dos triángulos ABN y BN*a* que son iguales, porque tienen un lado comun BN, comprendido entre dos ángulos iguales, á saber: los ANB y BN*a*, que son rectos, y los ABN y NB*a*, iguales entre sí, pues ambos lo son al OBM. De la igualdad de estos triángulos resulta que *a*N es igual á AN, es decir, que un rayo cualquiera AB toma, despues de la reflexion, una direccion tal, que, prolongándole por debajo del espejo, va á cortar á la perpendicular A*a*, en un punto *a*, situado precisamente á la

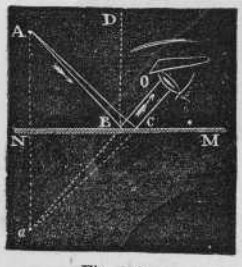


Fig. 248.

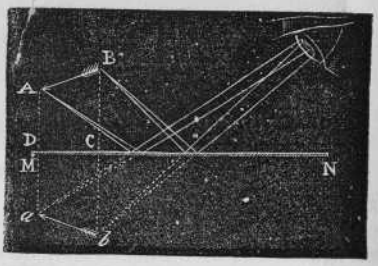


Fig. 249.

misma distancia del espejo que el A. Pero esta propiedad no es peculiar del rayo AB, sino que se aplica á cualquiera otro AC que parta de A. Dedúcese de aquí la importante consecuencia que todos los rayos emitidos por el punto A y reflejados sobre el espejo, *siguen, despues de su reflexion, la misma direccion que si hubiesen partido todos del punto a.* Por eso se engaña el ojo, pues cree ver el punto A realmente en *a*. De consiguiente, en los espejos planos, *la imágen de un punto se forma detrás del espejo, á una distancia igual á la del punto dado, y en la perpendicular bajada de este punto al espejo.*

Es evidente que se obtendrá la imágen de un objeto cualquiera construyendo, segun la regla anterior, la imágen de cada uno de sus puntos, ó por lo menos de los que bastan para determinar su posicion y su forma. La fig. 249 manifiesta la construccion que hay que hacer para obtener la imágen *ab* de un objeto cualquiera AB.

De esta construccion se deduce inmediatamente que, en los espejos planos, *la imágen es del mismo tamaño que el objeto*, porque si se coloca el trapecio ABCD sobre el DC*ab*, se ve con la mayor facilidad que coinciden, y el que el objeto AB se confunde con su imágen.

Dedúcese igualmente de la citada construccion que, en los espejos planos, *la imágen es simétrica con el objeto*, y no está invertida, dando

á la palabra simétrico el mismo valor que en geometría, en la cual se dice que dos puntos son simétricos con relacion á un plano, cuando se hallan situados en una misma perpendicular á este plano y á igual distancia, cada uno á distinto lado; condiciones que satisfacen sucesivamente todos los puntos del objeto AB y de su imágen en la fig. 249.

417. Imágenes virtuales é imágenes reales. — En la direccion de los rayos reflejados por los espejos, hay que distinguir dos casos, pues aquellos pueden ser divergentes ó convergentes. En el primer caso no se encuentran los rayos reflejados, pero si se considera que se prolongan por el otro lado del espejo, concurren en un punto (figura 248 y 249). Afectado el ojo cual si partiesen de este punto los rayos, ve en él una imágen, que no deja de ser una ilusion, pues en realidad no existe, porque los rayos luminosos no pasan al otro lado del espejo. De aquí proviene el nombre de *imágen virtual*, es decir, que tiende á producirse, pero que no se forma en realidad. Tales son siempre las imágenes que dan los espejos planos.

En el caso segundo, en que los rayos reflejados son convergentes, segun pronto se verá en los espejos cóncavos, van á concurrir en un punto situado delante del espejo y en el lado mismo en que se encuentra el objeto. Allí forman una imágen que recibe el nombre de *imágen real*, para espresar que realmente existe, pues puede recibírsela sobre una pantalla y obrar químicamente sobre ciertas sustancias. En resúmen, puede decirse que *las imágenes reales son las que forman los mismos rayos reflejados, y las imágenes virtuales las que forman sus prolongaciones.*

418. Imágenes múltiplas en los espejos de vidrio. — Los espejos metálicos solo ofrecen una superficie reflejante, y, por lo mismo, no dan mas que una imágen, pero no sucede lo mismo en los de vidrio, porque producen muchas que se observan con facilidad mirando oblícuamente en un espejo la imágen de una vela. Vése una primera imágen poco intensa, luego una segunda muy visible, y detrás de esta otras muchas cuya intensidad decrece sucesivamente hasta anularse.

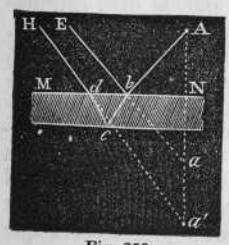


Fig. 250.

Esplícase este fenómeno por las dos superficies reflejantes que presentan los espejos de vidrio. Cuando los rayos luminosos encuentran la primera superficie, parte son reflejados dando la imágen *a* (figura 250) formada por la prolongacion de los rayos *b*E reflejados por esta superficie; y por el resto penetra en el vidrio, se refleja en *c* sobre la capa del estaño amalgamado que cubre la cara posterior del espejo, y vuelve al ojo en la direccion *d*H, dando la imágen *a'*. Esta, que dista de la primera dos veces el espesor del espejo, es mas intensa, porque la capa metálica refleja mas que el vidrio. En cuanto á las otras imágenes, son cada vez mas débiles, porque los rayos que las originan no emergen sino despues de una série de sucesivas reflexiones sobre las dos caras interiores del espejo.

Como esta multiplicidad de imágenes perjudicaria la observacion,

en muchos instrumentos de óptica se emplean de preferencia los espejos metálicos.

* 419. **Imágenes múltiplas sobre dos espejos planos.**—Cuando un objeto se halla situado entre dos espejos que forman un ángulo recto ó agudo, dá varias imágenes cuyo número aumenta con la inclinacion de los espejos. Si el uno es perpendicular al otro, se ven tres imágenes (fig. 251). Los rayos OC y OD, que parten del punto O, dan, despues de una sola reflexion, el uno la imágen O′, y el otro la O″, y el rayo OA, que ha sufrido dos reflexiones en A y en B, produce la tercera imágen O‴.

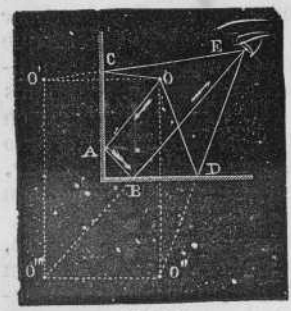


Fig. 251.

Cuando el ángulo de los espejos es de 60 grados, forma 5 imágenes; y si es de 45 grados, 7 imágenes. El número de estas continúa así creciendo á medida que disminuye el ángulo del espejo; y cuando es nulo, es decir, en el caso de ser paralelos los espejos, el número de las imágenes es teóricamente infinito. Proviene esta multiplicidad de imágenes de que los rayos luminosos sufren sucesivamente de uno á otro espejo un número creciente de reflexiones.

En la propiedad de los espejos inclinados se funda el *kaleidóscopo*, que consta de un tubo de carton con dos espejos inclinados entre sí 45 grados, y en su estremidad se colocan objetos muy irregulares, como musgo, oropel, encaje, etc., entre dos discos de vidrio, el mas esterior de los cuales está deslustrado. Mirando por la otra estremidad, se ven estos objetos y sus imágenes simétricamente dispuestas, constituyendo un conjunto muy variado y á menudo muy agradable.

420. **Reflexion irregular.**—La reflexion que se efectúa en la superficie de los cuerpos pulimentados, siguiendo las dos leyes anteriormente enunciadas (414), se designa con el nombre de *reflexion regular* ó de *reflexion especular;* pero esta cantidad de luz reflejada dista mucho de representar toda la incidente. Esta, cuando es opaco el cuerpo reflejante, se divide realmente en tres partes, á saber: una que se refleja con regularidad, otra *irregularmente*, y la tercera que se pierde, absorbida por el cuerpo reflejante, á la manera del calórico que se hace latente en los cambios de estado. Si el cuerpo que recibe los rayos incidentes es trasparente, hay además una cuarta porcion de luz que es trasmitida al través.

La luz reflejada irregularmente se designa con el nombre de *luz difusa*, y es la que nos hace ver los cuerpos. En efecto, la que lo efectúa con regularidad no da la imágen del cuerpo que la refleja, sino la del que la emite. Por ejemplo, si cae en una cámara oscura un haz de luz solar sobre un espejo bien pulimentado, con cuanta mas regularidad refleja este la luz, tanto menos visible es desde las diversas partes del recinto; pues el ojo, que entonces recibe el haz reflejado, no ve al espejo, sino tan solo la imágen del sol. Disminúyase el poder

reflector del espejo echándole encima polvo muy fino, y aumentará la cantidad de luz difusa, se debilitará la imágen solar, y será visible el espejo desde todas las partes del recinto.

421. **Intensidad de la luz reflejada.** — Para cuerpos de igual naturaleza, la intensidad de la luz reflejada regularmente crece con el grado de pulimento y con el ángulo que los rayos incidentes forman con la normal á la superficie reflejante. Por ejemplo, si se mira muy oblícuamente un pliego de papel blanco, situado delante de una vela, se ve por reflexion una imágen de la llama, lo cual no se verifica cuando recibe el ojo rayos menos oblícuos.

Para cuerpos de diferente naturaleza, pulimentados con igual cuidado, siendo constante el ángulo de incidencia, varía la intensidad con la sustancia, y tambien con el medio en que se halla sumergido el cuerpo reflejante. Por ejemplo, el vidrio pulimentado, introducido en el agua, pierde parte de su poder reflejante.

REFLEXION SOBRE LAS SUPERFICIES CURVAS.

422. **Espejos esféricos.** — Se ha visto ya (415) que se distinguen muchas especies de espejos curvos; pero los de uso mas frecuente son los esféricos y los parabólicos.

Denomínanse *espejos esféricos* aquellos cuya curvatura es la de una esfera, pudiéndose suponer su superficie engendrada por la revolucion de un arco MN (fig. 252), que gira alrededor del radio CA que une la parte media del arco con su centro. Segun se efectúe la reflexion en la cara interna ó en la esterna del espejo, así se dice que este es *cóncavo* ó *convexo*. El centro C de la esfera hueca de que forma parte el espejo, es el *centro de curvatura* ó el *centro geométrico*, y el punto A el *centro de figura*. La recta indefinida AL, tirada por los centros A y C, es el *eje principal* del espejo; y cualquiera recta que pase por C, mas no por A, es un *eje secundario*. El ángulo MCN, formado por la union del centro con los bordes del espejo es su *abertura*. Denomínase, por fin, *seccion principal* ó *seccion meridiana* de un espejo, la que se obtiene cortándole por un plano que pase por el eje principal. Solo hablarémos nosotros de las líneas situadas en una misma seccion principal de los espejos.

La teoría de la reflexion de la luz sobre los espejos curvos se deduce muy sencillamente de las leyes de la reflexion sobre los planos, considerando la superficie de los primeros como formada por una infinidad de superficies planas infinitamente pequeñas, que son sus *elementos*. La *normal* á la superficie curva, en un punto dado, es entonces la perpendicular al elemento correspondiente, ó, lo que es igual, al plano tangente que lo contiene. Demuéstrase en geometría que, en las esferas, todas las normales pasan por el centro de curvatura, lo cual permite trazar fácilmente la normal en un punto cualquiera de un espejo esférico.

423. **Focos de los espejos esféricos cóncavos.** — En los espejos curvos, reciben el nombre de focos los puntos en que concurren los rayos reflejados ó sus prolongaciones. Segun la distancia del objeto

luminoso ó iluminado que envia luz á un espejo esférico cóncavo, se distinguen tres especies de focos, que son: el principal, el conjugado y el virtual.

1.ª *Foco principal.* — Este foco, formado por los rayos paralelos incidentes al eje principal, se halla situado sobre el eje sensiblemente á igual distancia del centro de curvatura y del espejo. Sea, en efecto, un rayo GD paralelo al eje AL (fig. 252); supuesto que los espejos curvos se componen de una infinidad de elementos planos infinitamente pequeños, el rayo GD se refleja sobre el elemento que corres-

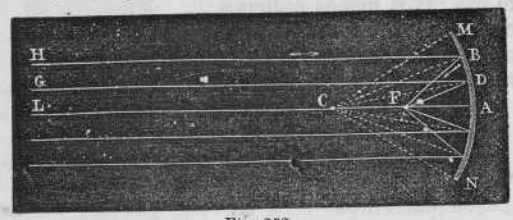


Fig. 252.

ponde al punto D, segun las leyes de reflexion sobre los espejos planos (414); es decir, que siendo CD la normal al punto de incidencia D, el ángulo de reflexion CDF es igual al de incidencia GDC, y se encuentra en la misma seccion meridiana. Fácil es deducir de aquí que el punto F, donde el rayo reflejado encuentra el eje principal, divide muy aproximadamente el radio de curvatura AC en dos partes iguales. En efecto, en el triángulo DFC, los lados DF y CF son iguales por ser opuestos á ángulos iguales, porque los DCF y FDC son ambos iguales al CDG, el primero como alterno interno, y el segundo por las leyes de reflexion. Por otra parte, FD se acerca tanto mas á ser igual á FA cuanto menor es el arco AD. Podemos considerar, pues, cuando consta este arco de un corto número de grados, las rectas AF y FC como sensiblemente iguales, y el punto F como el medio de AC. Mientras no pase de 8 á 10 grados la abertura MCN del espejo, cualquiera otro radio HB paralelo al eje, va de esta suerte, despues de la reflexion, á pasar muy aproximadamente por el punto F. Este punto, al cual van á concurrir despues de reflejados los rayos que, antes de la incidencia, eran paralelos al eje principal, se denomina *foco principal*, y la distancia FA es la *distancia focal principal;* acabamos de ver que ella es la mitad del radio.

Como todos los rayos paralelos al eje van á concurrir sensiblemente á un mismo punto F, conviene observar que, recíprocamente, si se coloca en F un objeto luminoso, los rayos emitidos toman despues de la reflexion las direcciones DG, BH..., paralelas al eje principal, porque entonces, los ángulos de reflexion pasan á ser de incidencia, y vice-versa, pero permaneciendo siempre iguales.

2.ª *Foco conjugado.* — Supongamos ahora el caso en que los rayos luminosos que caen sobre el espejo son emitidos por un punto L (figura 253), situado sobre el eje principal, y á una distancia tal, que no

sean paralelos, sino divergentes, los rayos incidentes. El rayo incidente LK forma entonces con la normal CK un ángulo de incidencia LKC, menor que el SKC que constituye con la misma normal el rayo SK, paralelo al eje, y por lo mismo, el ángulo de reflexion correspondiente al rayo LK deberá ser tambien menor que el CKF que corresponde al SK. El rayo LK tiene que encontrar, pues, despues de la reflexion, el eje en el punto *l*, situado entre el centro C y el foco

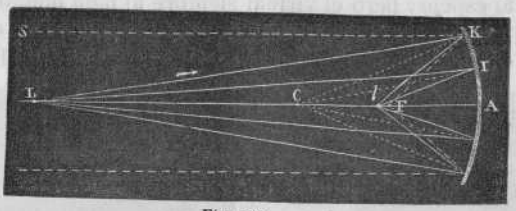


Fig. 253.

principal F. Mientras no pasa de un corto número de grados la abertura del espejo, todos los rayos emitidos del punto L van, despues de reflejados, á concurrir sensiblemente al mismo punto *l*, que es el que se llama *foco conjugado*, para indicar el enlace que media entre los puntos L y *l*, enlace tal, que son recíprocos entre sí, es decir, que si se trasportase á *l* el punto luminoso, su foco conjugado estaria en L, y entonces seria *l*K el rayo incidente, y KL el reflejado.

Por la inspeccion de la figura 253 se reconoce fácilmente que, cuando el objeto L se acerca ó se aleja del centro C, su foco conjugado hace lo mismo con él, porque crecen ó decrecen á un tiempo los ángulos de incidencia y de reflexion.

Si el objeto L va á coincidir con el centro C, es nulo el ángulo de incidencia, y como debe sucederle otro tanto al de reflexion, vuelve sobre sí mismo el rayo reflejado, y el foco coincide con el objeto. Si el cuerpo luminoso pasa mas allá del centro C, entre este punto y el foco principal, el conjugado pasa á su vez al otro lado del centro, y se aleja de él á medida que el punto luminoso se acerca al foco principal. Por fin, cuando coincide aquel con este, los rayos paralelos no se encuentran, por ser paralelos al eje, y de consiguiente, no hay foco.

3.ª *Foco virtual.*—Pasemos al caso en que el objeto está en L (figura 254), entre el foco principal y el espejo. Un rayo cualquiera LM, emitido desde L, forma entonces con la normal CM un ángulo de incidencia LMC, mayor que FMC, y el de reflexion debe ser tambien mayor que el CMS. Síguese de aquí, que el rayo reflejado ME es divergente con relacion al eje AK. Como sucede lo propio con todos los rayos emitidos desde el punto L, estos rayos no se encuentran, y no forman, por lo tanto, foco conjugado; pero, si se les supone prolongados por el otro lado del espejo, irán á concurrir sus prolongaciones sensiblemente en un mismo punto *l*, situado sobre el eje; de suerte que el ojo que los recibe esperimenta la misma impresion que si hu-

biesen sido emitidos aquellos rayos desde el punto *l*. Prodúcese, pues, en este punto un foco virtual enteramente análogo al que presentan los espejos planos (417).

Obsérvese, en los diferentes casos que acabamos de considerar, que es constante la posicion del foco principal, mientras que son variables las de los conjugado y virtual. Por último, el principal y el conjugado se hallan situados siempre en el mismo lado que el objeto con relacion al espejo; pero el virtual siempre al lado opuesto.

Hasta ahora se ha supuesto situado el punto luminoso en el mismo eje principal, y en tal caso se forma el foco sobre este eje; pero si se

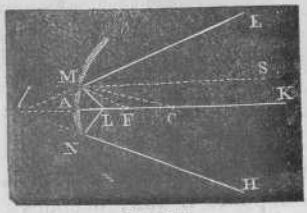


Fig. 254.

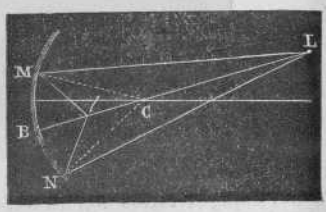


Fig. 255.

encuentra aquel en un eje secundario LB (fig. 255), aplicando á este eje los mismos razonamientos que al otro, se nota que el foco del punto L se forma en otro *l* situado sobre el eje secundario, y que, segun la distancia del punto L, así dicho foco puede ser principal, conjugado ó virtual. Obsérvese, por lo demás, que los ejes secundarios, lo mismo que el principal, representan siempre un rayo luminoso incidente, pero que se confunde con la normal, y por lo mismo, con el rayo reflejado.

424. **Focos en los espejos convexos.** — En los espejos convexos solo hay focos virtuales. Sean, en efecto, varios rayos SI, TK... (fig. 256), paralelos al eje principal de un espejo convexo. Estos rayos, despues de su reflexion, toman direcciones divergentes IM, KH...

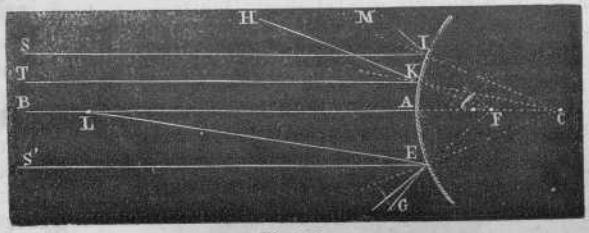


Fig. 256.

que, prolongadas, van á concurrir á un punto F, que es el *foco virtual principal del espejo*. Demostraríase por medio del triángulo CKF, de igual modo que en los espejos cóncavos, que el punto F es sensiblemente la parte media del radio de curvatura CA.

Si, en vez de ser paralelos al eje, parten los rayos luminosos incidentes de un punto L, situados sobre el eje á una distancia finita, se reconoce fácilmente que es aun virtual el foco, pero que va á formarse en *l*, entre el principal y el espejo.

425. **Determinacion del foco principal.** —Necesario es á menudo conocer el radio de curvatura en las aplicaciones de los espejos cóncavos ó convexos. Esta investigacion se reduce á la del foco principal, porque, colocado este foco en medio del radio (423, 1.ª), basta para encontrarle duplicar la distancia focal.

Para encontrar el foco, cuando el espejo es cóncavo, se espone este á los rayos solares, de manera que les sea paralelo su eje principal;

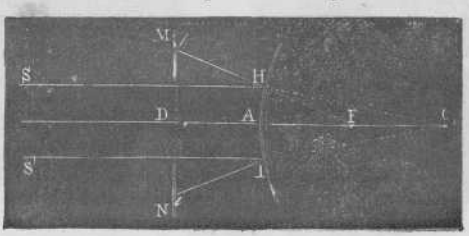


Fig. 257.

y luego, con una placa de vidrio deslustrado, se busca el sitio en que mas intensa es la imágen, y allí está el foco principal. Midiendo la distancia de este punto al espejo, y duplicándola, se obtiene el radio del espejo.

b) Si el espejo es convexo, se le cubre con papel, cuidando de dejar en este, á igual distancia del centro de figura A, y en un mismo plano meridiano (fig. 257), dos pequeñas aberturas circulares en H y en I, que dejan á descubierto el espejo. Colócase en seguida delante de este una pantalla MN, con un agujero en su centro de seccion circular mayor que la distancia HI. Si se recibe entonces sobre el espejo un haz de rayos solares SH y SI, paralelos al eje, se refleja la luz en H y en I, sobre las partes en que está descubierto el espejo, y va á formar sobre la pantalla dos imágenes brillantes en *h* y en *i*. Alejando ó bien acercando la pantalla MN, se encuentra una posicion en que el intervalo *hi* es duplo de HI; y entonces, la distancia AD de la placa al espejo representa la distancia focal principal. En efecto, los triángulos FHI y F*hi* son semejantes, por lo que $\frac{HI}{hi}=\frac{FA}{FD}$; pero HI es la mitad de *hi*, luego FA es tambien la mitad de FD. De consiguiente, AD es igual á AF; y como, por otra parte, FA es la distancia focal principal, por ser paralelos al eje los rayos SH y SI, el doble de AD debe representar el radio de curvatura del espejo.

426. **Formacion de las imágenes en los espejos cóncavos.** —Se ha supuesto hasta ahora que el objeto luminoso ó iluminado, situado delante de los espejos, era simplemente un punto; pero si

tiene alguna estension, podemos concebir para cada uno de sus puntos un eje secundario, y determinar así una série de focos reales ó virtuales, cuyo conjunto compondrá la imágen real ó virtual del objeto. Vamos á ver cómo se determinan la posicion y el tamaño de estas imágenes en los espejos cóncavos y en los convexos, fundándonos en las construcciones que han servido para encontrar los focos (423 y 424).

Imágen real. — Sea, en primer lugar, el caso en que el espejo es cóncavo, y en que el objeto AB (fig. 258) se halla situado mas allá del centro. Para obtener la imágen ó el foco de un punto cualquiera A, hay que principiar por tirar el eje secundario AE de este punto; y luego, trazando desde el punto A un rayo incidente AD, se baja al punto de

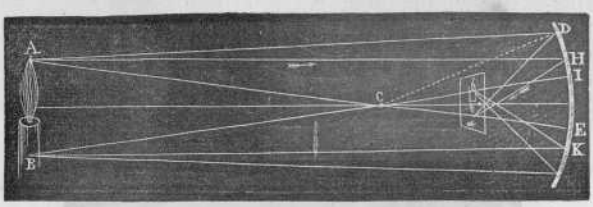


Fig. 258.

incidencia la normal DC, y se construye el ángulo de reflexion CDa igual al de incidencia ADC. El punto *a*, en que el rayo reflejado corta al eje secundario AE, es el foco conjugado del punto A, porque cualquiera otro rayo AH procedente de este punto, va á concurrir en *a*. Si se tira el eje secundario BI del punto B, los rayos emitidos desde este van á reunirse, despues de la reflexion, en *b*, formando aquí el foco conjugado de B. Las imágenes de todos los puntos del objeto AB van á agruparse así entre *a* y *b*, y por lo tanto, *ab* es la imágen completa de AB. En vista de lo dicho acerca de los focos (423, 2.°), *esta imágen es real, invertida, mas pequeña que el objeto, y está situada entre el centro de curvatura y el foco principal.* Puede verse de dos maneras esta imá-

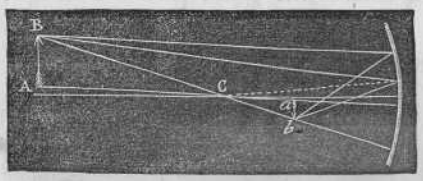


Fig. 259.

gen, ó bien colocando el ojo en la prolongacion de los rayos reflejados, en cuyo caso se percibe una imágen aérea, ó bien se reciben los rayos sobre una pantalla que refleja la luz en todas direcciones y la envia hácia el ojo.

Recíprocamente, si el objeto luminoso ó iluminado, cuya imágen se busca, se encuentra en *ab*, entre el foco principal y el centro, se

forma en AB su imágen. Esta es aun real y está invertida, pero mayor que el objeto, y tanto mas, cuanto mas cerca del foco se encuentra el objeto.

Si se halla situado el objeto en el mismo foco principal, no se produce imágen alguna, porque entonces los rayos emitidos de cada punto forman, despues de la reflexion, otros tantos haces respectivamente paralelos al eje secundario trazado por el punto desde el cual han sito emitidos (423, 1.°), y ya no pueden constituir focos ni imágenes.

Cuando el objeto AB tiene todos sus puntos fuera del eje principal (fig. 259), se encuentra con facilidad, repitiendo la construccion anterior, que la imágen del objeto AB se produce en *ab*.

Imágen virtual.—Si el objeto AB (fig. 260), cuya imágen se busca, se halla entre el foco principal y el espejo, los rayos incidentes AD, AK, que toman despues de la reflexion las direcciones DI y KH, van á formar, prolongándose en *a*, una imágen virtual del punto A. De

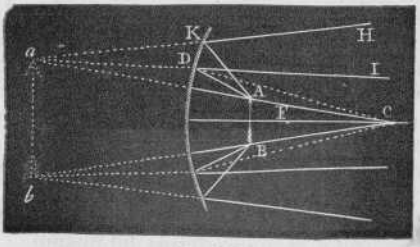


Fig. 260.

igual manera la imágen B se próduce en *b*; y así es que el ojo ve en *ab* la imágen de AB. *Esta imágen es virtual, derecha y mayor que el objeto.*

Reasumiendo lo que precede, se ve que, segun la distancia del objeto, dan orígen los espejos cóncavos á dos especies de imágenes, ó bien no forman ninguna, lo cual se comprueba colocándose delante de un espejo cóncavo, pues á cierta distancia se ve su propia imágen invertida y menor, que es la real; mas cerca se vuelve confusa y desaparece al llegar al foco; y mas cerca aun, reaparece la imágen derecha y mayor, que es la virtual.

427. Formacion de las imágenes en los espejos convexos.

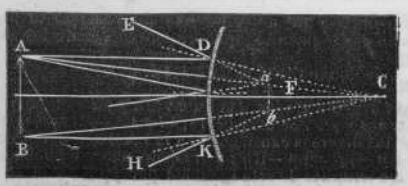


Fig. 261.

—Sea un objeto AB (fig. 261), situado delante de un espejo convexo,

á una distancia cualquiera. Si se tiran los ejes secundarios AC y BC, resulta de lo dicho (424) sobre la construccion de los focos, en los espejos convexos, que todos los rayos emitidos del punto A son divergentes despues de la reflexion, y que sus prolongaciones van á concurrir en un punto *a*, que es la imágen virtual del punto A. Así, tambien los rayos emitidos del punto B van á constituir en *b* una imágen virtual de este punto. El ojo que recibe los rayos divergentes DE, KH..., ve, pues, en *ab* una imágen de AB. Resulta de esta construccion que, sea cual fuere la posicion de un objeto delante de un espejo convexo, *la imágen es siempre virtual, derecha y menor que el objeto.*

428. **Regla general para la construccion de las imágenes en los espejos.** — Las diferentes construcciones que hemos hecho para el trazado de las imágenes, así en los espejos cóncavos como en los convexos (fig. 258, 260 y 261), pueden reasumirse en la regla siguiente:

Para construir la imágen de un punto: 1.° se tira el eje secundario de este punto; 2.° se traza desde el punto dado al espejo un rayo incidente cualquiera; 3.° se une el punto de incidencia con el centro del espejo por medio de una recta que representa la normal, y da á conocer al mismo tiempo el ángulo de incidencia; 4.° se tira desde el punto de incidencia, en el otro lado de la normal, una recta que forme con ella un ángulo igual al de incidencia. Esta última recta, que representa al rayo reflejado, prolongada hasta encontrar al eje secundario, da, para lugar de la imágen, el punto mismo en que corta á este eje.

Aplicando la misma construccion á cada punto de un objeto, se tendrá siempre su imágen, la cual será real ó virtual, segun sean los mismos rayos reflejados los que cortan al eje secundario delante del espejo, ó bien sus prolongaciones detrás del mismo.

429. **Fórmulas relativas á los espejos esféricos.** — La relacion que hay entre la posicion relativa de un objeto y la de su imágen en los espejos esféricos, se puede representar por medio de una fórmula muy sencilla. Consideremos, al efecto, primero un espejo cóncavo, y representemos por R su radio de curvatura, por p la distancia LA del objeto L (fig. 262) al espejo, y por p' la distancia lA de la imágen al mismo espejo. En el triángulo L$M l$, como la normal MC divide el ángulo L$M l$ en dos partes iguales, se puede

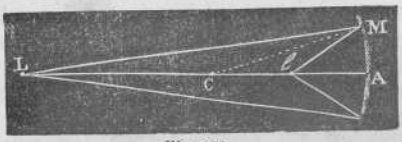


Fig. 262.

aplicar el teorema de geometría que dice, que en todo triángulo la bisectriz de un ángulo divide al lado opuesto en dos segmentos, que son entre sí como los dos lados del ángulo, esto es, que $\frac{Cl}{CL} = \frac{lM}{LM}$, de donde $Cl \times LM = CL \times lM$.

Si el arco AM no pasa de 5 á 6 grados, las líneas ML y Ml son muy sensiblemente iguales á AL y Al, es decir, á p y p'. Por otra parte, $Cl = CA - Al = R - p'$, y $CL = AL - AC = p - R$. Sustituyendo estas diversas cantidades en la igualdad que precede, resulta $(R - p')p = (p - R)p'$, ó bien $Rp - pp' = pp' - Rp'$; y trasponiendo y reduciendo $Rp + Rp' = 2pp'$ [1]. Si se dividen todos los términos de esta igualdad por $pp'R$, y si se suprimen los factores comunes, toma la forma bajo la cual se la considera de ordinario

$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{2}{R} \quad [2].$$

Resolviendo la ecuacion [1] con relacion á p', resulta $p' = \frac{pR}{2p - R}$ [3], fórmula que dá á conocer la distancia de la imágen al espejo, cuando se conoce la del objeto y el radio de curvatura.

430. **Discusion de la fórmula de los espejos** —Busquemos ahora los diferentes valores que toma p', segun los que se dan á p en la fórmula [3].

1.° Supongamos que el objeto luminoso ó iluminado se encuentra en el eje á una distancia infinita, en cuyo caso son paralelos los rayos incidentes. Para interpretar el valor que toma entonces p', hay que dividir por p los dos términos de la fraccion $\frac{pR}{2p-R}$, lo cual da por resultado $p' = \frac{R}{2 - \frac{R}{p}}$ [4]. Introduciendo en esta fórmula la condicion de ser p infinito, es cero la fraccion $\frac{R}{p}$, y se tiene $p' = \frac{R}{2}$; es decir, que se forma la imágen en el foco principal, segun deberia ser, porque los rayos incidentes constituyen entonces un haz paralelo al eje.

2.° Si se acerca el objeto al espejo, decrece p, mengua el denominador de la fórmula [4], y aumenta, por lo mismo, el valor de p'; de consiguiente, se aproxima la imágen al centro al mismo tiempo que el objeto, pero hallándose siempre comprendida entre el foco principal y el centro, pues mientras $p > R$,

$$\text{es } \frac{R}{2 - \frac{R}{p}} > \frac{R}{2} \text{ y } < R.$$

3.° Si coincide el objeto con el centro, lo cual se espresa haciendo $p = R$, resulta $p' = R$, es decir, que la imágen coincide con el objeto.

4.° Si el objeto luminoso pasa entre el centro y el foco principal, tenemos $p < R$, y de la fórmula [4] se deduce que p' es $> R$; es decir, que la imágen se forma entonces en el otro lado del centro. Cuando llega el objeto al foco principal, se tiene $p = \frac{R}{2}$, lo cual da $p' = \frac{R}{0} = \infty$: es decir, que la imágen se forma en el infinito. En efecto, los rayos reflejados son entonces paralelos.

5.° Por último, si pasa el objeto entre el foco principal y el objeto, se tiene $p < \frac{R}{2}$; y como el denominador de la fórmula [4] es entonces negativo, le sucede otro tanto á p', lo cual indica que la distancia p' de la imágen al espejo, debe contarse en el eje en sentido contrario á p. Efectivamente, la imágen es entonces virtual, y se halla situada al otro lado del espejo (423, 3.°).

Introduciendo en la fórmula [2] la condicion de ser p' negativo, se trasforma en $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{2}{R}$, que comprende los casos de las imágenes virtuales en los espejos cóncavos.

En los casos de espejos convexos, como siempre es virtual la imágen (427), p' y R tienen el mismo signo, supuesto que la imágen y el centro estan á un mismo lado del espejo, y p es de signo contrario, pues se encuentra en el otro lado el objeto. Introduciendo esta condicion en la fórmula [2], resulta $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{2}{R}$ [5], para la fórmula relativa á los espejos convexos. Por lo demás, se la podria encontrar directamente por las mismas consideraciones geométricas que dan la fórmula [2] de los espejos cóncavos.

Obsérvese que las diferentes fórmulas citadas no son rigurosas, pues se apoyan en hipótesis que tampoco lo son, cual es la de ser las rectas LM y *l*M (figura 262) iguales á LA y á *l* A, lo cual solo es cierto en el límite, esto es, cuando vale cero el ángulo MCA. Estas fórmulas se acercan tanto mas á la exactitud, cuanto menor es la abertura del espejo.

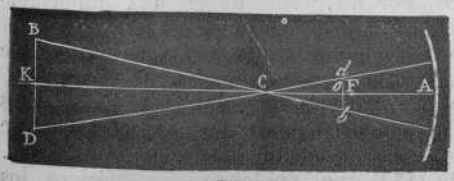


Fig. 263.

431. **Cálculo de la magnitud de las imágenes.** — Por medio de las antedichas fórmulas, se puede calcular fácilmente la

magnitud de una imágen, conocidas la magnitud del espejo, su radio y la distancia del objeto. En efecto, si se representa este por BD (fig. 263), su imágen por bd, y si se supone conocida la distancia KA y el radio AC, se calcula Ao por medio de la fórmula [3] del párrafo 430. Conocida ya Ao, se deduce de ella oC. Como los dos triángulos BCD y dCb son semejantes, se tiene, entre sus bases y sus alturas, la proporcion $\frac{BD}{bd} = \frac{CK}{Co}$, de la cual se deduce la magnitud bd de la imágen.

432. **Aberracion de esfericidad, cáusticas.** — En la teoría que acabamos de dar de los focos y de las imágenes en los espejos esféricos, se ha observado ya que los rayos reflejados no van á concurrir sensiblemente en un punto único, sino en tanto que la abertura del espejo no pasa de 8 á 10 grados (423, 1.°). Si la abertura es mayor, los rayos reflejados cerca de los bordes van á encontrar al eje mas cerca del espejo que los que se

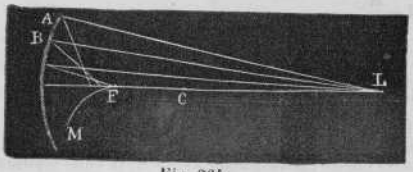


Fig. 264.

han reflejado á corta distancia del centro de curvatura. De aquí resulta en las imágenes una falta de limpieza, que se designa con el nombre de *aberracion de esfericidad* por reflexion, á fin de distinguirla de la aberracion de esfericidad por refraccion que presentan las lentes (457).

Cortando los rayos reflejados sucesivamente dos á dos, segun se ve encima del eje FL (figura 264), sus puntos de interseccion forman, en el espacio, una superficie brillante, que se llama *cáustica por reflexion*. La curva FM representa una de las ramas de la seccion meridiana de esta superficie.

433. **Aplicaciones de los espejos.** — Bien conocidas son las aplicaciones de los espejos planos en la economía doméstica, pero además son tambien de frecuente uso, en muchos aparatos de física, para dar á la luz una determinada direccion. Si es la luz solar, es preciso que sea móvil el espejo para que conserven los rayos reflejados una direccion constante, pues se requiere una compensacion del cambio de direccion que sin cesar toman los rayos incidentes por efecto del movimiento diurno aparente del sol. Se obtiene este resultado por medio de un movimiento de relojería que hace variar la inclinacion del espejo por hallarse fijo este en un eje. Este aparato ha recibido el nombre de *helióstato*. Se ha utilizado tambien la reflexion de la luz para medir con gran precision los ángulos de los cristales con los instrumentos denominados *goniómetros* de reflexion.

Numerosas son tambien las aplicaciones de los espejos cóncavos, pues sirven para aumentar las imágenes, como en los de afeitar. Los ustorios los conocemos ya (356), y continúan sirviendo en los telescopios los espejos cóncavos. Por fin, estos tienen una importante aplicacion, como reflectores, para proyectar la luz á grandes distancias, colocando en su foco un manantial luminoso; pero para este uso deben de ser preferidos los espejos parabólicos.

434. **Espejos parabólicos.** — Los *espejos parabólicos* son espejos cóncavos cuya superficie es la que se engendra por la revolucion de un arco de parábola AM, que gira alrededor de su eje AX (fig. 265).

Se ha visto anteriormente (432) que, en los espejos esféricos, los

rayos paralelos al eje no concurren mas que aproximadamente en el foco principal; resulta, por consiguiente, que un manantial de luz colocado en el foco de estos espejos no puede enviar sus rayos reflejados que sean rigurosamente paralelos al eje. Pero este defecto no se encuentra en los espejos parabólicos, que son mas difíciles de construir que los esféricos, pero que son muy preferibles para reflectores. En efecto, es conocida la propiedad que tiene la parábola de que si en un punto cualquiera M de esta curva se tira la tangente TT', esta forma ángulos iguales con el radio vector FM, y la paralela al eje ML. Por consiguiente, en esta clase de espejos, todos los rayos paralelos al eje van, despues de la reflexion, á concurrir rigurosamente en el foco F del espejo; y recíprocamente, colocado un manantial luminoso en este foco, los rayos de luz, despues de reflejados, dan orígen á un haz luminoso rigurosamente paralelo al eje. De aquí resulta que, la luz así reflejada, tiende á conservar la misma intensidad hasta una gran distancia, porque, segun hemos visto (412), la causa que mas debilita la intensidad de los rayos luminosos, es la divergencia de los mismos.

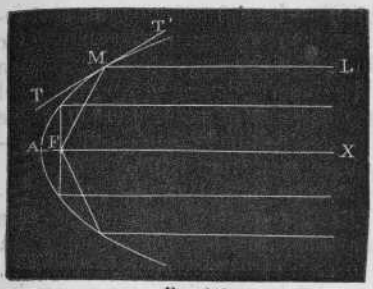


Fig. 265.

Esta propiedad de los espejos parabólicos ha sido utilizada en los carruages públicos y en los trenes del ferro-carril, proveyendo las lámparas de reflectores parabólicos. Estas clases de lentes han estado tambien mucho tiempo en uso en los faros, pero muy luego verémos que hoy se emplean de preferencia las lentes.

Cortando por un plano perpendicular al eje, y que pase por el foco, dos espejos parabólicos iguales, y reuniéndolos por sus intersecciones (fig. 266), de modo que coincidan sus focos, se obtiene un sistema de reflectores, con el cual una sola lámpara ilumina á la vez en dos direcciones opuestas. Este es el sistema que se aplica á las escaleras, á fin de alumbrar á la vez en toda su estension.

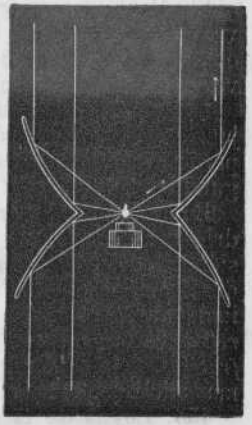


Fig 266.

CAPITULO III.

REFRACCION SENCILLA, LENTES.

435. Fenómeno de la refraccion. — La *refraccion* es una desviacion que sufren los rayos luminosos cuando pasan oblícuamente de un medio á otro, como por ejemplo, del aire al agua ó á cualquiera otro medio. Decimos *oblícuamente*, porque si el rayo luminoso es perpendicular á la superficie que separa los dos medios, no se desvía y continúa propagándose en línea recta.

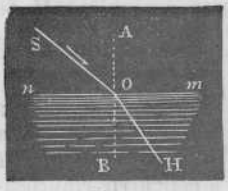


Fig. 267.

Si el *rayo incidente* es SO (fig. 267), el *refractado* será el OH, que es la direccion que toma la luz en el segundo medio, y los ángulos SOA y HOB, que forman estos rayos con la recta AB, que es la normal á la superficie que separa los dos medios, se denominan, el uno *ángulo de incidencia*, y el otro *ángulo de refraccion*. Segun se acerque ó se aleje de la normal el rayo refractado, se dice que el segundo medio es mas ó menos *refringente* que el primero.

El cálculo demuestra que el sentido de la refraccion depende de la velocidad relativa de la luz en los dos medios. En el sistema de las ondulaciones, el medio mas refringente es aquel en que es menor la velocidad de propagacion.

La luz incidente, que ha de pasar de un medio á otro, no penetra jamás por completo en este, sino que una parte se refleja en la superficie que separa los dos medios, y la otra parte entra en el segundo.

En los medios no cristalizados, como el aire, los líquidos y el vidrio comun, el rayo luminoso, simple en la incidencia, continúa siéndolo despues de la refraccion; pero en ciertos cuerpos cristalizados, como el espato de Islandia y el cristal de roca, da orígen el rayo incidente á dos rayos refractados. El primer fenómeno constituye la *refraccion simple*, y el segundo se designa con el nombre de *doble refraccion*. Solo hablarémos ahora de la refraccion sencilla, dejando para mas adelante (514) la teoría de la doble refraccion.

436. Leyes de la refraccion simple. — Cuando un rayo luminoso se refracta pasando de un medio á otro dotado de distinto poder refringente, se observan estas dos leyes:

1.ª *Sea cual fuere la oblicuidad del rayo incidente, el seno del ángulo de incidencia y el del ángulo de refraccion se hallan en una relacion constante para los dos mismos medios, pero variable si cambian estos.*

2.ª *Los rayos incidente y refractado se encuentran en un mismo plano perpendicular á la superficie que separa los dos medios.*

Conócense estas leyes con el nombre de *leyes de Descartes*, que fué quien primero las formuló. Para demostrarlas, sirve el mismo aparato

que para las leyes de la reflexion (414). Reemplázase, al efecto, el espejo plano, situado en el centro del círculo graduado, por un vaso semi-cilíndrico de vidrio, lleno de agua, de manera que la superficie del líquido se encuentre exactamente á la altura del centro del círculo (fig. 268). Si se inclina entonces el espejo M de suerte que dirija hácia el centro un rayo reflejado MO, se refracta este al entrar en el agua; pero sale de ella sin refraccion, porque á la salida es su direccion normal á la pared curva del vaso B. A fin de seguir la marcha del rayo refractado PO, se le recibe en una pantalla P que se mueve con objeto de que la imágen de la abertura de la placa N vaya á formarse en su centro. Por fin, en todas las posiciones de las pantallas N y P, los senos de los ángulos de incidencia y de refraccion estan representados y medidos por dos reglas I y R, movibles alrededor de un eje, divididas en milímetros y equilibradas de manera que queden constantemente horizontales, es decir, perpendiculares al diámetro AD.

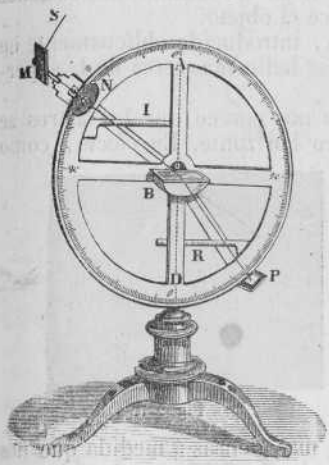


Fig. 268 (a = 48).

Leyendo en las dos reglas I y R las longitudes de los senos de los ángulos MOA y DOP, se encuentran números que varían con la posicion de las pantallas, pero cuya relacion es constante, es decir, que si el seno de incidencia se hace dos, tres veces mayor, le sucede otro tanto al de refraccion, lo cual demuestra la primera ley. En cuanto á la segunda, queda demostrada por la posicion misma del aparato, pues el plano del limbo graduado es perpendicular á la superficie del líquido en el vaso semicilíndrico.

437. Indices de refraccion. — La relacion entre los senos de los ángulos de incidencia y de refraccion se denomina *indice de refraccion.* Varía segun los medios, y así es que vale $^4/_3$ del aire al agua y $^3/_2$ del aire al vidrio.

Si se consideran los medios en un órden inverso, es decir, si la luz se propaga del agua al aire, ó del vidrio al aire, se nota que sigue *el mismo camino*, pero en sentido contrario; pues entonces PO es el rayo incidente, y OM el refractado. Por lo tanto, la relacion que representa el índice de refraccion, está á su vez invertida; y será $^3/_4$ del agua al aire, y $^2/_3$ del vidrio al aire.

438. Efectos producidos por la refraccion. — Por efecto de la refraccion parece que los cuerpos sumergidos en un medio mas refringente que el aire, se acercan á la superficie de separacion; y por el contrario, pareceria que se alejaban de la misma si lo estuviesen en

uno menos refringente. Sea, por ejemplo, un objeto L introducido en una masa de agua (fig. 269). Al pasar los rayos LA, LB..., desde este líquido al aire, se separan de la normal en el punto de incidencia, y toman las direcciones AC, BD..., cuyas prolongaciones concurren sensiblemente en un punto L′ situado en la perpendicular LK. El ojo que recibe estos rayos ve, pues, el objeto L en L′. Cuanto mas oblícuos son los rayos LA, LB..., mas alto parece el objeto.

De lo mismo depende que un baston, introducido oblícuamente en el agua, parezca roto (fig. 270), y que se halle mas cerca de la superficie de lo que en realidad está.

Por un efecto de refraccion tambien nos parece que los astros se encuentran á mayor altura en nuestro horizonte. En efecto, como

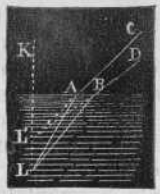


Fig. 269.

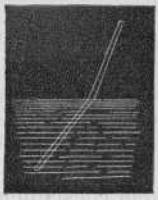


Fig. 270.

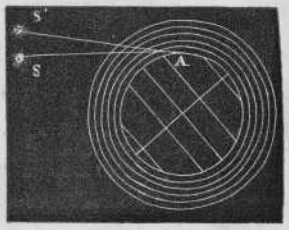


Fig. 271.

las capas de la atmósfera van siendo mas densas á medida que nos aproximamos al suelo; y como en un mismo gas crece el poder refringente con la densidad (448), resulta de ahí que, al entrar en la atmósfera, y al propagarse en ella los rayos luminosos, se quiebran (fig. 271), describiendo una curva que llega hasta el ojo, y en la direccion de la tangente á esta curva vemos el astro S′ en vez de verlo en S. En nuestros climas, la refraccion atmosférica solo hace parecer medio grado mas altos los astros.

439. **Angulo límite, reflexion total.**—Cuando un rayo luminoso pasa de un medio á otro menos refringente, como del agua al

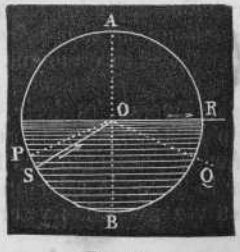


Fig. 272.

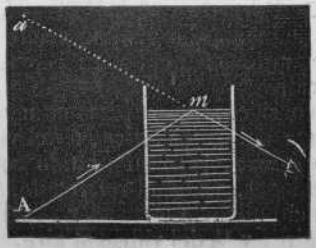


Fig. 273.

aire, el ángulo de refraccion es mayor que el de incidencia (437); de suerte que, si se propaga la luz en una masa de agua, de S á O (figura 272), hay siempre un valor del ángulo de incidencia al cual cor-

responde uno de refraccion AOR recto, ó lo que es lo mismo, el rayo refractado OR sale paralelo á la superficie del agua.

Este ángulo SOB se llama *ángulo límite*, porque, para cualquiera otro ángulo de incidencia mayor, tal como POB, el rayo incidente PO no puede dar orígen á ningun rayo refractado. En efecto, como el ángulo AOR aumenta con el SOB, el rayo OR va dirigido por OQ, es decir, que no hay refraccion en el punto O, sino una reflexion interior que se designa con el nombre de *reflexion total*, porque la luz incidente es reflejada entonces casi en totalidad. Del agua al aire vale el ángulo límite 48° 35′; y del vidrio al aire, 41° 48′.

Compruébase la reflexion interior por medio del esperimento que sigue: se coloca un objeto A delante de un vaso de vidrio lleno de agua (fig. 273), y mirando en seguida desde el otro lado del vaso la superficie del líquido de abajo arriba, se ve en *a*, encima del líquido, la imágen del objeto A, la cual está formada por los rayos reflejados en *m*.

440. **Espejismo.** — El *espejismo* es una ilusion de óptica que hace percibir, debajo del suelo ó en la atmósfera, la imágen invertida de los objetos lejanos. Obsérvase con frecuencia este fenómeno en los paises

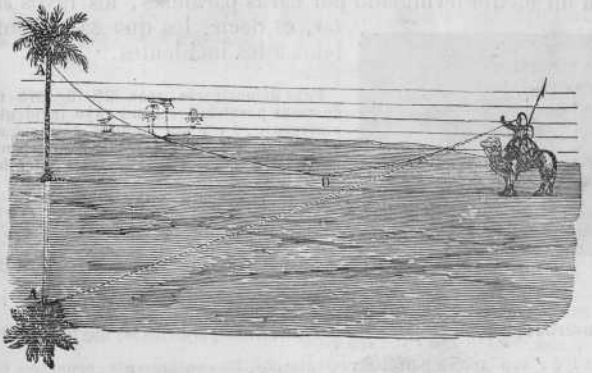


Fig. 274.

cálidos, y particularmente en las llanuras arenosas de Egipto. Presenta allí el suelo, á menudo, el aspecto de un lago tranquilo, sobre el cual se reflejan los árboles y las poblaciones inmediatas. Desde la mas remota antigüedad fué observado este fenómeno; pero Monge fué el primero que lo esplicó en la espedicion á Egipto.

El espejismo es un fenómeno de refraccion que resulta de la desigual densidad de las capas de la atmósfera cuando se hallan dilatadas por su contacto con el suelo muy calentado. Siendo entonces las capas menos densas las mas inferiores, un rayo luminoso que se dirige de un objeto elevado A sobre el suelo, atraviesa capas de menos á menos refringentes, pues pronto se verá (448) que un gas es tanto menos refringente, cuanto menor es su densidad. De aquí resulta que crece el

ángulo de incidencia de capa en capa, y al fin pasa á ser ángulo límite, mas allá del cual, en la refraccion, sucede la reflexion interior (439). Dirígese entonces el rayo luminoso hácia arriba (fig. 274), y sufre una série de sucesivas refracciones en sentido contrario á las primeras, porque va atravesando capas mas y mas refringentes. Llega, pues, el rayo luminoso al ojo del observador en la direccion que tendria si hubiese partido de un punto situado debajo del suelo, y por eso ve una imágen invertida del objeto que la emitió, cual si se hubiese reflejado en el punto O sobre la superficie del agua tranquila.

Observan á veces los navegantes en la atmósfera la imágen invertida de las costas ó de los buques lejanos. Esto es tambien un efecto de espejismo, pero que se produce en sentido contrario del primero, y tan solo cuando la temperatura del mar es inferior á la del aire, porque entonces las capas inferiores de la atmósfera son las mas densas á causa de su contacto con la superficie de las aguas.

TRASMISION DE LA LUZ AL TRAVES DE LOS MEDIOS DIAFANOS.

441. **Medios terminados por caras paralelas.** —Cuando la luz atraviesa un medio terminado por caras paralelas, los rayos *emergentes*, es decir, los que salen, son paralelos á los incidentes.

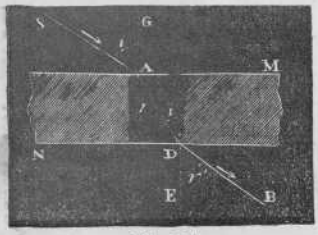


Fig. 275.

Para demostrarlo, sean MN (fig. 275) un cristal de caras paralelas, SA un rayo incidente, DB el emergente, i y r los ángulos de incidencia y de refraccion al entrar el rayo, y por último, i' y r' los mismos ángulos al salir. En A sufre la luz una primera refraccion, cuyo índice es $\frac{sen\ i}{sen\ r}$; y en D se refracta de nuevo, siendo entonces el índice $\frac{sen\ i'}{sen\ r'}$. Hemos visto (437) que el índice de refraccion del vidrio al aire es el mismo que el del aire al vidrio invertido; luego $\frac{sen\ i'}{sen\ r'} = \frac{sen\ r}{sen\ i}$. Pero siendo paralelas las dos normales AG y DE, los ángulos r é i' son iguales por alternos-internos. De consiguiente, como son iguales los numeradores de las dos razones citadas, les sucede otro tanto á los denominadores, de donde se deduce que los ángulos r' é i son iguales, y por lo mismo, DB es paralelo á SA.

442. **Prismas.** —Se entiende por *prisma*, en óptica, todo medio trasparente limitado por dos caras planas inclinadas entre sí. La interseccion de estas dos caras es una línea recta llamada *arista* del prisma, y el ángulo que comprenden es su *ángulo refringente*. Toda seccion perpendicular á la arista es su *seccion principal*. Los prismas que se usan suelen ser prismas triangulares rectos, de cristal (fig. 276), y su seccion principal es un triángulo (fig. 277). En esta seccion el punto A toma el nombre de *vértice* del prisma, y la recta BC es su *base*; espresiones que, geométricamente, no convienen al prisma, sino al triángulo ABC.

443. **Marcha de los rayos en los prismas.** —Conocidas las leyes de la refraccion, es fácil determinar la marcha de la luz en los

prismas. Sea, en efecto, un punto luminoso O (fig. 277), contenido en el plano de la seccion principal ABC de un prisma, y OD un rayo incidente. Este rayo se refracta en D, acercándose á la normal, supuesto que entra en un medio mas refringente; y en K sufre nueva refraccion, pero separándose de la normal, por pasar al aire, que es menos refringente que el cristal. Refráctase, pues, la luz dos veces

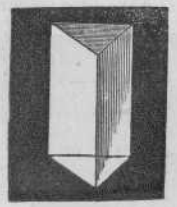


Fig. 276.

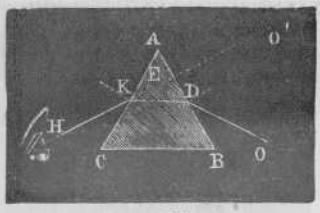


Fig. 277.

en el mismo sentido, y el ojo que recibe el rayo emergente KH ve el objeto O en O', es decir, que los *objetos, vistos al traves de un prisma, aparecen desviados hácia su vértice.* La desviacion que así imprime el prisma á la luz, se mide por el ángulo OEO' que forman entre sí los rayos incidente y emergente. Este ángulo se llama *ángulo de desviacion.*

Nótase, además, que los objetos vistos al traves de los prismas aparecen iluminados con los brillantes colores del arco iris. Pronto describirémos este fenómeno con el nombre de *dispersion* (460).

* 444. **Condicion de emergencia en los prismas.**—Los rayos luminosos que se han refractado en la primera cara de un prisma no pueden salir por la segunda, sino en tanto que el ángulo refringente del prisma es menor que el duplo del ángulo límite de la sustancia de que está formado el prisma.

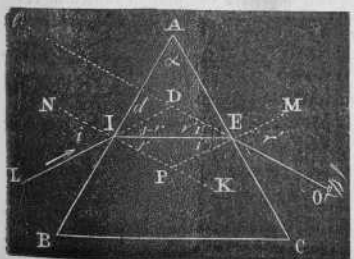


Fig. 278.

En efecto, representando por LI (fig. 278) el rayo incidente sobre la primera cara, por IE el refractado, por PI y PE las normales, se sabe que el rayo IE no puede salir por la segunda cara, sino mientras el ángulo de incidencia IEP es menor que el ángulo límite (439). Aumentando el ángulo de incidencia NIL, le sucede otro tanto al EIP, pero disminuye el IEP. Por lo mismo, cuanto mas se acerca la direccion del rayo LI á ser paralela á la cara AB, mas tiende á dar otro emergente por la segunda cara.

Si LI es paralelo á AB, el ángulo r es igual al ángulo límite l del prisma, porque tiene su valor máximum. Por otra parte, el ángulo EPK, esterior al triángulo IPE, es igual á $r+i'$; pero los ángulos EPK y A son iguales por tener sus lados perpendiculares, y de consiguiente, $A=r+i'$, y tambien $A=l+i'$, supuesto que en el caso en cuestion $r=l$. De consiguiente, si $A=2l$ ó $A>2l$, tendrémos $i'=l$, ó $i'>l$, de suerte que no es posible la emergencia por la segunda cara, sino solo reflexion interior y emergencia por la tercera cara BC. Con mayor razon aun sucederá lo mismo con rayos cuyo ángulo de incidencia sea menor que LIN, supuesto que acabamos de ver que el ángulo i' va entonces creciendo. Así, pues, en el caso en que el ángulo refringente del prisma es igual á $2l$, ó bien mayor, ningun rayo luminoso puede pasar al traves de las caras del ángulo refringente.

Como el ángulo límite del cristal vale 41° 48', el doble de este ángulo es menor que 90°, de lo cual se deduce que no pueden verse los objetos al traves de un prisma de vidrio cuyo ángulo refringente sea recto. Teniendo el ángulo límite del agua el valor de 48° 35', puede pasar la luz al traves del ángulo recto de un prisma hueco formado por tres cristales y lleno de agua.

En el caso en que el ángulo A sea menor que $2l$, hay siempre emergencia, en la segunda cara, de parte de la luz que cae sobre la primera, y la cantidad de luz que entonces pasa depende de la incidencia de los rayos directos LI. Comprendido el ángulo A entre l y $2l$, pueden salir parte de los rayos incluidos en el ángulo NIB, pero todos los del ángulo NIA esperimentan la reflexion total en la cara AC. Si $A > 0$ y $< l$, pueden pasar todos los rayos comprendidos en el ángulo NIB y parte de los del NIA.

* 445. **Desviacion minimum.** — Cuando se recibe un haz de luz solar al traves de una abertura A practicada en la corredera de una cámara oscura (fig. 279), se nota que va á proyectarse el haz en la direccion de una recta AC sobre una pantalla distante. Pero si se interpone un prisma vertical entre el orificio y la pantalla, se desvia el haz hácia la base del prisma, y va á proyectarse en D, lejos del punto C. Si se hace girar entonces el pié

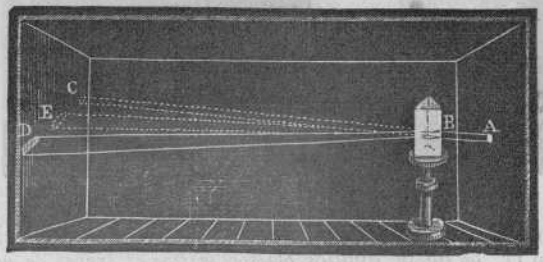


Fig. 279.

que sostiene al prisma, de manera que disminuya el ángulo de incidencia, se ve que el disco luminoso D se acerca al punto C hasta cierta posicion E, á partir de la cual vuelve sobre sí mismo, aun cuando se continúe haciendo girar al prisma en el mismo sentido. Hay, pues, una desviacion EBG menor que todas las demás; y por el cálculo se demuestra que esta *desviacion minimum* tiene lugar cuando son iguales los ángulos de incidencia y de emergencia.

Se puede determinar, por el cálculo, el ángulo de desviacion minimun, una vez conocidos el ángulo de incidencia y el refringente. En efecto, como en la desviacion minimum el ángulo de emergencia r' es igual al de incidencia i (fig. 278), es necesario que $r = i'$; pero se ha visto (444) que $A = r + i'$, luego $A = 2r$ [1]. Si se representa por d el angulo de desviacion minimum IDL, por ser este ángulo esterior al triángulo DIE, se tiene la igualdad $d = i - r + r' - i' = 2i - 2r = 2i - A$ [2], la cual da el ángulo d dados los i y A.

De las fórmulas [1] y [2] se deduce una tercera que sirve para calcular el indice de refraccion de un prisma, cuando se conocen su ángulo refringente y su desviacion minimum. Efectivamente, como el indice de refraccion es la relacion entre los senos de los ángulos de incidencia y de refraccion, si se le representa por n, se tiene $n = \frac{sen\ i}{sen\ r}$, y reemplazando i y r por sus valores deducidos de las fórmulas [1] y [2], resulta

$$n = \frac{sen\left(\frac{A+d}{2}\right)}{sen\ \frac{A}{2}} \quad [3].$$

* 446. **Medida del indice de refraccion de los sólidos.** — Por medio de la

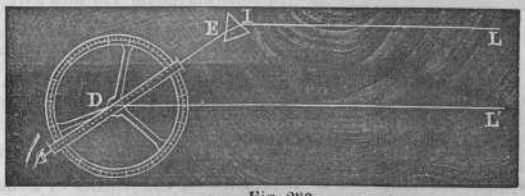


Fig. 280.

fórmula [3] se calcula con facilidad el indice de refraccion, una vez conocidos los ángulos A y d.

Para determinar primero el ángulo A, se da la forma de prisma triangular á la sustancia trasparente cuyo indice se desea averiguar, y luego se mide el ángulo A del prisma por medio de un *goniómetro* (433).

En cuanto al ángulo d, se le mide del modo siguiente: se recibe sobre el prisma un rayo LI emitido por un objeto lejano (fig. 280), y se da vuelta al prisma de modo que se obtenga la desviacion minimum ED. Midiendo entonces con un círculo provisto de anteojo el ángulo EDL′ que forma el rayo refractado DE con el DL′ que viene directamente del objeto, se obtiene el ángulo de desviacion minimum, suponiendo que el objeto está bastante lejano para que los dos rayos LI y L′D sean sensiblemente paralelos. Solo falta ya sustituir los valores de A y de d en la fórmula [3] para deducir de ella el valor del indice n.

Este procedimiento, debido á Newton, no es aplicable mas que á los cuerpos trasparentes; pero Wollaston dió otro para calcular el indice de refraccion de un cuerpo opaco, por medio de la determinacion de su ángulo limite.

* 447. **Medida del indice de refraccion de los liquidos.**—M. Biot ha aplicado el método de Newton, es decir, el del minimum de desviacion, á la investigacion del indice de refraccion de los liquidos. Al efecto, se practica, en un prisma de vidrio PQ (fig. 281), una cavidad cilíndrica O de unos dos centímetros de diámetro, y que vaya de la cara de incidencia á la de emergencia. Se cierra esta cavidad por medio de dos láminas de vidrio de caras bien paralelas que se aplican sobre las del prisma. Una pequeña abertura B, que se cierra bien con tapon esmerilado, sirve para introducir el l quido. Despues de determinados el ángulo refringente y la desviacion minimum del prisma liquido comprendido en la cavidad O, se introduce el valor de estos ángulos en la fórmula [3] del párrafo 445, y se obtiene el indice.

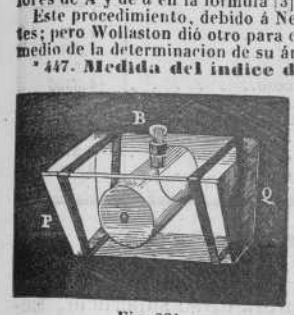


Fig. 281.

* 448. **Medida del indice de refraccion de los gases.**—Por el método de Newton tambien determinaron los señores Biot y Arago el indice de refraccion de los gases. Consta el aparato de un tubo de vidrio AB (fig. 282) tallado á bisel en sus estremidades y cerrado por dos láminas de vidrio de caras paralelas, é inclinadas entre si 143 grados. Se halla en comunicacion este tubo, por una parte, con la campana H, en la cual hay un barómetro de sifon; y por la otra, con una llave que permite hacer el vacio en el aparato é introducir en seguida en él diferentes gases. Hecho ya el vacio en el tubo AB, se procura que le atraviese un rayo de luz SA que se separa de la normal la cantidad $r-i$ en la primera incidencia, y se acerca $i'-r'$ en la segunda, de manera que, sumadas estas dos desviaciones, dan la desviacion total $d=r-i+i'-r'$. En el caso de la desviacion minimum, es $i=r'$ y $r=i'$, de donde $d=A-2i$, supuesto que $r+i'=A$ (444). El indice del vacio al aire, que es evidentemente $\frac{sen\ r}{sen\ i}$, tiene por valor

$$\frac{sen\ \frac{A}{2}}{sen\left(\frac{A-d}{2}\right)}\ [4].$$

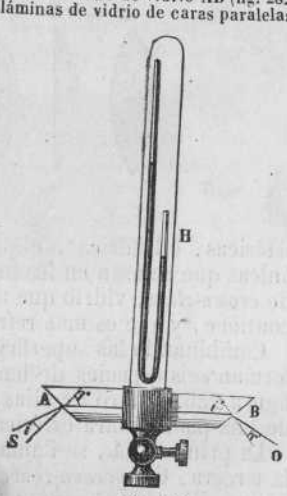


Fig. 282.

Basta, pues, conocer el ángulo refringente A y el de desviacion minimum d, para poder deducir el indice de refraccion del vacio al aire, género de indice que se designa con el nombre de *indice absoluto* ó de *indice principal*.

Para obtener el indice absoluto de un gas que no sea el aire, se le hace pasar al aparato despues de hecho en este el vacio; y midiendo en seguida los ángulos A y d, la fórmula [4] da á conocer el indice de refraccion del gas al aire. Conociendo ya el indice del vacio al aire, la relacion de estos dos indices da el de refraccion del vacio al gas dado, esto es, su indice absoluto.

Por medio de este aparato manifestaron los señores Biot y Arago que el indice de refraccion de los gases es siempre muy pequeño, comparado con los de los sólidos y de los líquidos; y que, para un mismo gas, el *poder refractivo* es proporcional á la densidad, llamando poder refractivo de una sustancia al cuadrado de su indice de refraccion menos una

unidad, es decir, la espresion $n^2 - 1$. El cociente del poder refractivo por la densidad, se llama *poder refringente*.

Tabla de los indices de refraccion absoluta.

SUSTANCIAS.	INDICES.	SUSTANCIAS.	INDICES.
Diamante.	1,755	Alcohol.	1,374
Rubi..	1,779	Albúmina.	1,360
Espato de Islandia, refr. ord..	1,6543	Eter.	1,358
— refr. estr..	1,4833	Humor acuoso..	1,3366
Flint-glass.	1,605	Cristalino.	1,384
Cuarzo, refr. ord.	1,558	Humor vitreo.	1,3394
— refr. estr..	1,548	Agua.	1,3358
Cristal de Saint-Gobain. . .	1,543	Hielo.	1,310
Crown-glass.	1,534	Aire.	1,0003

LENTES, SUS EFECTOS.

449. **Diferentes especies de lentes.** — Denomínanse *lentes* unos medios trasparentes que, atendida la curvatura de su superficie, tienen la propiedad de hacer converger ó divergir los rayos luminosos que las atraviesan. Segun sea esta curvatura, así se dice que las lentes son

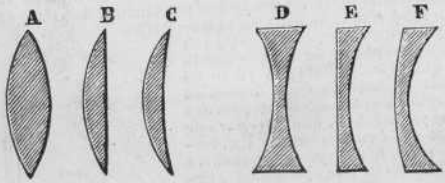


Fig. 283.

esféricas, cilíndricas, elípticas ó parabólicas. Las esféricas son las únicas que se usan en los instrumentos de óptica, y son generalmente de *crown-class*, vidrio que no contiene plomo, ó de *flint-glass*, que lo contiene, y que es mas refringente que el crown.

Combinando las superficies esféricas entre sí ó con otras planas, se forman seis especies de lentes, cuyas secciones representamos en la figura 283. Cuatro de ellas, constan de dos superficies esféricas, y dos de una plana y otra esférica.

La primera, A, se llama *bi-convexa*; la segunda, B, *plano-convexa*; la tercera, C, *cóncavo-convexa convergente*; la cuarta, D, *bi-cóncava*; la quinta, E, *plano-cóncava*; y la última, F, *cóncavo-convexa divergente*. La lente C se llama tambien *menisco convergente*, y la F *menisco divergente*.

Las tres primeras, que son mas gruesas en el centro que en los bordes, son *convergentes*, y *divergentes* las últimas, mas delgadas en el centro que en los bordes. En el primer grupo basta considerar la lente bi-convexa, y en el segundo la bi-cóncava, pues las propiedades de estas se aplican á las otras del grupo respectivo.

En las lentes cuyas dos caras son esféricas, los centros de dichas superficies se llaman *centros de curvatura*, y la recta indefinida tirada por dichos dos centros es el *eje principal*. En una lente plano-cóncava ó plano-convexa, el eje principal es la perpendicular bajada desde el centro de la cara esférica á la plana.

A fin de poder comparar la marcha de los rayos luminosos en las lentes con la que se nota en los prismas, se hace la misma hipótesis que para los espejos curvos (422), es decir, que se suponen las superficies de las lentes constituidas por una infinidad de elementos planos infinitamente pequeños; y la normal es entonces, en un punto cualquiera, la perpendicular al plano tangente que contiene al elemento correspondiente. En geometría se demuestra que todas las normales á una misma superficie esférica van á pasar por su centro. En la hipótesis citada, pueden concebirse siempre, en los puntos de incidencia y de emergencia, dos superficies planas mas ó menos inclinadas entre sí, y que producen de esta suerte el efecto del prisma. Continuando esta comparacion, es permitido asemejar las tres lentes A, B, C, á una série de prismas reunidos por sus bases, y las D, E, F, á una série de prismas reunidos por sus vértices; y esto esplica por qué las primeras deben aproximar los rayos, y alejarlos las segundas, supuesto que se ha visto que, cuando un rayo luminoso atraviesa un prisma, se desvia hácia la base (443).

450. **Focos en las lentes bi-convexas.** — En las lentes, lo mismo que en los espejos, los *focos* son unos puntos á los cuales van á

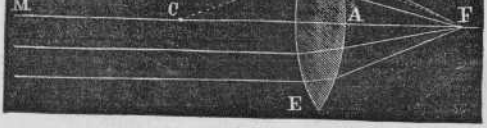


Fig. 284.

concurrir los rayos refractados ó sus prolongaciones. Las lentes biconvexas presentan las mismas especies de focos que los espejos cóncavos, á saber: principal, conjugado y virtual.

1.ª *Foco principal.* — El foco principal es el que forman los rayos que, antes de la incidencia, son paralelos al eje principal (fig. 284). En este caso, todo rayo incidente LB, aproximándose á la normal en el punto de incidencia B, y separándose de ella en el punto de emergencia D, se refracta dos veces hácia el eje, al cual corta en F. Como todos los rayos paralelos al eje se refractan de la misma manera, van á pasar sensiblemente por el mismo punto F, mientras el arco BE no esceda de 10 á 12 grados. Este punto es el *foco principal*, y la distancia FA la *distancia focal principal*. Esta es constante para una misma lente, pero variable con el radio de curvatura y el índice de refraccion. En

las lentes ordinarias, que son de crown, el foco principal coincide muy aproximadamente con el centro de curvatura.

2.ª *Foco conjugado.*—El foco conjugado depende de los rayos emitidos por un objeto mas alejado de la lente que su foco principal, pero

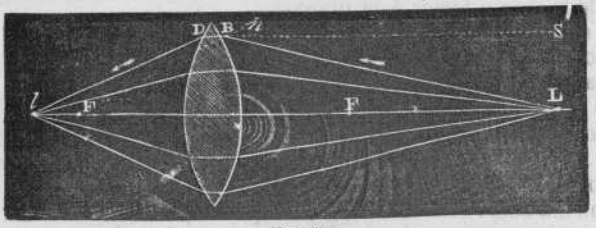


Fig. 285.

á una distancia bastante pequeña para que los rayos incidentes no sean paralelos. En este caso, sea L (fig. 285) el punto de donde emanan los rayos luminosos: si se compara la marcha del rayo divergente LB con la del SB, paralelo al eje, se reconoce que el primero forma con la normal un ángulo LB*n* mayor que el SB*n*, y su ángulo de refraccion ha de ser tambien mayor, de manera que, despues de haber atravesado la lente, encuentra al eje en un punto *l* mas lejano que el foco principal F. Como todos los rayos que parten del punto L van á concurrir sensiblemente al mismo punto *l*, este último es el *foco conjugado* del L. Esta denominacion espresa aquí, lo mismo que en los espejos, la relacion que existe entre los dos puntos L y *l*, relacion tal, que, si se lleva á *l* el punto luminoso, pasa recíprocamente á L el foco.

A medida que se aproxima á la lente el objeto L, aumenta la divergencia de los rayos emergentes y se aleja el foco *l*; y cuando el ob-

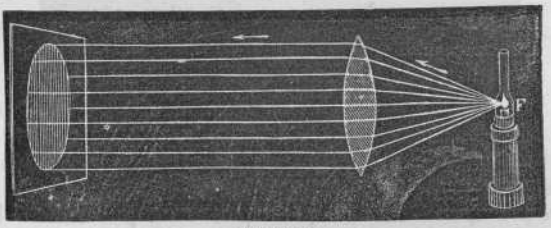


Fig. 2 6.

jeto L coincide con el foco principal, los rayos emergentes, en el otro lado de la lente, son paralelos al eje, y entonces no hay foco, ó, lo que es lo mismo, se forma en el infinito. En tal caso, siendo paralelos los rayos refractados, decrece con mucha lentitud la intensidad de la luz, en términos de que un solo farol puede alumbrar entonces á grandes distancias. Basta para esto colocarle en el foco de una lente bi-convexa (fig. 286).

3.ª *Foco virtual.* — En las lentes bi-convexas, el foco es virtual cuando el objeto luminoso L se halla situado entre la lente y el foco principal (fig. 287), pues, formando los rayos incidentes LI con la normal ángulos mayores que los que constituyen los rayos FI emitidos

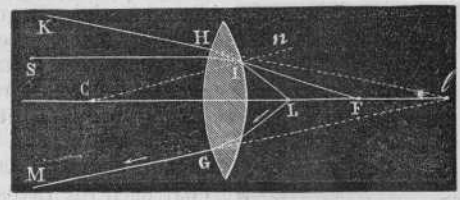


Fig. 287.

desde el foco principal, resulta de aquí que, despues de la emergencia, los primeros se apartan del eje mas que los últimos, y forman un haz divergente HK, GM. Estos rayos no pueden, pues, dar orígen á ningun foco real; pero sus prolongaciones concurren en un mismo punto *l* situado sobre el eje. Este punto es el foco virtual de L (417).

451. **Focos en las lentes bi-cóncavas.** — Con las lentes bi-cóncavas no se forman mas que focos virtuales, sea cual fuere la distancia del objeto. Supongamos, en primer lugar, un haz de rayos paralelos al eje: un rayo cualquiera SI (fig. 288) se refracta en el punto de incidencia I, acercándose á la normal CI; y en el de emergencia G

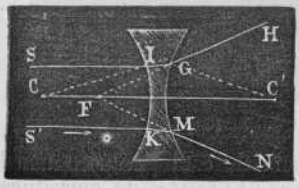


Fig. 288.

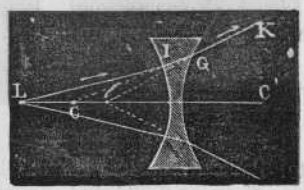


Fig. 289.

se refracta de nuevo, pero separándose de la normal GC', de suerte, que se quiebra dos veces en el mismo sentido para alejarse del eje CC'. Verificándose lo propio con cualquiera otro radio S'KMN, resulta de ahí que, despues de haber atravesado la lente, forman los rayos un haz divergente GH, MN. No puede haber, pues, en ella foco real, pero las prolongaciones de estos rayos se encuentran en un punto F, que es el foco virtual principal.

En el caso de partir los rayos de un punto L (fig. 289) situado sobre el eje, se ve, por la misma construccion, que se forma un foco virtual en *l*, entre el principal y la lente.

452. **Determinacion esperimental del foco principal de las lentes.** — Para determinar el foco principal de una lente bi-convexa, basta esponerla á los rayos solares, cuidando de que su eje principal les sea paralelo. Recibiendo entonces, sobre una lámina de vidrio

deslustrado, el haz emergente, se determina con facilidad el punto en que concurren los rayos. Este punto es el foco principal.

Si la lente es bi-cóncava, se cubre la cara *a*D*b* (fig. 290) con un cuerpo opaco, con negro de humo, por ejemplo, dejando, en un mismo plano meridiano y á igual distancia del eje, dos pequeños discos *a* y *b*, no ennegrecidos, que dan paso á luz; y luego se recibe sobre la otra cara de la lente, paralelamente al eje, un haz de luz solar, avanzando ó alejando la lámina P sobre la cual caen los rayos emergentes, hasta que las imágenes A y B de las pequeñas aberturas *a* y *b* disten entre sí doble que *ab*. El intervalo DI es entonces igual á la distancia focal FD, á causa de la semejanza de los triángulos F*ab* y FAB.

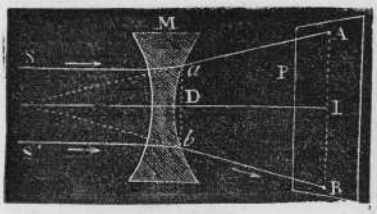


Fig. 290.

453. Centro óptico, ejes secundarios. — En toda lente hay un punto denominado *centro óptico*, situado sobre el eje, y con la propiedad de que todos los rayos luminosos que pasan por él no sufren la desviacion angular, es decir, que el rayo emergente es paralelo al

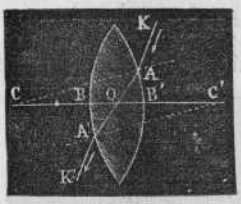


Fig. 291.

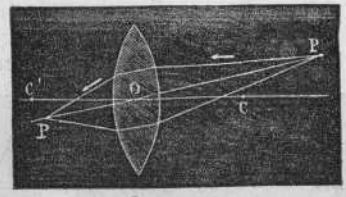


Fig 292.

incidente. Para demostrar la existencia de este punto en una lente biconvexa, tiremos á sus dos superficies dos radios de curvatura paralelos CA y C'A' (fig. 291). Los dos elementos planos que corresponden á la superficie de la lente, en A y A', son paralelos entre sí por ser perpendiculares á dos rectas paralelas, y por lo mismo puede admitirse que el rayo refractado KAA'K' se propaga en un medio de caras paralelas. Por lo tanto, el rayo que va á A con la debida inclinacion, para que despues de refractado siga la direccion AA', debe salir paralelo á su primera direccion (441); y el punto O, en que la recta AA' corta al eje, es, pues, el centro óptico. Para determinar la posicion de este punto, en el caso de ser igual la curvatura de ambas caras, que es lo regular, basta tener presente que son iguales los triángulos COA y C'OA', y que OC=OC', con lo que se conoce el punto O. Si son desiguales las curvaturas, son semejantes los triángulos COA y C'OA', deduciéndose de ellos CO ó C'O, y de consiguiente, el punto O.

En las lentes bi-cóncavas ó cóncavo-convexas, se determina el cen-

tro óptico por medio de la misma construccion anterior. En las lentes que tienen una cara plana, se encuentra este punto en la interseccion misma del eje por la cara curva.

Toda recta PP′ (fig. 292) que pasa por el centro óptico, mas no por los centros de curvatura, es un *eje secundario*. Segun la propiedad del centro óptico, todo eje secundario representa un rayo luminoso que pasa por este punto; porque, atendido el pequeño espesor de las lentes, se puede admitir que los rayos que pasan por el centro óptico continúan en línea recta, es decir, que se desprecia la escasa desviacion que sufren los rayos, sin que por esto dejen de quedar paralelos cuando atraviesan un medio de caras paralelas (fig. 275).

Mientras los ejes secundarios no forman con el principal mas que un pequeño ángulo, se les puede aplicar todo cuanto se ha dicho hasta ahora de este último; es decir, que los rayos emitidos de un punto P (fig. 292), situado sobre un eje secundario PP′, van á concurrir, con corta diferencia, en un mismo punto P′ de este eje, y segun la distancia del punto P á la lente sea mayor ó menor que la distancia focal principal, así el foco que de esta suerte se forma es conjugado ó virtual. Este principio es la base de todo cuanto va á seguir acerca de la formacion de las imágenes.

454. Formacion de las imágenes en las lentes bi-convexas. —En las lentes, lo mismo que en los espejos, la imágen de un objeto es el conjunto de los focos de cada uno de sus puntos; de donde resulta que las imágenes que producen las lentes son reales ó virtuales en

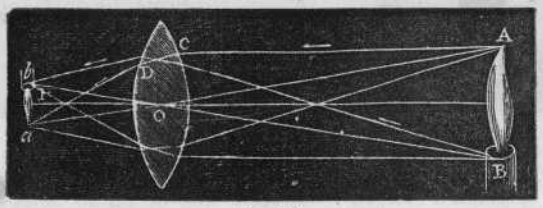


Fig. 293.

los mismos casos que los focos, y que su construccion se reduce á buscar una série de puntos, conforme se ha visto ya en los espejos (426).

1.° *Imágen real.* —Supongamos primero el caso en que, siendo biconvexa la lente, el objeto AB (fig. 293) se halla situado mas allá del foco principal. Si se tira el eje secundario A*a* del punto estremo A, cualquiera rayo AC, emitido de este punto, se refracta en C y en D, dos veces en el mismo sentido, acercándose al eje secundario que va á cortar en *a*. Como los otros rayos emitidos del punto A van, segun lo dicho en el párrafo anterior, á concurrir tambien en *a*, este punto es el foco conjugado del A. Si se tira ahora el eje secundario del punto B, se nota tambien que los rayos que este emite van á formar su foco en *b*; y como los puntos situados entre A y B tienen evidentemente su foco entre *a* y *b*, se forma en *ab* una imágen *real é invertida* del objeto AB.

Para ver esta imágen, es preciso recibirla sobre una pantalla blanca que la refleje, ó situar el ojo en la direccion de los rayos emergentes.

Recíprocamente, si *ab* fuese el objeto luminoso ó iluminado que emite rayos, iria á formarse en AB su imágen. Síguense de aquí dos importantes consecuencias, que deben tenerse presentes para la teoría de los instrumentos de óptica que mas adelante describirémos: 1.ª *Si un objeto, por muy grande que sea, dista bastante de una lente bi-convexa, la imágen real é invertida que de él se obtiene es muy pequeña, está muy aproximada al foco principal, y un poco mas allá de este punto con relacion á la lente:* 2.ª recíprocamente, *si un objeto muy pequeño se halla situado cerca del foco principal, un poco delante de este punto, la imágen que va á formarse á gran distancia es muy amplificada, y tanto mas, cuanto mas cerca se encuentra el objeto del foco principal.* Estos dos principios se comprueban esperimentalmente con la mayor facilidad, recibiendo, sobre una pantalla, en la oscuridad, la imágen de la llama de una vela colocada sucesivamente á distancias variables mas allá de una lente bi-convexa.

2.° *Imágen virtual.* — Si el objeto AB (fig. 294) se halla entre la lente y su foco principal, tirando el eje secundario O*a* del punto A, cual-

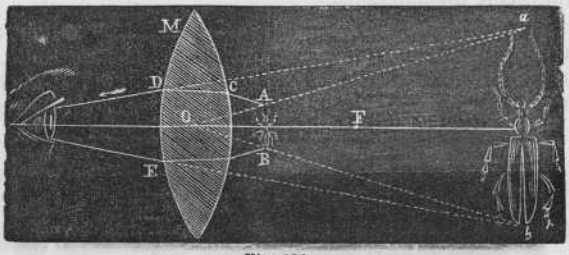


Fig. 294.

quiera rayo AC, despues de haberse refractado dos veces, sale divergente con relacion á este eje, supuesto que el punto A se encuentra situado á una distancia menor que la focal (450, 3.°). Este rayo, prolongado en sentido contrario de su direccion, va, pues, á cortar el eje O*a* en un punto *a*, que es el foco virtual del A. Tirando el eje secundario del punto B, se nota tambien que el foco virtual de este punto se forma en *b*. Se tiene, pues, en *ab* la imágen de AB. *Esta imágen es recta, virtual y mayor que el objeto.*

El aumento es tanto mas considerable, cuanto mas convexa es la lente, y cuanto mas cerca está el objeto del foco principal. Pronto verémos cómo puede calcularse este aumento por medio de las fórmulas relativas á las lentes (459). Las lentes bi-convexas, empleadas así como vidrios de aumento, toman el nombre de *lentes* ó de *microscopios simples* (472).

455. **Formacion de las imágenes en las lentes bi-cóncavas.** — Las lentes bi-cóncavas, así como los espejos convexos, no dan mas que imágenes virtuales, sea cual fuere la distancia del objeto.

Sea, en efecto, un objeto AB (fig. 295), situado delante de una de las lentes citadas. Si se principia por tirar el eje secundario del punto A, todos los rayos AC, AI, emitidos desde este punto, se refractan dos veces en el mismo sentido para separarse del eje AO; de suerte que el ojo que recibe los rayos emergentes DE y GH, los cree que parten del punto en que sus prolongaciones van á encontrar en *a* al eje secundario AO. De igual manera, trazando el eje secundario del punto B, los rayos que este emite forman un haz divergente, cuyas direcciones prolongadas concurren en *b*. El ojo ve, pues, en *ab* una imágen virtual de AB, *la cual es siempre recta y menor que el objeto.*

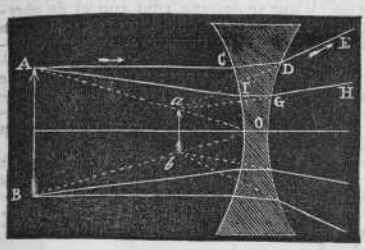


Fig. 295.

436. **Regla general para la construccion de las imágenes en las lentes.** — Formularémos aquí, para la construccion de las imágenes en las lentes, una regla análoga á la que hemos dado ya para los espejos (428); pero antes conviene observar bien que, así como un punto situado sobre el eje principal tiene su imágen sobre este eje, de igual manera uno situado sobre un eje secundario tiene tambien su imágen sobre este último. Obsérvese, además, que solo los rayos emanados de un mismo punto dan la imágen en aquel en el cual se cortan, pues los rayos que parten de puntos distintos no producen jamás imágen por su interseccion. Ahora bien, considerando primero el caso de una lente bi-convexa, y suponiendo el objeto mas allá del foco principal, se obtiene la imágen por medio de la siguiente construccion:

1.° *Por el punto dado y por el centro óptico de la lente se tira un eje secundario;* 2.° *tírese un rayo incidente desde el punto dado á la lente;* 3.° *únase el punto de incidencia con el centro de curvatura por medio de una recta que representa la normal;* 4.° *acérquese á la normal el rayo refractado la cantidad marcada por el índice de refraccion del aire al vidrio;* 5.° *trácese la normal del punto de emergencia, y* 6.° *por fin, tírese el rayo emergente, separándole de la normal la cantidad que indica el índice de refraccion del vidrio al aire. El rayo emergente que así se obtiene va á cortar al eje secundario en un punto que es el sitio de la imágen real del punto dado.* Aplicando la misma construccion á cada punto de un objeto situado delante de una lente, se obtendrá siempre su imágen.

Si se halla el objeto entre la lente y el foco principal, no varían las construcciones, sin mas diferencia que no son los rayos emergentes los que encuentran á los ejes secundarios, sino sus prolongaciones. Lo propio debe advertirse en las lentes bi-cóncavas.

* 437. **Aberracion de esfericidad, cáusticas.** — En la teoría de los focos y de las imágenes que producen las diferentes especies de lentes esféricas se ha admitido hasta aquí que los rayos emanados de un mismo punto iban, despues de refractados, á concurrir

muy sensiblemente en un punto único. Así sucede efectivamente cuando la abertura de la lente es decir, el ángulo que se obtiene uniendo sus bordes con el foco, no pasa de 10 á 12 grados. Si la abertura es mayor, los rayos que atraviesan la lente cerca de los bordes tienen su punto de concurso á menor distancia que los que la atraviesan cerca del eje, esto es, se produce un fenómeno análogo al que se ha observado en los espejos (432) con el nombre de aberracion de esfericidad por reflexion, y que se designa aquí con el de *aberracion de esfericidad por refraccion*. Las superficies brillantes que entonces se forman en el espacio por la interseccion de los rayos refractados, se llaman *cáusticas por refraccion*.

La aberracion de esfericidad perjudica la limpieza de las imágenes; pero se obvia este defecto de las lentes, colocando delante diafragmas con una abertura central que deje pasar los rayos que se dirigen hácia el centro, pero interceptando los que tienden á refractarse hácia los bordes. Por lo demás, combinando dos lentes de curvaturas convenientes se consigue corregir la aberracion de esfericidad.

* 458. **Fórmulas relativas á las lentes.**—En toda lente puede traducirse en ecuacion la relacion que existe entre la distancia de la imágen, la del objeto, los radios de curvatura y el índice de la sustancia que constituye la lente. En el caso en que sea bi-convexa la lente, llamemos P al punto luminoso situado sobre el eje (fig. 296), PI un rayo incidente, IE su direccion en el interior de la lente, EP′ el rayo emergente, de suerte que P′

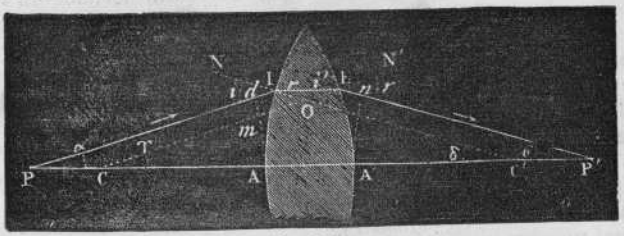


Fig. 296.

es el foco conjugado de P. Sean, además, C′I y CE las normales á los puntos de incidencia y de emergencia, y hagamos IPA $=\alpha$, EP′A′ $=\sigma$, ECA′ $=\gamma$, IC′A $=\delta$, NIP $=i$, EIO $=r$, IEO $=i'$, N′EP′ $=r'$.

Siendo esteriores los ángulos i y r', el uno al triángulo PIC′, y el otro al CEP′, se tiene $i=\alpha+\delta$ y $r'=\gamma+\sigma$, de donde $i+r'=\alpha+\sigma+\gamma+\delta$ [1]. En el punto I se tiene $sen\ i=n\ sen\ r$, y en E $sen\ r'=n\ sen\ i'$ (437); pero, suponiendo el arco AI de pequeño número de grados, les sucede otro tanto á los ángulos i, r, i' y r', y es posible reemplazar en la fórmula anterior los senos por sus arcos, es decir, $i=nr$ y $r'=ni'$, de donde $i+r'=n(r+i')$. Por otra parte, los dos triángulos IOE y COC′ tienen igual el ángulo O, y por lo tanto, $r+i'=\gamma+\delta$, de donde $i+r'=n(\gamma+\delta)$. Sustituyendo este valor en la ecuacion [1], se obtiene $n(\gamma+\delta)=\alpha+\sigma+\gamma+\delta$, ó $(n-1)(\gamma+\delta)=\alpha+\sigma$ [2].

Ahora bien, si se concibe que los arcos α y γ estén descritos desde los puntos P y C como centros con un radio igual á la unidad, y si desde el punto P se traza el arco dA con el radio PA, se tienen las proporciones $\frac{\alpha}{Ad}=\frac{1}{PA}$, y $\frac{\gamma}{A'E}=\frac{1}{CA'}$; de donde

$$\alpha=\frac{Ad}{AP} \text{ y } \gamma=\frac{A'E}{CA'}, \text{ ó } \alpha=\frac{AI}{p} \text{ y } \gamma=\frac{A'E}{R},$$

haciendo AP $=p$, CA′ $=$ R, y reemplazando el arco Ad por el AI, que le es sensiblemente igual. Si se suponen en la otra cara de la lente los arcos σ y δ, descritos tambien con un radio igual á la unidad, y el A′n con el radio P′A′, haciendo C′A $=$ R′ y A′P′ $=p'$, se obtiene igualmente

$$\delta=\frac{AI}{R'} \text{ y } \sigma=\frac{A'n}{P'A'}=\frac{A'E}{p'}.$$

Introduciendo estos valores en la ecuacion [2], resulta

$$(n-1)\left(\frac{A'E}{R}+\frac{AI}{R'}\right)=\frac{AI}{p}+\frac{A'E}{p'}.$$

Si se admite que los arcos A′E y AI sean iguales, lo que se aproxima tanto mas á la verdad, cuanto menos se separan del eje los rayos incidentes, se puede suprimir el factor comun, y resulta

$$(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)=\frac{1}{p}+\frac{1}{p'} \text{ [3].}$$

Tal es la fórmula de las lentes bi-convexas. Si $p=\infty$, será

$$\frac{1}{p'}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right),$$

designando entonces p' la distancia focal principal. Representando esta por f, se obtiene

$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right) \quad [4],$$

ecuacion que con la mayor facilidad puede darnos el valor de f. Atendiendo á la fórmula [4], toma la [3] la forma $\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}$ [5], que es aquella bajo la cual se la considera ordinariamente.

Cuando la imágen es virtual, muda de signo p', y la fórmula [5] es entonces

$$\frac{1}{p}-\frac{1}{p'}=\frac{1}{f} \quad [6].$$

En las lentes bi-convexas p' y f conservan el mismo signo, pero no p, y entonces la fórmula [5] pasa á ser $\frac{1}{p}-\frac{1}{p'}=-\frac{1}{f}$ [7].

Por lo demás, la fórmula [7] puede obtenerse por los mismos razonamientos anteriores.

459. **Medida del aumento.**—El aumento que da una lente se deduce con la mayor facilidad de la fórmula [6], que se aplica á la imágen virtual. En efecto, siendo AB el objeto, y formándose en ab su imágen (fig. 294), si se concibe una recta de A á B y otra de a á b, resultan dos triángulos semejantes Oab y OAB, que dan la proporcion: $\frac{ab}{AB}=\frac{p'}{p}$. El aumento no es mas que la relacion $\frac{ab}{AB}$, que puede representarse tambien por la $\frac{p'}{p}$. De consiguiente, basta deducir esta última de la ecuacion $\frac{1}{p}-\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}$, que conduce á esta:

$$\frac{p'}{p}=\frac{f}{f-p}.$$

El aumento es, pues, igual á $\frac{f}{f-p}$.

CAPITULO IV.

DISPERSION Y ACROMATISMO.

460. **Descomposicion de la luz blanca, espectro solar.**—El fenómeno de la refraccion no es tan sencillo como hasta ahora se ha supuesto; pues la luz *blanca*, es decir, la que nos llega del sol, al pasar de un medio á otro, no solo se desvia, sino que *se descompone en muchas especies de luces*, fenómeno que se conoce con el nombre de *dispersion*.

Para demostrar que la luz blanca se descompone por efecto de la refraccion, se recibe en una cámara oscura un haz de luz solar SA (fig. 297), al traves de un pequeño orificio practicado en la corredera. Este haz tiende á ir á formar en K una imágen redonda é incolora del sol; pero si se interpone en su paso un prisma de flint-glass P, dispuesto horizontalmente, al entrar y al salir de este, el haz se refracta hácia la base, y, en vez de una imágen redonda é incolora, se

recibe en una pantalla lejana una imágen H, que en la direccion horizontal tiene la misma dimension que el haz primitivo, pero oblonga en el sentido vertical, y colorada con las hermosas tintas del arco iris. Esta imágen colorada se llama *espectro solar*. Hay, en realidad, en el espectro una infinidad de colores; pero solo se distinguen siete principales, dispuestos, á contar desde el mas refrangible, en el órden siguiente: *violado, añil, azul, verde, amarillo, naranjado* y *rojo*. No todos tienen en el espectro igual estension, pues el violado es el mas ancho, y el naranjado el menos.

Con prismas diáfanos de diferentes sustancias, ó con prismas de vidrio huecos, llenos de diversos líquidos, se obtienen constantemente espectros formados por los mismos colores y en el mismo órden; pero

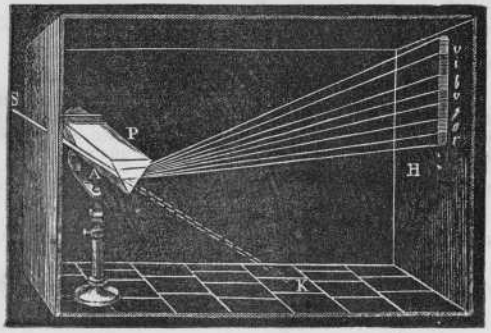


Fig. 297.

en igualdad de ángulo refringente, la longitud del espectro varía con la sustancia de que está formado el prisma. Los que le dan mas estension se llaman *dispersivos*, y la dispersion se mide por la diferencia de los índices de refraccion de los rayos estremos del espectro. Para el flint-glass llega á 0,0433 esta diferencia; para el crown-glass á 0,0246; de suerte que la dispersion del primero es doble de la del segundo.

En prismas de una misma sustancia decrece la dispersion con el ángulo refringente; porque si fuese nulo este ángulo, serian paralelas las caras de incidencia y de emergencia, y no se descompondria la luz.

En los espectros que dan las luces artificiales no se observan otros colores que los del espectro solar, y su órden es el mismo, pero en general faltan algunos. Tambien se modifica mucho su intensidad relativa. La tinta que domina en una llama artificial, es la misma que domina en su espectro. Las llamas amarillas, rojas, verdes, dan espectros en los cuales el color dominante es el amarillo, el rojo, el verde.

Para producir un espectro solar cuyos siete colores principales estén bastante bien separados, no debe pasar de algunos milímetros de

diámetro el orificio que da paso á la luz solar; y si el ángulo refringente del prisma vale 60 grados, la pantalla que reciba el espectro ha de distar de 5 á 6 metros.

461. **Los colores del espectro son simples y desigualmente refrangibles.** — Si se aisla uno de los colores del espectro, interceptando los demás por medio de una pantalla E (fig. 298), y si se le hace pasar al traves de un segundo prisma B, aun se observa una desviacion, pero la luz queda idénticamente la misma, es decir,

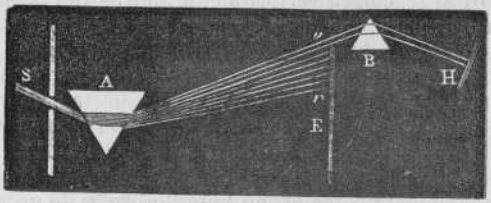


Fig. 298.

que la imágen recibida en la pantalla H es roja, si se dejó pasar el haz rojo, y azul si fué el azul; quedando así demostrado que los colores del espectro son *simples*, esto es, indescomponibles por el prisma.

Además, los colores del espectro son desigualmente *refrangibles*, es decir, poseen índices de refraccion distintos. La forma prolongada del espectro bastaria para demostrar la desigual refrangibilidad de los colores simples, pues es evidente que el violado, que es el que mas se desvia hácia la base del prisma (fig. 297), es tambien el mas refrangible; y el rojo, ó sea el menos desviado, el menos refrangible.

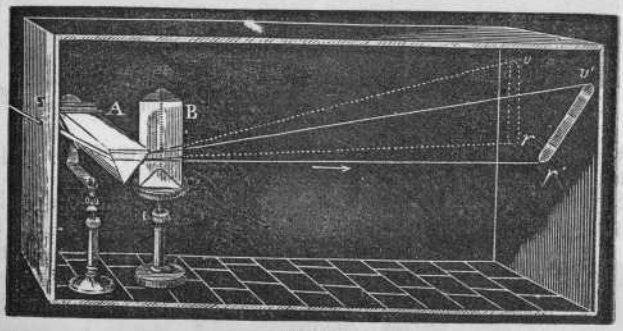


Fig. 299.

Pero es fácil demostrar, además, la desigual refrangibilidad de los colores simples por medio de varios esperimentos. Citarémos los dos siguientes:

1.° Se pegan sobre un carton negro, á continuacion la una de la otra, dos tiritas estrechas de papel, roja la primera y violada la se-

gunda; y mirándolas luego al traves de un prisma, se las ve desviadas todas dos, pero con desigualdad, pues la roja lo está menos que la violada; lo cual demuestra que los rayos rojos son los menos refractados.

2.° El segundo esperimento se hace con los prismas cruzados de Newton. Sobre un primer prisma A (fig. 299), dispuesto horizontalmente, se recibe un haz de luz blanca S que, cuando no atraviesa mas que el prisma A, va á formar el espectro *rv* sobre una pantalla distante; pero, si se coloca verticalmente detrás del primero un segundo prisma B, para que le atraviese el haz refractado, se desvia entonces el espectro *vr* hácia la base del prisma vertical. Mas entonces, en vez de ser paralelo á sí mismo, conforme se notaria si se refractasen con igualdad todos los colores del espectro, lo efectúa oblícuamente en *r'v'*; viéndose así que, á partir del rojo al violeta, son los colores mas y mas refrangibl s.

Estos diversos esperimentos demuestran que el índice de refraccion varía para cada color; y además, no todos los rayos de un mismo color tienen igual índice. En efecto, en la zona roja, por ejemplo, los rayos que corresponden á la estremidad del espectro están menos refractados que los próximos á la zona naranjada. En los cálculos de los índices de refraccion (446), se ha convenido en tomar por índice de una sustancia el del rayo amarillo en el espectro formado por dicha sustancia.

462. **Recomposicion de la luz blanca.** — Descompuesta la luz blanca, faltaba saber si se la podia reproducir reuniendo los diversos

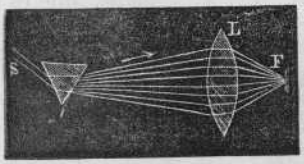


Fig. 300.

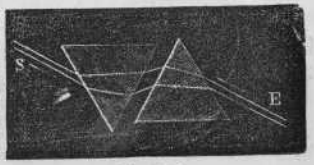


Fig. 301.

haces separados por el prisma. Por muchos procedimientos se puede verificar esta recomposicion.

1.° Si se recibe el espectro sobre un segundo prisma de ángulo refringente igual al del primero, y vuelto en sentido contrario (fig. 301), reune este último prisma los diferentes colores del espectro, y el haz emergente E, paralelo al incidente S, es incoloro.

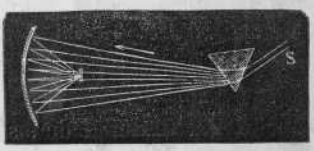


Fig. 302.

2.° Se recibe el espectro sobre una lente bi-convexa L (fig. 300), y, colocando una pantalla blanca en su foco, se recoge en él una imágen blanca del sol. Un globo de vidrio lleno de agua produciria el mismo efecto que la lente.

3.° Se hace llegar el espectro á un espejo cóncavo (fig. 302), y en

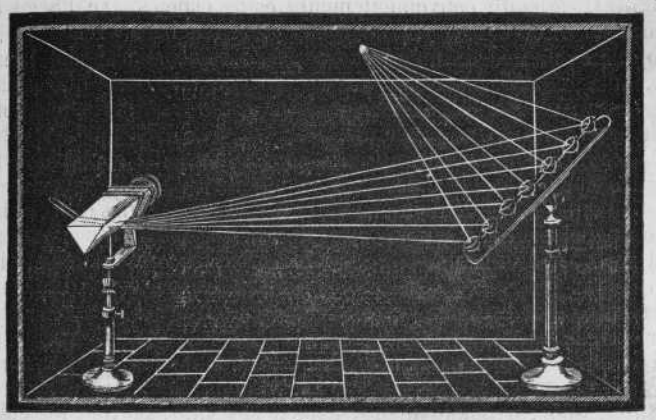


Fig. 303.

el foco, sobre una lámina de vidrio deslustrado, se forma una imágen blanca.

4.° Se recompone tambien la luz por medio de un bonito esperimento, que consiste en recibir los siete colores del espectro respecti-

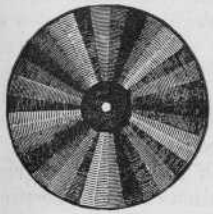


Fig. 304.

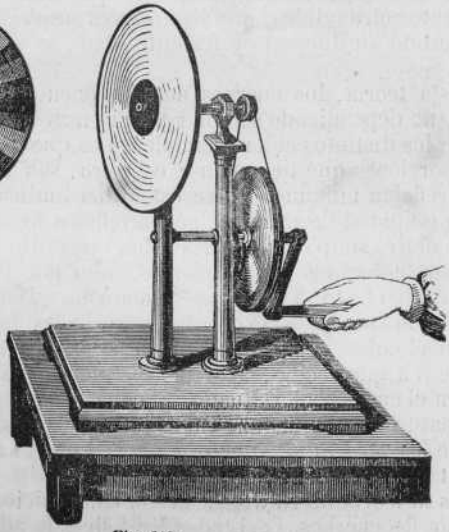


Fig. 305.

vamente sobre siete pequeños espejos de vidrio, de caras bien paralelas, á fin de que no descompongan la luz, y que puedan inclinarse en

todos sentidos para dirigir la luz reflejada al punto que se desee (figura 303). Dirigiendo convenientemente estos espejos, se hacen caer primero sobre el techo, por ejemplo, los siete haces reflejados, de modo que formen siete imágenes distintas, roja, anaranjada, amarilla.... Luego, haciendo mover los espejos de tal suerte que las siete imágenes vayan á sobreponerse con exactitud, se obtiene entonces una imágen única, que es blanca.

5.° Por fin, se demuestra que los siete colores del espectro forman el blanco por medio del disco de Newton. En un disco de carton, de unos 35 centímetros de diámetro, el centro y los bordes están cubiertos con papel negro, y en el intervalo estan pegadas varias tiras de papel rojas, anaranjadas, amarillas, verdes, azules, añiles y violetas, que van del centro á la circunferencia, de suerte que imitan circularmente cinco espectros sucesivos por la naturaleza de los colores y por su estension relativa (fig. 304). Dando á este disco un rápido movimiento de rotacion, recibe simultáneamente la retina la impresion de los siete colores del espectro, y entonces aparece blanco el disco (fig. 305), ó por lo menos blanco agrisado, porque los colores que lo cubren no son exactamente los del espectro.

463. Teoría de Newton sobre la composicion de la luz y sobre el color de los cuerpos. — Newton fué el primero que descompuso la luz blanca por medio del prisma, recomponiéndola luego. De los diversos esperimentos que hemos dado á conocer, dedujo que la luz blanca no es homogénea, sino que consta de siete luces desigualmente refrangibles, que llamó luces *simples ó primitivas*, y que, en virtud de su diferente refrangibilidad, se separan al atravesar el prisma.

En esta teoría, los cuerpos descomponen tambien la luz por reflexion, no dependiendo su color propio mas que de su poder reflejante de los distintos colores simples. Los que los reflejan todos, en las proporciones que tienen en el espectro, son blancos, y negros los que no reflejan ninguno. Entre estos dos límites estremos se presentan una infinidad de matices, segun reflejan los cuerpos mas ó menos ciertos colores simples y absorben los otros. De suerte que los cuerpos no son colorados por sí mismos, sino por la especie de luz que reflejan. En efecto, si en una cámara oscura se ilumina sucesivamente un mismo cuerpo con cada una de las luces del espectro, no se ve en él color propio, pues como no puede reflejar mas que la especie de luz que recibe, aparece rojo, anaranjado, amarillo... segun el haz en el cual se halla situado. El color de los cuerpos varía tambien con la naturaleza de la luz Tal es lo que puede notarse con la luz del gas y de las velas, que, por dominar en ella el amarillo, comunican esta tinta á los objetos que ilumina.

Tal es la teoría de Newton sobre la composicion de la luz y la coloracion de los cuerpos. Casi todos los físicos la admiten. Algunos, sin embargo, no admiten siete colores simples. M. Brewster, profesor de Edimburgo, solo reconoce tres, que son : el rojo, el amarillo y el azul. Habiendo analizado el espectro solar, mirándolo al traves de

las sustancias coloradas que no dan paso mas que á ciertos colores absorbiendo los otros, notó este sabio que en todos los puntos del espectro habia rojo, amarillo y azul. Fundado en esto, supuso que el espectro solar constaba de tres espectros superpuestos, de igual estension, rojo el uno, amarillo el otro y azul el tercero, y que todos tres tienen su máximum de intensidad en diferentes puntos, resultando de aquí las diversas tintas. Los físicos franceses no han adoptado esta teoría.

464. **Colores complementarios.** — Denominó Newton *colores complementarios*, los que, reunidos, forman el blanco. El verde es complementario del rojo violado, el azul del naranjado, el violeta del amarillo. Un color cualquiera tiene siempre su color complementario, porque, no siendo blanco, le faltan algunos de los colores del espectro para formar luz blanca. La mezcla de estos debe dar, pues, uno complementario del primero.

465. **Propiedades del espectro.**—Distínguense en los colores del espectro propiedades iluminantes, caloríficas y químicas.

1.° *Propiedades iluminantes.* — De los esperimentos de Fraünhofer y de Herschell se deduce que en el amarillo existe el máximum de intensidad de la luz, y el mínimum en el violeta.

2.° *Propiedades caloríficas.* —La intensidad del calor refractado, juntamente con los rayos solares, varía en el espectro. Leslie fué el primero en hacer ver que crece del violeta al rojo; Herschell puso el máximum en la faja oscura que termina el rojo; y Bérard, en el rojo mismo. Seebeck esplicó esta diferencia en los resultados, por la naturaleza del prisma refringente. Con un prisma de agua encontró el máximum en el amarillo; con uno de alcohol en el amarillo naranjado; y por fin, con uno de crown en el rojo.

Melloni ha confirmado los esperimentos de Seebeck por medio de su termo-multiplicador, observando, además, que el máximum de calor se aleja tanto mas del amarillo hácia el rojo, cuanto mas diatérmana es (365) la sustancia del prisma. Con uno de sal gema, que es el cuerpo mas diatérmano, está el máximum enteramente mas allá del rojo.

3.° *Propiedades químicas.* —En muchísimos fenómenos se comporta la luz solar como un agente químico. Por ejemplo, el protocloruro de mercurio y el cloruro de plata se ennegrecen por la accion de la luz; el fósforo diáfano se vuelve opaco; y los principios colorantes de orígen vegetal se destruyen. Basta igualmente la luz para determinar combinaciones, como la del cloro con el hidrógeno; y por fin, contribuye en primer termino para la produccion de la materia verde en las plantas. Sin embargo, no todos los diversos colores del espectro poseen la misma accion química; pues Scheele demostró que el rayo violado obra mas enérgicamente que los otros sobre el cloruro de plata. Wollaston observó tambien que esta accion se estendia fuera del espectro visible, con la misma intensidad que en el violeta, circunstancia que le hizo suponer que, además de los rayos que actúan sobre la retina, hay otros que no se ven y que son mas refrangibles. Los rayos

que poseen la propiedad de determinar reacciones entre los elementos de los cuerpos, han recibido el nombre de *rayos químicos*.

M. Edmundo Becquerel ha descubierto tambien en el espectro dos especies de rayos, que llama *continuadores* los unos, y *fosforogénicos* los otros. Los primeros no ejercen accion química por sí mismos, pero la continúan una vez comenzada; y los segundos vuelven luminosos á ciertos cuerpos, el sulfuro de bario, por ejemplo, en la oscuridad, despues de espuesto por algun tiempo á la luz solar. M. Ed. Becquerel notó que el espectro fosforogénico se estiende desde el añil hasta mucho mas allá del violeta.

* 466. **Rayas del espectro.** — No son contínuos los diversos colores del espectro solar. Faltan los rayos para muchos grados de refrangibilidad, resultando de aquí, en toda la estension del espectro, muchas fajas oscuras muy estrechas, llamadas *rayas del espectro*. Para observarlas, se recibe un haz de luz solar por una abertura muy angosta de la cámara oscura; y á la distancia de 3 á 4 metros, se mira dicha abertura al traves de un prisma de flint sin estrías y con las aristas paralelas á los bordes de la hendidura. Obsérvanse entonces muchas rayas negras muy ténues, paralelas á las aristas del prisma, y muy desigualmente espaciadas. Si se mira el espectro con una lente acromática, pueden llegar á contarse hasta seiscientas rayas; pero hay siete mas visibles que las restantes, y denominadas *rayas de Fraünhofer*, del nombre del físico que primero las observó. Con la luz solar tienen posiciones fijas estas rayas, de suerte que puede medirse con precision el índice de cada color simple. En los espectros de una luz artificial, ó de la de las estrellas, varía la posicion relativa de las rayas; y con la luz eléctrica, son reemplazadas por rayas brillantes las oscuras.

* 467. **Colores de los objetos vistos al traves de los prismas.** — Cuando se mira un cuerpo al traves de un prisma, parece que las porciones de su contorno paralelas á las aristas se hallen coloradas con las tintas del espectro. Este fenómeno se esplica por la desigual refrangibilidad de los rayos luminosos reflejados por el cuerpo. Si se mira, por ejemplo, una faja muy estrecha de papel blanco pegada sobre un carton negro, con un prisma cuyas aristas le sean paralelas, aparece colorada esta faja con todos los colores del espectro, encontrándose el violeta el mas desviado hácia el vértice. En este esperimento, la luz blanca, reflejada por la tira de papel, es descompuesta al pasar por el prisma, y la violada, que es la mas refrangible, se desvía mas, por lo que aparece mas alta.

Si, en vez de ser estrecha la faja de papel, tiene cierta latitud, queda blanca en toda su parte media, y sus bordes paralelos á las aristas del prisma son los únicos colorados, de violeta con mezcla de azul y de añil los que están mas cerca del vértice, y de rojo con mezcla de anaranjado y amarillo los que menos distan de la base. Se esplica este fenómeno suponiendo dividida la tira de papel en porciones paralelas muy estrechas, pues cada una de estas dará, como en el primer caso, un espectro completo. Como el segundo espectro está un poco mas

bajo que el primero, el tercero mas que el segundo, y así de los demás, resulta de aquí una superposicion sucesiva de todos los colores simples que produce el blanco, menos hácia los bordes, en los cuales no es completa la superposicion, permaneciendo aislados, el violeta por un lado, y el rojo por otro.

El prisma da el medio de analizar el color de un cuerpo, pues se corta una tirita estrecha de este, se la pega sobre un fondo negro y se la ilumina perfectamente. Mirándola entonces, á la distancia de uno ó dos metros, con un prisma, se descompone en sus elementos la luz reflejada sobre el cuerpo, y se ve cuales son los colores simples de que consta su color propio. Así se ha averiguado que el color de todos los cuerpos es compuesto. Los pétalos de las flores, por ejemplo, dan siempre un espectro matizado de muchos colores del espectro solar.

* 468. **Aberracion de refrangibilidad.**—Las lentes que acabamos de describir (449) tienen el inconveniente de dar, á cierta distancia del ojo, imágenes de contornos irisados. Este defecto, sensible sobre todo en las convergentes, depende de la desigual refrangibilidad de los colores simples (461), y se designa con el nombre de *aberracion de refrangibilidad*. En efecto, como podemos comparar las lentes á una série de prismas de caras infinitamente pequeñas, reunidos por sus bases, no solo refractan la luz, sino que la descomponen á la manera del prisma. Resulta de esta dispersion que las lentes tienen, en realidad, siete focos distintos, uno para cada color del espectro. En las convergentes, por ejemplo, los rayos rojos, que son los menos refrangibles, van á formar su foco en un punto *r*, situado sobre el eje de la lente (fig. 306), mientras que los violados, que se refractan mas, concurren en uno *v* mas cercano. Entre estos dos límites se forman los focos anaranjado, amarillo, verde, azul y añil. La aberracion de refrangibilidad es tanto mas sensible, cuanto mas convexas son las lentes, y cuanto mas lejano del eje está el punto de incidencia de los rayos que las atraviesan; porque entonces se hallan mas inclinadas entre sí las caras de incidencia y de emergencia. Réstanos dar á conocer de qué modo se corrige la aberracion de refrangibilidad en los instrumentos de óptica.

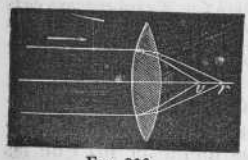


Fig. 306.

* 469. **Acromatismo.**—Combinando varios prismas de diferente ángulo refringente (442) y de sustancias desigualmente dispersivas (460), se ha conseguido refractar la luz blanca sin descomponerla. Igual resultado se obtiene con lentes de distintas sustancias, pero de curvaturas convenientemente combinadas. Como los contornos de los objetos vistos al traves de los prismas ó de las lentes asi formadas no aparecen irisados, se dice que son *acromáticas*, denominándose *acromatismo* el fenomeno de la refraccion de la luz sin dispersion.

Observando el fenómeno de la dispersion de los colores con prismas de agua, de esencia, de trementina y de crown-glass, habia sido inducido Newton á admitir que era proporcional la dispersion á la refraccion. Habia deducido de ahí que no era posible la refraccion sin

Fig. 307.

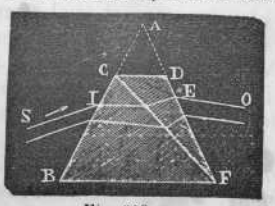


Fig. 308.

dispersion, y de consiguiente, que era imposible el acromatismo. Al cabo de medio siglo quedó en evidencia el error de Newton. El inglés Hall construyó por primera vez, en 1733, varias lentes acromáticas, pero no dió al público su descubrimiento. El óptico Dollond, de Lóndres, demostró, en 1757, que yustaponiendo dos lentes, bi-convexa de crown-glass la una, y cóncavo-convexa de flint la otra (fig. 307), se obtenia una lente sensiblemente acromática.

Para esplicar este resultado, sean dos prismas BFC y CDF yustapuestos y vueltos en sentido contrario (fig. 308). Si suponemos primero que consten de una misma sustancia estos prismas, como el ángulo refringente CFD del segundo es menor que el BCF del primero, producirán ambos prismas el mismo efecto que uno único BAF, es decir, que no solo se desviará, sino que se descompondrá la luz blanca que los atraviese. Por el contrario, si el primer prisma BCF fuese de crown y el segundo de flint, se puede anular la dispersion sin oponerse á la refraccion. Efectivamente, siendo el flint mas dispersivo que el crown (460), y disminuyendo la dispersion producida por un prisma con el ángulo refringente de este (460), resulta que, reduciendo lo debido este ángulo CFD del prisma de flint con relacion al BCF del de crown, se llega á igualar el poder dispersivo de estos prismas, y como, segun su posicion, se efectúa la dispersion en sentido contrario, es compensada, es decir, que los rayos emergentes EO van á ser sensiblemente paralelos, y dan, de consiguiente, luz blanca. Con todo, como la relacion de los ángulos BCF y CFD, que conviene al paralelismo de los rayos rojos y violados, por ejemplo, no sirve para los intermedios, es claro que con dos prismas no se puede, en realidad, acromatizar mas que dos de los rayos del espectro. Para obtener el acromatismo perfecto se necesitarian siete prismas de sustancias desigualmente dispersivas y de ángulos refringentes convenientemente determinados.

La refraccion no queda corregida al mismo tiempo que la dispersion, pues para esto seria preciso que variase el poder refractivo de los cuerpos, conforme supuso Newton, en la misma relacion que su poder dispersivo; pero esto no es exacto. Por lo tanto el rayo emergente EO no sale con paralelismo al incidente SI, y hay una desviacion sin descomposicion sensible.

Se forman las lentes acromáticas con dos lentes de sustancias desigualmente dispersivas. Una de ellas A, de flint, es cóncavo-convexa divergente (fig. 307), y la otra B, bi-convexa, de crown-glass, y con una cara que puede coincidir exactamente con la cara cóncava de la primera. Lo mismo con las lentes que con los prismas, serian precisos siete vidrios para obtener el acromatismo perfecto; pero bastan dos en todos los instrumentos de óptica, dándoles la curvatura necesaria para acromatizar los rayos rojos y los amarillos.

470. Absorcion de la luz por los medios trasparentes. — No se conoce sustancia alguna perfectamente trasparente, pues el vidrio, el agua, el aire mismo debilitan gradualmente la luz que los atraviesa, y con suficiente espesor pueden debilitarla bastante estos medios para que no obre ya sobre la retina. Se observa, en efecto, que muchas estrellas no visibles desde las llanuras, aun cuando esté muy puro el cielo, lo son al subir á las montañas mas altas.

Ésta pérdida gradual que sufre la luz al atravesar los medios diáfanos se llama *absorcion*, y reconoce su causa en la reflexion sobre las moléculas de los cuerpos trasparentes. Si todos los rayos simples fuesen igualmente trasmisibles al traves de los medios diáfanos, serian estos incoloros; pero jamás sucede esto; de suerte que, así como los cuerpos diatérmanos no se dejan atravesar igualmente por los diversos rayos caloríficos (371), así tambien los diáfanos permiten el paso mas fácilmente á ciertos rayos luminosos que á otros. El medio toma entonces el color para el cual es mas diáfano; y por eso nos parece azul el aire en grandes masas, y verde una lámina gruesa de vidrio. El vidrio colorado de rojo por el protóxido de cobre, no da paso mas que á los rayos rojos, y absorbe todos los demás, aunque sea muy delgado.

Por un efecto de absorcion, los rayos solares son menos intensos cuando se halla este astro en el horizonte, que cuando se encuentra en el cénit, porque entonces es mucho mas considerable el espesor de la atmósfera.

CAPITULO V.

INSTRUMENTOS DE OPTICA.

471. **Diversos instrumentos de óptica.**—Denominanse *instrumentos de óptica* unas combinaciones de lentes, ó de lentes y de espejos, que pueden dividirse en tres grupos, segun los usos para que se los destina, á saber: 1.° los instrumentos que no tienen mas objeto que amplificar las imágenes de los cuerpos que no es fácil examinar á simple vista por sus pequeñísimas dimensiones, son los *microscopios*; 2.° los que sirven para observar los astros ó los objetos muy lejanos, son los *telescopios* ó los *anteojos terrestres*, y 3.° los propios para producir sobre una pantalla imágenes reducidas ó amplificadas, que se pueden utilizar en el dibujo ó manifestar á numerosos observadores: tales son la *cámara lúcida ó clara*, la *oscura*, el *daguerreotipo*, la *linterna mágica*, la *fantasmagoría*, el *megascopo*, el *microscopio solar* y el *microscopio foto-eléctrico*. Los dos primeros grupos no dan mas que imágenes virtuales, y el último reales, menos la *cámara clara*.

472. **Microscopio simple.** — Hay dos especies de microscopios, que son: el simple y el compuesto. El *simple* consta de una sola lente convergente, ó de muchas lentes superpuestas que obran como una sola. Se ha visto ya (454, 2.°) que, en el microscopio simple ó lente, el objeto que se observa se halla situado entre esta y su foco principal, y que entonces la imágen es virtual, directa y amplificada (fig. 294).

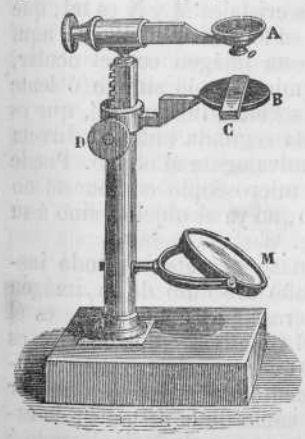


Fig. 309.

Diferentes disposiciones se han dado al microscopio simple; la de la fig. 309 representa la que le dió Raspail. Un sosten horizontal que puede subir ó bajar por medio de una barra dentada y de un tornillo con boton D, lleva una capsulita A, en cuyo centro se halla engastada una lente *o* mas ó menos convexa. Debajo está el porta-objeto B fijo, que sostiene al objeto situado en tre dos láminas de vidrio C. Como ha de estar muy iluminado el objeto, se recibe la luz difusa de la atmósfera sobre un reflector cóncavo de vidrio M, que se inclina de manera que los rayos reflejados vayan á caer sobre el objeto. Se usa este microscopio aplicando el ojo muy cerca de la lente, que se sube ó se baja hácia el objeto, hasta encontrar la posicion en que con mas limpieza se presenta la imágen.

Varias lentes de recambio permiten variar el aumento, pero en ciertos límites, si se desea conservar bien limpia la imágen. Con el

microscopio simple se obtiene un aumento muy claro hasta 120 veces en diámetro. Se puede determinar por cálculo el aumento (459), ó bien de un modo esperimental, sirviéndose del micrómetro (474).

473. **Microscopio compuesto.** — El *microscopio compuesto*, reducido á su mayor sencillez, consta de dos vidrios lenticulares convergentes, el uno de foco corto, llamado *objetivo*, porque está vuelto hácia el objeto, y el otro menos convergente, denominado *ocular*, porque se encuentra cerca del ojo del observador.

La figura 310 representa la marcha de los rayos luminosos y la formacion de la imágen en el microscopio compuesto, reducido á dos vidrios. AB es un objeto situado muy cerca del foco principal del objetivo M; pero un poco mas allá con relacion á este vidrio, y que da en el otro lado del objetivo (454, 1.°), una imágen *ab* real, invertida

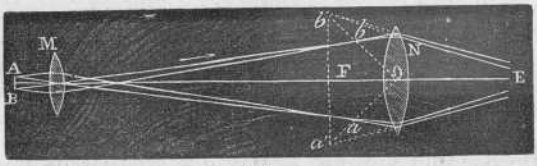


Fig. 310.

y muy amplificada. La distancia de los dos cristales M y N es tal, que la imágen *ab* se halla entre el ocular N y su foco F. Resulta de aquí que, para el ojo situado en E que mira esta imágen con el ocular, produce este último vidrio el efecto del microscopio simple ó lente (454, 2.°), y sustituye á la imágen *ab* una segunda imágen *a'b'*, que es virtual y está nuevamente amplificada. Esta segunda imágen, directa con relacion á la primera, es invertida relativamente al objeto. Puede decirse, pues, en último análisis, que el microscopio compuesto no es mas que el microscopio simple aplicado, no ya al objeto, sino á su imágen amplificada por una primera lente.

474. **Aumento, micrómetro** — Llámase *aumento*, en todo instrumento de óptica, la relacion del tamaño absoluto de la imágen con el del objeto. El aumento, en el microscopio compuesto, es el producto de los aumentos respectivos del objetivo y del ocular, es decir, que, si el primer vidrio aumenta 20 veces y el otro 10, el aumento definivo vale 200. Depende el aumento de la mayor ó menor convexidad del objetivo y del ocular, así como de la distancia de estos dos vidrios combinada con la del objeto al objetivo. Ha llegado á 1500 y mas el aumento que ha esperimentado el diámetro del objeto; pero entonces pierde la imágen en claridad lo que gana en estension. Para obtener imágenes claras y bien iluminadas, no debe pasar el aumento de 500 á 600 en diámetro, lo cual da en superficie una imágen 250 á 360 mil veces mayor que el objeto.

El aumento se mide esperimentalmente por medio del *micrómetro*, que consiste en una laminita de vidrio, sobre la cual se han trazado con diamante rayas paralelas, distantes entre sí $^1/_{10}$ ó $^1/_{100}$ de milíme-

tro. Se coloca el micrómetro delante del objetivo, y luego, en vez de recibir directamente en el ojo los rayos que emergen del ocular O, se los recibe en una lámina de vidrio de caras paralelas A (fig. 311), inclinada 45 grados, y se aplica el ojo encima de modo que se vea cómo la imágen de las rayas del micrómetro se forman por reflexion sobre una escala dividida en milímetros, trazada sobre una pantalla E.

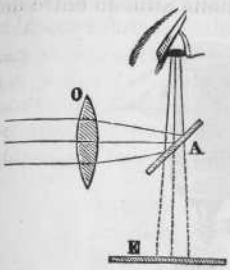


Fig. 311.

Contando entonces el número de divisiones de la escala que corresponde á cierto número de rayas de la imágen, se averigua el aumento. Por ejemplo, si la imagen ocupa en la escala 45 milímetros y comprende 15 rayas del micrómetro, suponiendo que el intervalo entre estos sea de $^1/_{100}$ de milímetro, el tamaño absoluto del objeto será $^{15}/_{100}$ de milímetro; y como el de la imágen vale 45 milímetros, el aumento será el cociente de 45 por $^{15}/_{100}$, ó 300. En este esperimento, debe mediar entre el ojo y la pantalla E una distancia igual á la de la vista distinta, distancia que varía para cada observador, pero que, por término medio, es de 25 á 30 centímetros. Se determina tambien el aumento del microscopio por medio de la cámara lúcida, que luego describirémos (482).

Una vez conocido el aumento de un microscopio, es fácil deducir de él el grosor absoluto de los objetos situados delante del objetivo. En efecto, siendo el aumento el cociente del tamaño de la imágen por el del objeto, es claro que para obtener el de este último bastará dividir el tamaño de la imágen por el aumento. De esta suerte es fácil averiguar el diámetro de los glóbulos de la sangre, y en general de todos los objetos microscópicos.

475. **Microscopio compuesto de Amici.** — Hasta ahora solo hemos dado á conocer (473) el principio del microscopio compuesto; pero ahora debemos describir los principales accesorios de este aparato. Inventado hácia 1620, ha recibido sucesivamente perfecciones numerosas. Las modificaciones mas importantes no datan mas que de 30 años á esta parte, y se deben mas principalmenre á M. Amici, en Italia, y á M. Cárlos Chevalier, en Francia.

La figura 312 representa, en sus partes esenciales, el microscopio conocido con el nombre de *microscopio de Amici ó microscopio de C. Chevalier*. En los microscopios antiguos, el tubo H estaba siempre vertical y las lentes no eran acromáticas. M. Amici fué el primero que adoptó una disposicion que permite poner á voluntad el tubo horizontal ó vertical; y por primera vez, en 1823, aplicó M. C. Chevalier las lentes acromáticas al microscopio. Nuestro dibujo representa el microscopio en la posicion horizontal, que, en general, fatiga menos la vista, pero tambien puede ponérsele verticalmente. Se quita, al efecto, el tubo angular G, montando en su lugar sobre el objetivo E el gran tubo H, que lleva el ocular. Por último, se puede dar tambien al microscopio una posicion inclinada, sacando un pasador *m* que fija el

aparato por su parte inferior, y haciendo mover todo el sistema sobre una charnela *a*, que une el microscopio con una columna cilíndrica que le sirve de apoyo.

Sobre un eje rectangular paralelo á esta columna se ve el *porta-objetos* B, el cual puede subir ó bajar por medio de un piñoncito que se engrana en una barra dentada, y que se pone en movimiento por un boton D. El objeto *o* que se quiere observar se halla situado entre dos

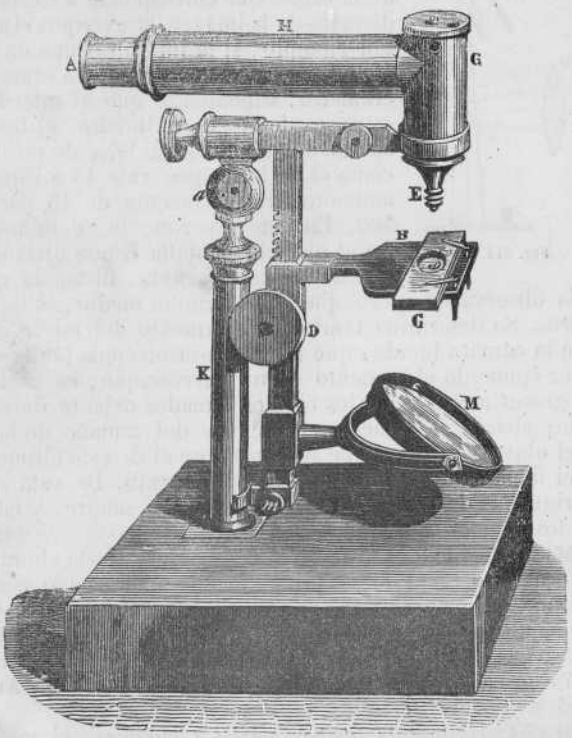


Fig. 312 (a = 83).

láminas de vidrio C, colocadas sobre el porta-objetos. Un reflector cóncavo M, de vidrio, recibe la luz difusa de la atmósfera, y la refleja sobre el objeto, que se encuentra así muy iluminado, condicion indispensable á causa del aumento. Lleva en su centro el porta-objetos una abertura que se ve al traves de las láminas C, y que da paso á la luz remitida por el reflector.

La fig. 313 demuestra la posicion de los vidrios y la marcha de los rayos en el microscopio. El objetivo E consta de una, de dos ó de tres lentes acromáticas, como la representada en K, cuyas distancias

focales principales son de 8 á 10 milímetros. El ocular AH ofrece dos lentes plano-convexas A y H, acromáticas ó no. Fácil es seguir la marcha de la luz. Los rayos luminosos, despues de reflejados sobre el espejo M, van á concurrir hácia el objeto, dirigiéndose luego hácia el objetivo E. Atravesado este, encuentran un prisma rectangular P, de cristal, sobre cuya hipotenusa sufren una reflexion total (439). Tomando entonces la direccion del tubo GA, van á caer los rayos luminosos sobre la lente H, y forman, mas allá, una imágen *a* real y

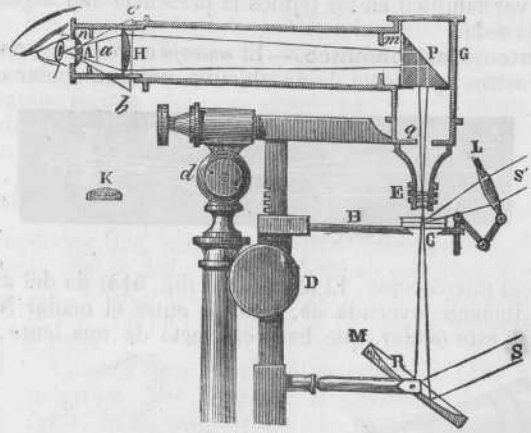


Fig. 313.

amplificada del objeto. La última lente funciona en seguida como microscopio simple, para sustituir á esta primera imágen otra virtual y amplificada tambien *bc*.

La lente intermedia H, llamada *ocular de Campani*, tiene por objeto reunir los rayos demasiado oblícuos que no caerian sobre el ocular A. Aumenta el *campo* del microscopio volviendo la imágen mas pequeña y mas clara. Sirve tambien este vidrio para corregir el defecto de acromatismo que en mayor ó menor escala presenta el objetivo. Los diafragmas *m* y *n* corrigen la aberracion de esfericidad, interceptando los rayos que tienden á atravesar las lentes demasiado cerca de los bordes. A fin de anular toda reflexion interior que podria perjudicar la limpieza de las imágenes, estan interiormente ennegrecidas las paredes del tubo.

Segun sea trasparente ú opaco el objeto, así se le ilumina de distinto modo. En el primer caso se efectúa, segun dijimos, por medio de un reflector situado debajo del porta-objetos; en el segundo se hace uso de una lente L, sostenida por el porta-objetos, y que concentra la luz sobre el objeto.

Por fin, posee el aparato muchos oculares y objetivos, á fin de aumentar ó disminuir el aumento. Se obtiene tambien un aumento mas débil suprimiendo una y hasta dos de las lentes del objetivo.

El microscopio ha dado orígen á los descubrimientos mas curiosos en botánica, en zoologia y en fisiologia. Ha sido comprobada la existencia de animales hasta entonces desconocidos, en el vinagre, en la pasta de harina, en las frutas secas y en ciertos quesos; y han quedado visibles la circulacion y los glóbulos de la sangre. Numerosas son tambien las aplicaciones industriales del microscopio. Por ejemplo, él da los medio de reconocer las diferentes especies de féculas, las falsificaciones harto frecuentes en las harinas, en los chocolates, etc.; y permite ver tambien en los tejidos la presencia del algodon, de la lana y de la seda.

476. **Anteojo astronómico.** — El *anteojo astronómico* sirve para observar los astros, y consta de un objetivo y de un ocular convergen-

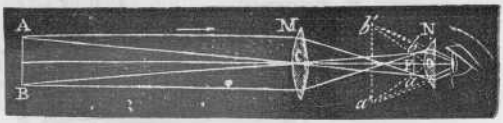


Fig. 314.

tes, como el microscopio. El objetivo M (fig. 314) da del astro que se mira una imágen invertida *ab*, situada entre el ocular N y su foco principal; y este ocular, que hace el efecto de una lente, da en se-

Fig. 315.

guida una imágen *a'b'* virtual, recta y muy amplificada de la imágen *ab*. Vése, pues, que el anteojo astronómico tiene bastante analogía con el microscopio; pero con la diferencia de que en este último,

por hallarse el objeto muy cerca del objetivo, se forma la imágen mucho mas allá del foco principal, y es muy amplificada (454, 1.°), de suerte que hay aumento por parte del objetivo y del ocular, mientras que en el anteojo astronómico, distando mucho el astro, son paralelos los rayos incidentes, y va á formarse la imágen en el foco principal del objetivo en menor escala que el objeto. El aumento solo depende del ocular, y por eso ha de ser esta lente muy convergente.

La fig. 315 representa un anteojo astronómico montado sobre un pié, segun se fabrican en los talleres de los señores Lerebours y Secrétan. Encima hay un pequeño anteojo llamado *indicador*. Los anteojos de gran poder amplificante no son, por su poco campo, de uso cómodo para buscar un astro, y por eso se mira primero con el indicador, cuyo campo es mas vasto, es decir, que abraza mayor estension del cielo, observándose luego con el telescopio.

El cálculo hace ver que, en el anteojo astronómico, el aumento es sensiblemente igual á $\frac{CF}{OF}$ (fig. 314), siendo F el foco del objetivo M, y pudiendo suponerse que coincide aproximadamente con el foco del ocular N, de lo cual se deduce que el aumento es tanto mas considerable, cuanto menos convergente es el objetivo y mas el ocular. En un buen anteojo, no pasa el aumento de 1000 á 1200.

Fig. 316.

Cuando sirve el anteojo astronómico para medir con precision, por ejemplo, la distancia de los astros al cenit, su ascension recta ó su paso por el meridiano, se le añade una *reticula*. Así se llaman dos hilos muy finos de metal ó de seda, dispuestos en cruz en una abertura circular de una laminita metálica (fig. 316). Debe encontrarse la retícula en el sitio mismo en que se produce la imágen invertida que da el objetivo, y el punto de cruzamiento de los hilos en el eje óptico mismo del anteojo, que pasa á ser así la *linea de mira*.

477. **Anteojo terrestre.** — El *anteojo terrestre* ó de *larga vista* solo difiere del astronómico en que las imágenes son directas. Se obtiene

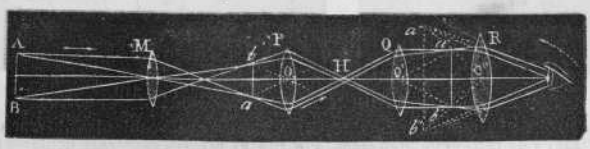


Fig. 317.

esto por medio de dos lentes convergentes P y Q (fig. 317), situadas entre el objetivo M y el ocular R. Si suponemos el objeto en AB, á mayor distancia que la que puede representar el grabado, va á formarse su imágen invertida y muy pequeña, en *ba*, al otro lado del objetivo. La segunda lente P se halla á una distancia tal, que su foco principal coincide con la imágen *ab*; de donde resulta que los rayos luminosos que pasan por *b*, por ejemplo, toman, despues de haber

atravesado la lente P, una direccion paralela al eje secundario bO (450, 2.°, y 453). De igual manera, los rayos que pasan por a toman una direccion paralela al eje aO. Despues de haberse cruzado estos diversos rayos en H, atraviesan una tercera lente Q, cuyo foco principal coincide con el punto H. El haz BbH va á concurrir, pues, en b' sobre un eje secundario Ob' paralelo á su direccion (453); y el AaH concurre del mismo modo en a', produciéndose en $a'b'$ una imágen recta del objeto AB. Esta imágen es la que se mira, como en el anteojo astronómico, con un ocular convergente R, situado de modo que se comporta como una lente, es decir, que su distancia á la imagen $a'b'$ sea menor que su distancia focal principal, de donde resulta que da en $a''b''$ una imágen virtual, directa y amplificada de la imágen $a'b'$. Las lentes P y Q, que no sirven mas que para dar la posicion directa á la imágen, estan fijas en un tubo de cobre, á una distancia constante é igual á la suma de sus distancias focales principales. En cuanto al objetivo M, es móvil en un tubo, y puede acercarse ó alejarse de la lente P, de modo que la imágen ab vaya siempre á formarse en el foco de esta lente, sea cual fuere la distancia del objeto. La distancia de la lente R puede variar tambien, en términos de que la imágen $a''b''$ se forme á la distancia de la vista distinta (498).

El anteojo terrestre puede reemplazar al astronómico; pero es menester otro ocular que amplifique mucho mas que en aquel. Con todo, los astrónomos prefieren el anteojo de dos lentes, porque absorbe menos luz.

En el anteojo terrestre el aumento es el mismo que en el astronómico, suponiendo, con todo, que tengan igual convexidad las lentes P y Q que sirven para dar la posicion directa á las imágenes.

478. **Oculares.**—Hasta ahora, con la idea de simplificar la construccion de las imágenes, hemos supuesto generalmente que constaba el ocular de una sola lente convergente, segun se ve en las figuras 310, 314 y 317. Pero esto jamás sucede, ni en los microscopios,

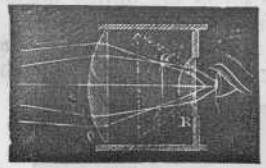


Fig. 318.

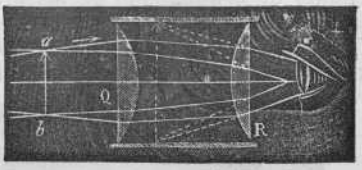


Fig. 319.

ni en los anteojos; porque con un ocular sencillo son considerables las aberraciones de esfericidad (457) y de refrangibilidad (468). Por eso es preciso construir oculares de muchas lentes. Segun el número y la disposicion de estas, se admiten tres especies principales de oculares, que son el de Campani, el de Ramsden y el de Dollond.

Ocular de Campani.—El ocular de Campani (fig. 318) consta de dos lentes plano-convexas, con las caras planas vueltas hácia el ojo. El primer lente Q, recibe los rayos que salen del objetivo, y concurre con él para dar en ab una imágen real é invertida del objeto situado mas allá del objetivo. El ojo mira en seguida esta imágen con la lente R, que hace el oficio de un microscopio simple.

Se usa el ocular de Campani en los microscopios y en los anteojos astronómicos cuando carecen de retícula, es decir, cuando solo sirven como anteojos de observacion, y no como de paso, ó murales. En este ocular la distancia focal de la lente R es igual al tercio de la Q, y la de las dos lentes Q y R vale la semi-suma de sus distancias focales.

Ocular de Ramsden.—El ocular de Ramsden (fig. 319) consta de dos lentes plano-con-

vexas, cuyas convexidades se miran. La imágen real é invertida *ab* que da el objetivo, se forma aquí delante de la lente Q, y las dos lentes Q y R obran juntas como un microscopio simple. Las distancias focales de las dos lentes son iguales, y estan separadas entre sí por un intervalo igual á los dos tercios de sus distancias focales.

Sirve el ocular de Ramsden en los anteojos astronómicos con reticula.

Ocular de Dollond. — Como en los *anteojos terrestres* ó de *larga vista* ha de estar derecha la imágen, no pueden servir los oculares de Campani y de Ramsden, pues dan siempre, segun sabemos, imágenes invertidas. Se obtienen estas derechas, y al mismo tiempo acromáticas, por medio de un ocular cuádruple atribuido á Dollond.

Este ocular (fig. 320) consta de cuatro lentes plano-convexas. Las dos primeras Q y R tienen sus caras planas vueltas hácia el objetivo, y las otras dos S y T hácia el ojo. Siendo

Fig. 320.

ab la imágen real é invertida que da el objetivo, concurren las lentes Q, R y S á dar de esta primera imágen otra *a'b'* real y directa, que el ojo mira en seguida con la lente T. La tercer lente es la que, al combinarse con la R, contribuye, sobre todo, á atenuar las aberraciones de refrangibilidad y de esfericidad, haciendo menos divergentes los haces.

El hábil óptico M. Secrétan ha conseguido construir anteojos terrestres muy perfectos, acromatizando, además del objetivo, las lentes R y T, que son las que reciben los rayos incidentes en su mayor dispersion; y como ya se hallan muy reunidos cuando llegan á las Q y S, no hay inconveniente alguno en dejarlas de acromatizar.

Para la disposicion de las lentes Q, R, S, T entre sí, y en punto á la relacion de sus distancias focales, ha adoptado M. Secrétan la regla empírica siguiente:

Representando por q, r, s, t, las distancias focales respectivas de estas lentes, por d la distancia de Q á R, por d' la de R á S, por d'' la de S á T, eligió para las lentes Q, R, S, T, lentes cuyas distancias focales fuesen respectivamente entre sí, como los números 10, 11, 12 y 9, y en seguida toma $d=\frac{2}{3}(q+r)$ $d'=\frac{1}{2}(q+r+s+t)$, y $d''=\frac{2}{3}(s+t)$.

Mediante esta combinacion, obtiene M. Secrétan anteojos de larga vista, notables por la estension del campo, por su corta longitud y por la pureza de las imágenes.

479. Anteojo de Galileo. — El *anteojo de Galileo*, ó el *anteojo de teatro*, es el anteojo mas sencillo, porque solo se compone de dos len-

Fig. 321.

tes, que son: un objetivo convergente M, y un ocular divergente R (fig. 321), y da inmediatamente una imágen derecha.

Estando representado el objeto por la recta AB, tiende á ir á formarse su imágen en *ba*, invertida, real y mas pequeña; pero, al atravesar el ocular R, se refractan los rayos emitidos de los puntos A y B, separándose respectivamente de los ejes secundarios *b*O' y *a*O', que corresponden á los puntos *b* y *a* de la imágen. Resulta de ahí que estos rayos, prolongados en sentido contrario á su direccion, van á concurrir sobre estos ejes en *a'* y en *b'*; y el ojo que los recibe ve, pues, en *a'b'* una imágen derecha y amplificada, que parece mas cerca porque se ve bajo un ángulo *a'*O'*b'* mayor que el AOB bajo el cual se

ve el objeto. En cuanto al aumento, que es igual á la relacion del ángulo $a'O'b'$ con el AOB, no es, de ordinario, mas que de dos á tres.

La distancia del ocular R á la imágen *ab* es sensiblemente igual á la distancia focal principal de este ocular, por lo que la separacion de las dos lentes es la diferencia de sus distancias focales respectivas, y de consiguiente, el anteojo de Galileo es muy corto y muy portátil. Tiene la ventaja de hacer ver los objetos en su verdadera posicion, y además, como solo consta de dos lentes, absorbe poca luz; pero, á causa de la divergencia de los rayos emergentes, es pequeño su campo, siendo necesario, para servirse de él, que se aplique el ojo muy cerca del ocular. Este puede acercarse ó alejarse del objeto, en términos de que la imágen $a'b'$ se forme siempre á la distancia de la vista distinta.

Los *gemelos* ó los anteojos de teatro son enteramente iguales al que acabamos de describir, sin mas diferencia que son dobles, á fin de formar una imágen en cada ojo, con lo que crece su brillo.

El anteojo de Galileo fué el primero que sirvió para mirar los astros, y con él llegó á descubrir aquel ilustre astrónomo las montañas de la luna, los satélites de Júpiter y las manchas del sol.

Se ignora la época de la invencion de los anteojos, pues unos atribuyen el descubrimiento á Rogerio Bacon, en el siglo XIII, otros á J.-B. Porta, á fines del XVI, y algunos, por fin, al holandés Jacobo Mecio, quien por casualidad habia observado, hácia 1609, que combinando dos lentes, cóncavo el uno y convexo el otro, se veian mayores y mas cercanos los objetos.

Fig. 322 (d=1m,20).

480. **Telescopios.** — Los *telescopios* son instrumentos que sirven para ver los objetos lejanos, y particularmente los astros. El anteojo astronómico y el de Galileo son, por lo tanto, telescopios. Tal es el nombre que en un principio recibieron, pues se les designaba con el de *telescopios por refraccion* ó *telescopios dióptricos*; pero hoy se entiende por telescopios unos aparatos en los cuales se utiliza á un tiempo la reflexion y la refraccion, por medio de espejos y de lentes, para ver los objetos lejanos. Se han construido muchas especies de telescopios, pero los mas conocidos son los de Gregory, de Newton y de Herschell.

1.° *Telescopio de Gregory.* — La figura 322 representa un telescopio de Gregory montado sobre un pie, alrededor del cual puede girar é inclinarse mas ó menos. La figura 323 representa un corte longitudinal suyo. Este telescopio, que fué inventado hácia 1650, consta de un

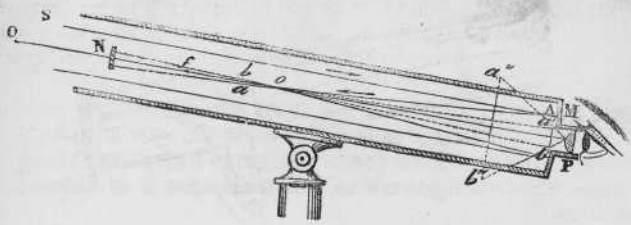


Fig. 323.

largo tubo de cobre, cerrado por una de sus estremidades por un grande espejo cóncavo metálico M, que lleva en su centro una abertura circular, por la cual pasan los rayos que se dirigen al ocular. Cerca de la otra estremidad del tubo hay un segundo espejo cóncavo N, metálico tambien, algo mas ancho que la abertura central del grande espejo, y de un radio de curvatura mucho menor que él. Los ejes de estos espejos coinciden con el del tubo. Estando en O el centro de curvatura del mayor, y en *ab* su foco, los rayos, tales como SA, emitidos por el astro, se reflejan sobre dicho espejo, y van á formar en *ab* una imágen invertida y muy pequeña del astro. La distancia de los espejos y su curvatura respectiva son tales, que la imágen se halla entre el centro *o* y el foco *f* del espejo mas chico; de donde resulta que los rayos, despues de reflejados segunda vez en N, forman en *a'b'* una imágen amplificada é invertida de *ab* (427), y de consiguiente, derecha con relacion al astro. Por último, se mira está imágen con un ocular P, de una ó de dos lentes, para que la amplifique de nuevo y la haga ver en *a''b''*.

Como no siempre los objetos que se observan se hallan situados á la misma distancia, puede variar de posicion el foco del espejo grande, y de consiguiente, el del pequeño. Además, no valiendo para todos los ojos lo mismo la distancia de la vista distinta, debe poder encontrarse situada la imágen *a''b''* á diferentes distancias. A fin de tomar en consideracion estas variaciones, es necesario alejar ó acercar el espejo pequeño del grande, y al efecto hay un boton A (fig. 322), por medio del cual se hace girar una varilla que pone en movimiento, mediante el paso de un tornillo, una pieza B que lleva fijo el espejo menor.

2.° *Telescopio de Newton.* — El telescopio de Newton difiere poco del de Gregory; solamente el ocular está dispuesto al lado del telescopio; además, el reflector cóncavo M, que se halla en el fondo del tubo (fig. 324), no está perforado en su centro, y el segundo espejo N es plano, de contorno elíptico, y está inclinado á 45 grados sobre el eje del telescopio. Encuéntrase situado este espejo plano entre el reflec-

tor M y su foco, algo mas cerca de este que de un ocular *o* dispuesto al lado del telescopio. Resulta de esta disposicion que, despues de reflejados los rayos sobre el espejo M y luego sobre el N, van á formar en *ab* una imágen invertida y muy pequeña del astro, entre el

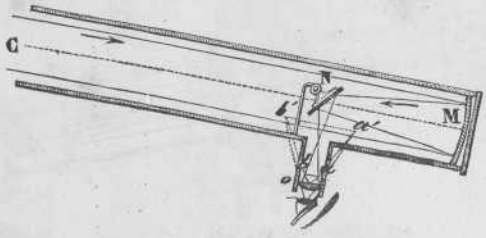


Fig. 324.

ocular *o* y su foco principal. Esta lente produce, pues, el efecto de un microscopio simple, y da en *a'b'* una imágen amplificada del astro, pero invertida.

3.° *Telescopio de Herschell.* —El telescopio de Herschell, atribuido tambien á Lemaire, consta de un solo reflector cóncavo M (fig. 325), y de un ocular *o*. Se halla inclinado el reflector sobre el eje, de manera que la imágen del astro que se observa va á formarse en *ab*, en el lado del telescopio, cerca del ocular *o*, que da en seguida la imágen amplificada *a'b'*. Como no se reflejan mas que una sola vez los rayos en este telescopio, es menor que en los dos anteriores la pérdida

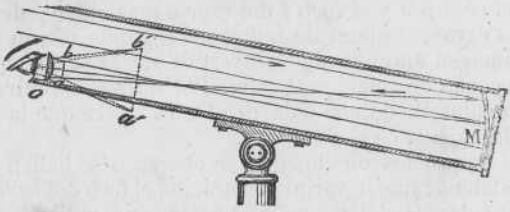


Fig. 325.

de luz, y la imágen se presenta mas clara. El aumento es, como en el anterior, la relacion de la distancia focal principal del espejo con la del ocular.

Los telescopios de reflexion fueron adoptados en una época en que no sabia corregirse, en los objetivos, la aberracion de refrangibilidad; pero, luego que se han construido objetivos acromáticos, se usan generalmente los telescopios dióptricos, es decir, de refraccion únicamente, como los anteojos descritos (476, 477, 479).

481. Cámara oscura. —La *cámara oscura*, segun indica su nombre, es una cámara completamente cerrada, menos por un orificio que da paso á los rayos de luz (fig. 236). Entonces todos los objetos esteriores, cuyos rayos pueden atravesar el orificio, se pintan en la pared

opuesta con dimensiones reducidas y con sus colores naturales, pero están invertidas las imágenes.

El físico napolitano Porta dió á conocer, en 1560, el fenómeno que produce un haz luminoso al penetrar en una cámara oscura. Poco despues observó el mismo físico que, si en el orificio de la cámara oscura se fija una lente bi-convexa, y se coloca en el foco de esta una pantalla blanca, la imágen gana estraordinariamente en brillo, en

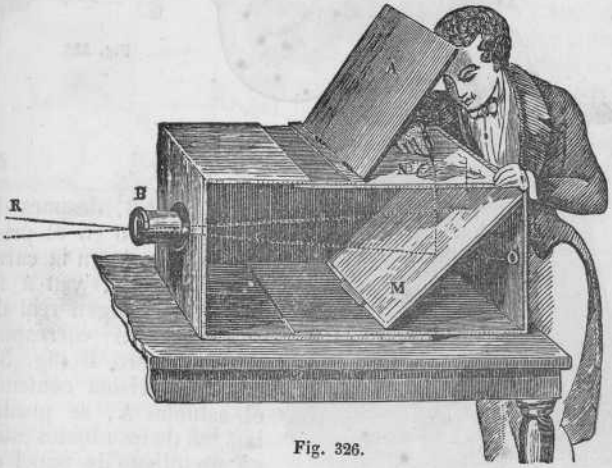


Fig. 326.

limpieza y en colorido, siendo admirable por su verdad. Estan estas imágenes tanto mejor iluminadas, cuanto mayor es la lente, y sus dimensiones aumentan con la distancia focal.

Para servirse de la cámara oscura en el arte del dibujo, se la dan diversas formas que la hagan portátil y que corrijan la inversion de las imágenes. La figura 326 representa la *cámara oscura de corredera.* Consiste en una caja rectangular de madera, en la cual penetran los rayos luminosos R al traves de una lente B, tendiendo á ir á formar una imágen en la pared opuesta O, que debe distar de la lente B una longitnd igual á su distancia focal. Pero, como los rayos encuentran un espejo de vidrio M inclinado 45 grados, mudan de direccion, y la imágen se forma en una lámina de vidrio deslustrado N. Colocando sobre está lámina un pliego de papel, que sirve para calcar, es fácil recorrer con fidelidad los contornos de la imágen. La pantalla A intercepta la luz que ilumina la imágen y que impediria verla.

Se compone la caja de dos partes que pueden entrar la una en la otra, de modo que, tirando mas ó menos de la anterior, puede ir á formarse la imágen, despues de la reflexion, exactamente sobre la lámina N, sea cual fuere la distancia del objeto que se desee dibujar.

La figura 327 representa otra especie de cámara oscura, conocida con el nombre de *cámara oscura de prisma.* En un estuche de cobre A

hay un prisma triangular P (fig. 328), que sirve á la vez de lente convergente y de espejo, pues, siendo plana una de sus caras, tienen las otras una curvatura tal, que por sus refracciones combinadas á la entrada y á la salida de los rayos, producen el efecto de un menisco convergente C (fig. 283). Resulta de aquí que los rayos emitidos por

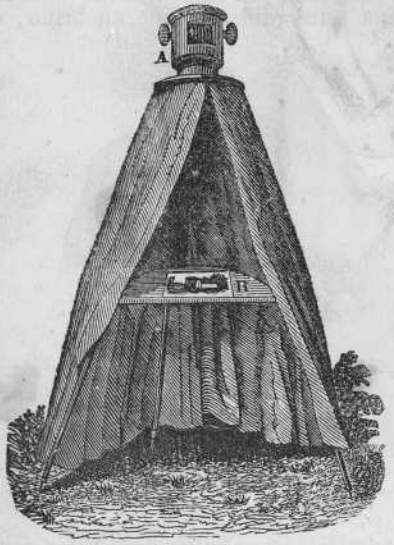


Fig. 327.

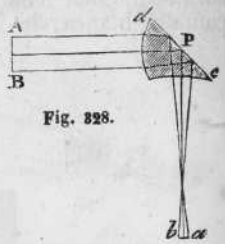


Fig. 328.

un objeto AB, despues de haber penetrado en el prisma y esperimentado en la cara *cd* la reflexion total, van á formar en *ab* una imágen real de AB.

Ahora bien; correspondiendo el tablero B (fig. 327) al foco del prisma contenido en el estuche A, se produce la imágen de los objetos esteriores en un pliego de papel que se pone sobre este tablero. Hallándose envuelto todo por una cortina negra, y colocándose debajo el dibujante, se halla por completo en la oscuridad. Se quita á voluntad el tablero y se doblan los pies por medio de charnelas, de suerte que es muy portátil este aparato, que debemos á M. C. Chevalier.

482. **Cámara clara.** — La *cámara clara* ó *cámara lúcida* es un aparatito que sirve para obtener una imágen fiel de un paisaje, de un monumento ó de cualquiera otro objeto. Wollaston fué quien ideó el primer aparato de este género, en 1804. La cámara clara de este físico consiste en un pequeño prisma de vidrio de cuatro caras, cuya seccion perpendicular á las aristas representa la fig. 329. El ángulo A es recto, el C de 135 grados, y cada uno de los B y D de 67 y medio. Se apoya este prisma sobre un pie, en el cual puede subir, bajar y girar mas ó menos alrededor de un eje paralelo á sus aristas. Vuelta la cara AB hácia el objeto cuya imágen se busca, caen los rayos casi perpendiculares sobre esta cara, penetrando en ella sin refraccion sensible, y esperimentando la reflexion total sobre la cara BC; porque, siendo normal á esta la línea *ab*, se reconoce fácilmente que el ángulo de incidencia L*na* y el B son iguales, por tener sus lados perpendiculares; y, supuesto que el B tiene 67 grados y medio, el *an*L

es mayor que el ángulo límite del vidrio (439), que es la condicion necesaria para que se efectúe la reflexion total. Llegados á *o* los rayos, sufren tambien la reflexion total, y salen muy cerca del vértice D, siguiendo una direccion sensiblemente perpendicular á la cara DA, de suerte que el ojo que recibe estos rayos ve en L′ la imágen del objeto L. Siguiendo entonces los contornos de la imágen con un lápiz, se obtiene un dibujo muy exacto; pero la dificultad, y no pequeña, está en ver á un tiempo la imágen y la punta del lápiz, porque los rayos que proceden del objeto dan una imágen que dista mas del ojo que del lápiz. Se corrige este defecto interponiendo entre el ojo y el prisma una lente I, que da la misma convergencia á los rayos que emanan del lápiz y del objeto; pero aun así es preciso aplicar el ojo muy cerca del borde del prisma, de modo que la abertura pupilar se halle dividida en dos partes, una de las cuales ve la imágen, y la otra el lápiz.

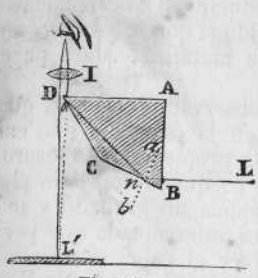


Fig. 329

M. C. Chevalier ha introducido importantes mejoras en la cámara clara de Wollaston. Como la imágen ó el lápiz cesa de ser visible distintamente, cuando es demasiado desigual la luz que los ilumina, ha adaptado al instrumento unos vidrios de color, que se interponen, ya en el lado del objeto, ya en el del lápiz, y que, interceptando parte de la luz, dan mas uniformidad á su distribucion.

M. Amici ha ideado una cámara clara que es preferible á la de Wollaston, pues permite al ojo mayor campo, sin dejar de ver la imágen y el lápiz, circunstancia que no tiene lugar en el aparato que acabamos de describir. La cámara clara de Amici se compone de un prisma rectangular ABC (fig. 330), de vidrio, con una de las caras del ángulo recto vuelta hácia el objeto que se mira, y perpendicular otra á una lámina de vidrio inclinada *mn*. Los rayos LI, emitidos por el objeto, y que penetran en el prisma, sufren la reflexion total en su lado mayor, y salen siguiendo la direccion KH. Reflejándose entonces parcialmente sobre la lámina de vidrio, forman en L′, para el ojo que los recibe, una imágen virtual del objeto L. El ojo que ve esta imágen puede percibir perfectamente al mismo tiempo un lápiz al traves de la lámina de vidrio, con lo cual salen los dibujos con suma precision.

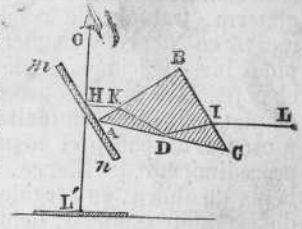


Fig. 330.

FOTOGRAFIA.

483. **Daguerreotipo.**—El *daguerreotipo*, así llamado del nombre de su inventor, es un aparato que sirve para fijar, sobre sustancias *sensibles* á la luz, las imágenes que forman las lentes convergentes en la cámara oscura (481). El arte de producir así las imágenes de los objetos por la accion de la luz, ha recibido el nombre de *fotografía*. Hoy dia se conoce la fotografía sobre placa metálica, sobre papel y sobre vidrio.

El célebre químico sueco Scheele habia observado, en 1770, que el cloruro de plata, que se conserva blanco en la oscuridad, se ennegrece por la accion de la luz. Merced á esta propiedad del cloruro de plata, se podian reproducir ya grabados; porque si sobre un pliego de papel, cubierto por esta sustancia, se aplica un grabado y se espone el todo á la luz solar de modo que sea interceptada esta por las partes negras del grabado, solo se ennegrece el papel clorurado en los puntos que corresponden á los claros del dibujo, quedando los otros blancos. En la copia así obtenida estan, pues, invertidas las tintas, es decir, que las oscuras son claras, y vice-versa. Tiene, además, esta copia el defecto de no poder conservarse mas que en la oscuridad, porque luego que se espone á la luz se ennegrece por completo y desaparece.

Habia que producir imágenes sin inversion de claro y oscuro, y además fijarlas, es decir, hacerlas insensibles, una vez formadas, á la accion de la luz. Charles, en Francia, Wedgwood y Davy, en Inglaterra, trataron de resolver este problema, pero al fin la gloria recayó en Niepce y Daguerre. Despues de constantes y no interrumpidas investigaciones desde 1814 á 1829, consiguió el primero de dichos físicos formar, sobre una placa de cobre cubierta por una capa de plata, una imágen inalterable á la luz, y en la cual las tintas claras ú oscuras ocupaban el mismo sitio que en el objeto. Pero, segun el procedimiento de Niepce, en que la sustancia impresionable era el betun de Judea, sumergido en seguida en una mezcla de petróleo y de aceite de espliego, debia prolongarse durante 10 ó 12 minutos la accion de la luz, lo cual era completamente impracticable para los retratos.

Niepce comunicó, en 1829, su procedimiento á Daguerre, conocido ya por la invencion del *diorama*, y que á su vez se dedicaba tambien hacia muchos años á las mismas investigaciones; pero solo despues de diez años de trabajo dió á conocer Daguerre, en 1839, el precioso descubrimiento que tanto llamó la atencion en Francia y en el estranjero. Hacia tres años ya que Niepce habia muerto, y por lo tanto, no pudo recoger la parte de gloria que con tanta justicia le correspondia.

De cinco operaciones principales se compone el procedimiento de Daguerre, á saber: 1.° el pulimento de la placa delgada, de cobre con una capa de plata, sobre la cual debe formarse la imágen; 2.° el depósito sobre esta placa de la *capa sensible*, es decir, de la sustancia

que la hace impresionable á la luz; 3.° la esposicion de la placa, en la cámara oscura, á la accion de la luz; 4.° la esposicion de la placa á los vapores mercuriales que hacen aparecer la imágen, y 5.° la fijacion de la imágen.

El pulimento de la placa es una operacion muy interesante, como que de ella depende el éxito de la operacion. Principiase con algodon muy ligeramente impregnado de alcohol y espolvoreado con trípoli; y se le termina en seguida con rojo de Inglaterra y con un bruñidor de cuero. Pulimentada ya la placa, se la espone, durante unos dos minutos, en una pequeña caja rectangular, al vapor del iodo que reacciona sobre la plata de la placa, y la trasforma, superficialmente tan solo, en ioduro de plata. Se conoce que se halla suficientemente iodurada la placa, luego que adquiere un hermoso color amarillo de oro que principia á pasar al rojo en los bordes. Ya puede recibir entonces la placa la accion de la luz, pero tan solo para tomar vistas ó copias; pues para los retratos es inútil, por exigir que la esté impresionando la luz de 8 á 10 minutos. Hay que someterla, pues, á la accion de sustancias *aceleratrices*, es decir, que exalten la sensibilidad de la capa de ioduro, en términos de que la imágen no tarde mas que algunos segundos en formarse. Estas sustancias son una disolucion acuosa de bromo, ó de bromuro sólido de cal. Se espone la placa á la accion de los vapores de una de estas sustancias de medio á 1 minuto, hasta que tome un color tan rojo como sea posible, pero sin pasar al violeta. Bromurada ya la placa, se la lleva á la caja que contiene el iodo, en donde se la deja *exactamente* la mitad del tiempo que permaneció en ella la primera vez.

Es impresionable entonces la placa á la accion de la luz. Por eso se practican todas estas operaciones en un sitio de escasa luz, y luego de terminadas, se deja tapada la placa en un bastidor de madera, tapado por el lado que mira á la placa por una pieza de madera, de modo que pueda entrar y salir á voluntad, y detrás hay otra pieza que mantiene inmóvil la placa. En este estado se la lleva á una pequeña cámara oscura portátil de madera (figura 331), que es la que vulgarmente se llama daguerreotipo.

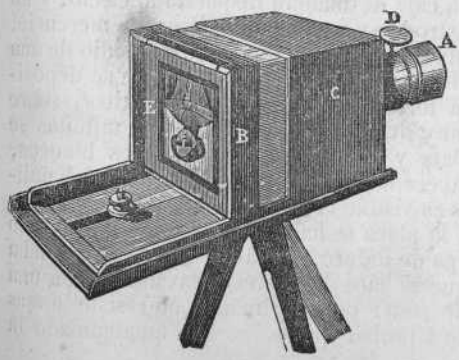


Fig. 331 (a=28).

Esta pieza, que se compone de una parte fija C y de otra móvil B, es una verdadera cámara oscura de corredera (481). Se coloca en un tubo de cobre A el objetivo, que es una lente convergente acromática, que se acerca ó se

aleja por medio de una barra dentada, y de un piñoncito que se hace girar con la mano por medio de un eje con boton D. La pared opuesta al objetivo es una lámina de vidrio deslustrado, fija en un marco E, que se quita cuando conviene. Si se desea sacar un retrato, se sienta el modelo ó el original á 4 ó 5 metros delante del objetivo, y luego se tira de la caja móvil B hasta que la imágen que se produce, invertida sobre la lámina de vidrio, aparezca con limpieza, conforme sucede cuando la lámina se encuentra en el foco, lo cual se acaba de conseguir alejando ó acercando el objetivo por medio del boton D. En los retratos se atiende á los ojos, para hallar el foco, por ser ellos la parte mas central de la cara.

Encontrado ya el foco, sin mover la cámara, se quita el marco E y la lámina de vidrio, y se pone en su lugar el bastidor con la placa iodurada, dejando por fin esta á descubierto, y la imágen que se formaba sobre el vidrio va á efectuarlo actualmente en la placa. Entonces produce la luz su misteriosa accion, dibujando sobre la placa una imágen invisible. El tiempo de la esposicion varía con el objetivo, con la preparacion de la capa sensible y con la intensidad de la luz, de modo que puede variar entre 8 y 50 segundos. Si se ha prolongado demasiado la esposicion á la luz, será blanca la prueba; y si ha sido muy corta la esposicion, será negra.

Llegado el momento de que cese la accion de la luz, lo cual solo una gran práctica lo enseña, se tapa de nuevo la placa, que queda completamente á oscuras, pues es no menos necesaria la oscuridad ahora que al tiempo de su introduccion en la cámara. En este momento no se percibe en la placa vestigio alguno de la imágen, de suerte que, para que se haga esta visible, hay que esponerla á la accion de los vapores de mercurio, con una inclinacion de 45 grados, en la parte superior de una caja de madera dispuesta al efecto, y en cuyo fondo, que es de palastro, hay una cavidad llena de mercurio. Este, elevado á una temperatura de 60 á 75 grados, por medio de una pequeña lámpara de alcohol, da vapores mercuriales, que se depositan con abundancia, bajo la forma de imperceptibles gotitas, sobre las partes que han estado muy iluminadas, y á los pocos minutos se forma una amalgama de plata y de mercurio, que da los blancos, mientras que el resto permanece negro por el efecto mismo del pulimento de la placa. Entonces es visible la imágen, y puede permanecer espuesta á la luz. Con todo, la placa se halla aun cubierta, sobre todo en las sombras, por una capa de ioduro de plata, que da á la prueba un tono rojizo ó violáceo, que se hace desaparecer lavándola con una disolucion de hiposulfito de sosa; pero la imágen no resiste la mas leve friccion, lo cual tiende á probar que no se han amalgamado la plata y el mercurio.

A fin de corregir este defecto, falta ejecutar aun la operacion que tiene por objeto fijar la imágen, lavando la placa en una débil disolucion de cloruro de oro y de hiposulfito de sosa. En esta operacion se disuelve parte de la plata, mientras que una porcion del oro se combina con el mercurio y con la plata de la placa. La amalgama de mer-

curio y de plata que constituye los blancos de la prueba aumenta entonces en solidez y en brillo al combinarse con el oro, resultando de aquí que crece notablemente la intensidad de los claros de la imágen. A M. Fizeau debemos el uso del cloruro de oro, que es el principal adelanto hecho al descubrimiento de Daguerre.

La fig. 332 representa un corte del *objetivo*, es decir, del aparato que sirve para concentrar la luz sobre la placa y producir en ella la imágen. Consistió primero en una sola lente bi-convexa y acromática; pero no se tardó en adoptar objetivos de dos lentes acromáticas que se designan con el nombre de objetivos de vidrios combinados. Operan con mas velocidad que los objetivos de un solo vidrio, tienen una distancia focal menor, y permiten encontrar mas fácilmente el foco, lo cual se efectúa acercando ó alejando la lente B, que está vuelta hácia el objeto, de la lente A, por medio de una barra dentada y de un piñon D.

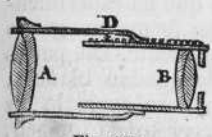


Fig. 332.

484. **Fotografía sobre papel.** — En el procedimiento de Daguerre, que acabamos de describir, son inmediatamente producidas las imágenes sobre placas metálicas; pero no así en la fotografía sobre papel, que comprende dos partes distintas. En la primera se obtiene una imágen cuyas tintas estan invertidas, es decir, que las partes mas claras aparecen como las mas oscuras sobre el papel, y recíprocamente: esta es la *imágen negativa*. En la segunda parte, sirve la primera imágen para formar una segunda cuyas tintas estan nuevamente invertidas, y se encuentran, de consiguiente, en su órden natural: esta es la *imágen positiva*.

La prueba negativa se puede obtener sobre vidrio ó sobre papel, pero generalmente sobre el primero para los retratos, y sobre el segundo para los paisages.

Pruebas negativas sobre vidrio. — Se limpia una lámina de vidrio frotándola con un trapito empapado, primero con fiemo diluido en alcohol, y luego con alcohol solo, y por fin se la frota con piel de gamuza. De la limpieza de la lámina depende en gran parte el feliz éxito de la operacion.

Bien limpia la lámina, y dispuesta horizontalmente, se vierte en ella colodion líquido que contenga una disolucion de ioduro de potasio, se inclina la lámina en diversos sentidos, á fin de obtener una capa de colodion bien uniforme en toda su estension, y por último, se vierte el resto del líquido dando mas inclinacion á la lámina.

Vaporizándose muy pronto el éter del colodion, toma este un aspecto mate. Introdúcese entonces la placa en una disolucion que contenga 1gr de nitrato de plata por 10gr de agua, y el ioduro de potasio se trasforma en ioduro de plata. Debe hacerse esta operacion en una pieza oscura, alumbrada tan solo por una vela ó por un quinqué con la bomba que sea de vidrio amarillo anaranjado, ó tapado simplemente por un cilindro de papel del mismo color. Se deja la placa como cosa de un minuto en el baño de plata, se la saca, y luego que está

bien seca se la coloca en un bastidor cerrado, trasladándola á la cámara oscura de Daguerre (fig. 331), conforme se hace con las metálicas (483). Allí, bajo la influencia de la luz, esperimenta el ioduro de plata un principio de descomposicion (465, 3.°), pero sin que sea aun aparente la imágen, por no haber sido bastante prolongada la accion. A fin de hacer visible la imágen, se introduce el papel en una disolucion de ácido pirogálico con adicion de ácido acético cristalizable, y se eleva la temperatura. En donde quiera que ha esperimentado el ioduro un principio de descomposicion, se forma un galato de plata, que es negro, y la imágen aparece súbitamente. Las partes sombreadas que no han recibido la accion de la luz quedan blancas, por no haberse descompuesto el ioduro de plata; pero como la luz ennegreceria muy pronto esta sal y haria desaparecer así la imágen, se lava la lámina en una disolucion de hiposulfito de sosa, que disuelve el ioduro de plata, volviendo inalterable la imágen por la accion de la luz.

Pruebas positivas sobre papel. — La prueba negativa sirve para producir un número indefinido de imágenes positivas. Cúbresela, al efecto, con un papel impregnado de cloruro de plata, y despues de comprimidas las dos hojas entre dos láminas de vidrio, se espone el todo á la accion de la luz, de modo que las partes oscuras de la imágen negativa producen sombra sobre el papel con cloruro de plata. Reprodúcese entonces sobre este una copia de la imágen negativa; pero con las partes claras reemplazadas por las oscuras, y recíprocamente. Se tiene, pues, una imágen positiva. Resta fijarla, lo cual se consigue lavando el papel, segun antes se ha dicho, en una disolucion de hiposulfito de sosa. En fin, para dar tono á la prueba, lo cual se llama *birar*, se la sumerge algunas horas en un baño de cloruro de oro, conteniendo una grama de cloruro por 1 litro de agua.

485. **Pruebas positivas sobre vidrio.** — Se obtienen hermosas pruebas positivas sobre vidrio, preparando primero las láminas como para las negativas, conforme se dijo en el párrafo anterior; pero la esposicion á la luz debe de ser menos prolongada que para las láminas negativas; la mitad próximamente. En el acto mismo de sacarlas del daguerreotipo, se las introduce en una disolucion saturada de protosulfato de hierro. De súbito aparece entonces la imágen, pero negativa. Para hacerla positiva, se introduce la lámina en una vasija llena de agua, á fin de separar el esceso de sulfato de hierro, y luego se vierte encima una disolucion de cianuro de potasio, que contenga 1 de esta sal por 10 de agua. Al instante se limpia la imágen, y queda positiva. Lávase, entonces; barnízase, y por fin se cubre el todo con una capa de betun de Judea. En seguida se ve la imágen en la otra cara de la lámina de vidrio.

486. **Fotografía sobre láminas de cristal albuminadas.** — El inconveniente que presentan las láminas de cristal, preparadas al colodion, es el de necesitar que se limpien inmediatamente despues de su preparacion; mientras que las láminas preparadas á la albúmina pueden conservarse ocho dias antes de someterlas á la accion de la

luz; pero ellas deben de esperimentar esta accion durante mucho mas tiempo que las láminas preparadas al colodion. Así es que hasta ahora estan sin uso para los retratos, y solamente se las emplea para tomar vistas.

El procedimiento de la fotografía por la albúmina es debido á M. Niepce de San-Victor. Para preparar esta sustancia, se baten unas cuantas claras de huevo en nieve, se las deja reposar, se decanta, y luego se añade 1 por 100 de ioduro potásico y 25 por 100 de agua. Se obtiene así un líquido que se puede conservar muchos dias en un frasco bien cerrado.

La lámina de cristal sobre que se quiere estender la albúmina debe de estar perfectamente limpia, lo mismo que para el colodion (484). Despues, se calienta la lámina ligeramente para hacerla adherir, del lado opuesto al que debe de servir, un estremo de tubo de gutta-percha, que sirve de mango para manejar la lámina.

Teniendo en seguida la lámina por su mango, se echa encima una capa de líquido albuminoso, preparado como se acaba de decir; tomando despues el mango de gutta-percha entre las dos manos, se le hace girar rápidamente, lo mismo que á la lámina, lo cual imprime al líquido albuminoso un movimiento centrífugo que hace se acumule sobre los bordes de la lámina el esceso de albúmina que se quita con una pipeta.

Una vez albuminada y seca la lámina, se la coloca durante 1 minuto en un baño de plata, conteniendo 8 de nitrato de plata y 8 de ácido acético cristalizable por 100 de agua. Separada la lámina del baño, se la puede colocar en la cámara oscura en el estado húmedo; cuando se la quiere usar al estado seco, es menester desembarazarla del esceso de plata que contiene, lavándola en el agua destilada, se la hace secar luego en la oscuridad, y entonces se la puede conservar muchos dias antes de ponerla en uso.

Cuando la lámina así preparada ha sufrido la accion de la luz, en la cámara oscura, durante unos 20 minutos, se hace aparecer la imágen sumergiendo la lámina en una disolucion de ácido agállico, que se calienta suavemente á la lámpara. Algunas gotas de una disolucion de nitrato de plata, añadidas al baño de ácido agállico, aceleran notablemente la aparicion de la imágen, y dan mas vigor á las sombras. Finalmente, habiendo lavado la lámina á gran cantidad de agua, se fija la imágen por una inmersion durante 5 minutos en un baño de hiposulfito de sosa, que contenga 8 de hiposulfito por 100 de agua.

La imágen obtenida de este modo es negativa, y sirve luego para dar pruebas positivas sobre cristal albuminado ó sobre papel (484).

487. **Linterna mágica.** — La *linterna mágica* es un aparatito que sirve para obtener, sobre una pantalla blanca, en una cámara oscura, imágenes amplificadas de objetos pequeños. Consiste en una caja de hoja de lata, con una lámpara situada en el foco de un reflector cóncavo A (fig. 333). Recibe los rayos que este refleja una lente convergente B (fig. 334), que los concentra hácia varias figuras pintadas sobre una lámina de vidrio V. Estas figuras, iluminadas así perfecta-

mente, se hallan delante de una segunda lente convergente C, á una distancia algo mayor que la focal principal. En tal posicion, produce dicha lente, sobre una pantalla situada á la debida distancia, una imágen real, invertida y muy amplificada, de los objetos pintados sobre el vidrio (454, 1.°). A fin de dar la posicion derecha á la imágen, se procura colocar el vidrio pintado en la linterna, de manera que esten invertidos los dibujos.

Fué inventada la linterna mágica por el padre Kircher, jesuita aleman, muerto en Roma en 1680.

El aumento que produce la linterna mágica es el mismo que dan las lentes (459), es decir, que es la relacion de las distancias de la

Fig. 334.

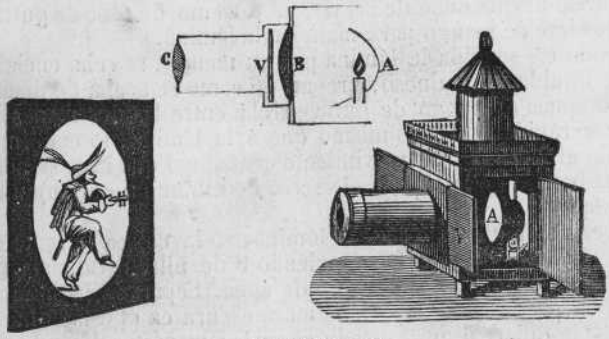


Fig. 333 (a=58).

lente C á la imágen y al objeto. De consiguiente, si la imágen dista 100, 1000 veces mas de la lente que el objeto, vale el aumento 100 ó 1000. Concíbese, pues, que una lente de foco corto puede, si dista suficientemente la lámina, producir imágenes sumamente amplificadas (454, 1.°).

* 488. **Microscopio solar.** — El *microscopio solar* es una verdadera linterna mágica iluminada por los rayos solares, que sirve para obtener imágenes muy amplificadas de objetos sumamente pequeños. Funciona este aparato en una cámara oscura, conforme se ve en la fig. 335, y los pormenores interiores estan representados en la 336.

Un espejo plano M, situado fuera de la cámara oscura, recibe los rayos solares y los refleja sobre una lente convergente A, y de aquí sobre otra E (fig. 336), llamada *focus*, que los concentra en su foco. En este punto se halla el objeto cuya imágen se desea obtener, entre dos láminas de vidrio O, que se introducen entre dos láminas metálicas KK, oprimidas por efecto de los resortes HH. Estando entonces fuertemente iluminado el objeto y situado muy cerca del foco de una pequeña lente L, muy convergente, forma esta su imágen *ab*, invertida y muy amplificada, sobre una pared ó una pantalla blanca que se halle á la debida distancia (454). Los tornillos de boton D y C

sirven para regular la distancia de las lentes E y L al objeto, de modo que se encuentre este exactamente en el foco de la primera, y que la imágen formada por la lente L corresponda con exactitud á la pantalla.

Como varía de contínuo la direccion de la luz solar, es preciso que varíe tambien la del reflector que está fuera de la cámara oscura, á

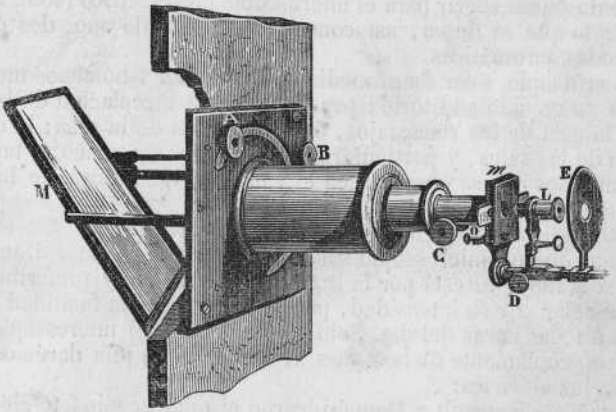


Fig. 335.

fin de que se efectúe constantemente la reflexion en el sentido del eje del microscopio. Lo mas exacto hubiera sido recurrir al helióstato (433); pero como es muy costoso este aparato, se le suple inclinando mas ó menos el espejo M por medio de un tornillo sin fin B y de un piñon, y haciendo girar este mismo espejo alrededor de la lente A, lo cual se obtiene por medio de un boton A (fig. 335), que se mueve

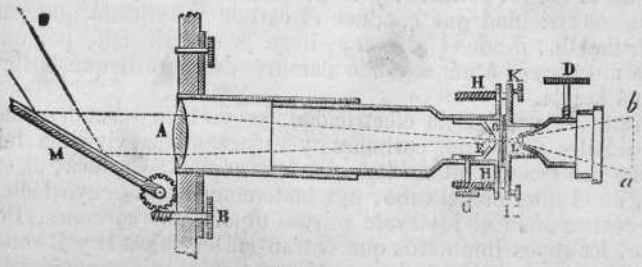


Fig. 336.

por medio de una corredera fija, y trasmite al espejo un movimiento de rotacion alrededor del eje del aparato.

El microscopio solar tiene el inconveniente de concentrar sobre el objeto un calor demasiado intenso, que le altera muy pronto. Evítase esto interponiendo una capa de agua saturada de alumbre, la

cual, poseyendo un poder diatérmano muy débil, intercepta parte del calor (367).

Puede determinarse esperimentalmente el aumento del microscopio solar, poniendo, en vez del objeto, una lámina de vidrio con divisiones de $^1/_{10}$ ó $^1/_{100}$ de milímetro. Midiendo en seguida sobre la imágen el intervalo de estas divisiones, se deduce su aumento. El mismo procedimiento puede servir para el microscopio foto-eléctrico (489). Segun el aumento que se desea, así consta el objetivo de uno, dos ó tres lentes todas acromáticas.

El microscopio solar da el medio de manifestar fenómenos muy curiosos á un crecido auditorio: por ejemplo, la circulacion de la sangre en la cola de los renacuajos, ó en las patas de la rana; la cristalizacion de las sales, y particularmente de la sal amoniaco, y tambien los animalillos que se observan en el vinagre, en la pasta de harina, en las aguas estancadas, etc.

489. **Microscopio foto-eléctrico.** — El *microscopio foto-eléctrico* no es mas que un microscopio solar que, en vez de estar iluminado por el sol (488), lo está por la luz eléctrica. Es muy preferible esta luz á la solar por su intensidad, por su fijeza y por la facilidad en obtenerla á todas horas del dia. Solo describirémos el microscopio foto-eléctrico propiamente dicho, pues al hablar de la pila darémos á conocer la luz eléctrica.

Los señores Foucault y Donné idearon el microscopio foto-eléctrico. La fig. 337 representa la disposicion que M. Duboscq ha dado á este aparato. Sobre una caja rectangular de laton se halla fijo un microscopio solar ABD, idéntico al anteriormente descrito. Se ven en el interior dos barritas de carbon *a* y *c* que no se tocan, correspondiendo exactamente su intervalo al eje de las lentes del microscopio. La electricidad de una fuerte pila pasa por un alambre de cobre K al carbon *a*, y de este al *c*, por lo cual debe principiar por hallarse en contacto con el primero; y luego se les separa un poco, pues ya basta la electricidad que conduce el carbon vaporizado que pasa de *a* á *c*. Por fin, desde el carbon *c*, llega la electricidad, por una columna metálica *o*, á un segundo alambre de cobre H que la lleva de nuevo á la pila.

Durante el paso de la electricidad, se vuelven incandescentes las estremidades de los dos carbones, y esparcen una vivísima luz que ilumina con grande intensidad el microscopio. Se coloca, al efecto, en D, en el interior del tubo, una lente convergente cuyo foco principal corresponde al intervalo mismo de los dos carbones. De esta suerte, los rayos luminosos que entran en los tubos D y B son paralelos á su eje, y verificándose todo como en el microscopio solar ordinario, se forma sobre una pantalla E, mas ó menos lejana, una imágen muy amplificada de objetos pequeños situados entre dos láminas de vidrio, en el estremo del tubo B. El objeto figurado en la placa es el *acarus* de la sarna.

En el esperimento que acabamos de describir se gastan con desigualdad los dos carbones, *a* mas pronto que *c*. Resulta de aquí que

tiende á aumentarse el intervalo de los dos carbones, y por lo tanto, se debilita y hasta se apaga la luz.

A fin de obviar este inconveniente, añade M. Duboscq á su aparato un regulador P, por medio del cual queda sensiblemente constante el intervalo de los dos carbones. Hay, al efecto, en el interior del cilindro P un movimiento de relojería, regulado por el paso mismo de

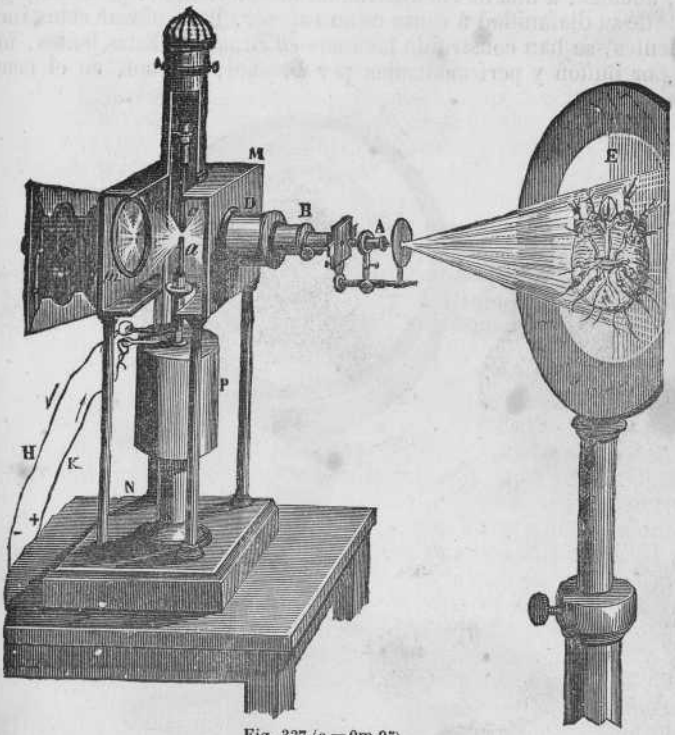


Fig. 337 (a = 0m,95).

la electricidad, merced á un aparato que describirémos mas adelante con el nombre de *electro-iman*. Cuando están aproximados los dos carbones, posee este electro-iman toda su fuerza y mantiene fija una planchita de hierro que se opone á las piezas que tienden á hacer marchar los carbones. Pero cuando aumenta el intervalo de estos, se debilita la cantidad de electricidad que pasa á los carbones, y al perder su fuerza el electro-iman, permite que funcione un sistema de resortes y de palancas que hacen aproximar los carbones.

El aparato MN, abstraccion hecha de los tubos A, B, D, se ha convertido, en manos de M. Duboscq, en un *aparato fotogénico* universal. Reemplazando el microscopio ABC sucesivamente por *cabezas* de

fantasmagoría, de poliorama, de megascopo, y por aparatos polarizadores, se consigue repetir, con este solo aparato, todos los esperimentos de óptica. Por eso reemplaza hoy con ventaja este aparato al que se conocia antiguamente con el nombre de *microscopio de gas*.

* 490. **Lentes en escalones; faros.** —Las lentes de grandes dimensiones presentan muchas dificultades de construccion, y dan lugar, además, á una fuerte aberracion de esfericidad, perdiendo gran parte de su diafanidad á causa de su espesor. Para obviar estos inconvenientes, se han construido las *lentes en escalones*. Estas lentes, ideadas por Buffon y perfeccionadas por Fresnel, constan, en el centro,

Fig. 338.

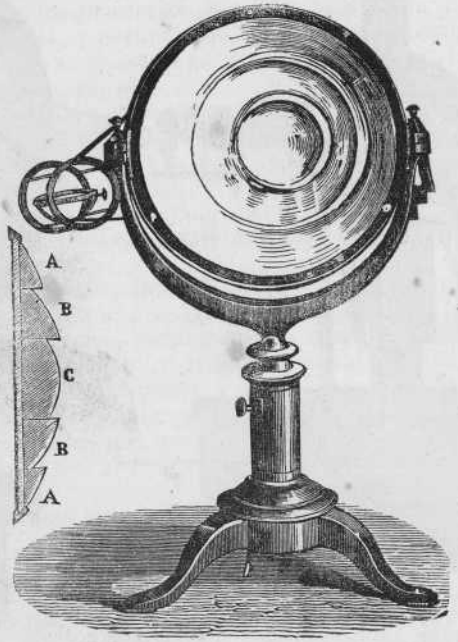


Fig. 339.

de una lente plano-convexa C (fig. 338 y 339), rodeada de una série de segmentos anulares y concéntricos A, B, cada uno de los cuales tiene una cara plana situada en el lado mismo que la cara plana de la lente central, mientras que las caras opuestas ofrecen una curvatura tal, que los focos de los diferentes segmentos van á formarse en el mismo punto. El conjunto de estos anillos, forma, pues, con la lente central una lente única, representada en corte en la figura 338. Nuestro dibujo ha sido hecho ante una lente de unos 60 centímetros de diámetro, y cuyos segmentos anulares constan de una sola pieza

de vidrio; pero en las lentes mayores cada segmento se compone á su vez de muchas piezas.

Detrás de la lente hay un pie, fijo por tres varillas, sobre el cual se colocan los cuerpos que se quieren someter á la accion de los rayos solares que caen sobre la lente. Como el centro del pie corresponde al foco, se funden y volatilizan las sustancias que se ponen allí, por la alta temperatura que se produce. El oro, el platino y el cuarzo se funden con rapidez. Obsérvese que estos esperimentos demuestran que el calórico se refracta siguiendo las mismas leyes que la luz, pues el foco de calor se forma en el mismo punto que el luminoso.

Antes se hacia uso de reflectores parabólicos para llevar á grandes distancias la luz de los *faros*. Así se llaman unos fuegos que se encienden en las costas por la noche, para que sirvan de guia á los navegantes. Hoy se hace uso únicamente de lentes en escalones; el fuego procede de una luz con 3 ó 5 mechas concéntricas, que alumbra tanto como quince lámparas de Cárcel. Colocada en el foco principal de una lente en escalones, por el lado de la cara plana, forman los rayos emergentes un haz paralelo (fig. 286), que solo pierde de su intensidad por su paso al traves de la atmósfera (470), y visible acaso hasta 60 á 70 quilómetros. A fin de que todos los puntos del horizonte se hallen sucesivamente iluminados por un mismo faro, se mueve la lente alrededor de la lámpara, por medio de un mecanismo de relojería, efectuando su revolucion en un tiempo que varía para cada faro. Resulta de aquí que, en los diversos puntos del horizonte, hay sucesivamente aparicion y eclipse de luz á intervalos de tiempos iguales. Los eclipses sirven á los marinos para distinguir los faros de un fuego accidental; y además, por el número de eclipses en un tiempo dado, reconocen el faro, y por lo tanto, la costa que tienen enfrente.

CAPITULO VI.

DEL OJO CONSIDERADO COMO INSTRUMENTO DE OPTICA.

491. **Estructura del ojo humano.** — El *ojo* es el órgano de la *vision*, es decir, del fenómeno en virtud del cual la luz emitida ó reflejada por los cuerpos origina en nosotros la sensacion que nos revela su presencia.

Situado el ojo en una cavidad ósea que se llama *órbita*, se halla mantenido por los músculos que sirven para moverle, por el nervio óptico, la conjuntiva, los párpados y la aponeurosis órbito-ocular. Todos estos medios, asegurándole una sólida contencion, le permiten movimientos muy variados y muy estensos. Su volúmen es casi el mismo en todos los individuos; pero la abertura variable de los párpados es la única causa de que aparezca mas ó menos voluminoso.

La fig. 340 representa un corte trasversal del ojo de delante atrás. Vése que su forma general es la de un esferoide con la parte anterior de mayor curvatura que la posterior. Consta el ojo de varios medios

y membranas, que son: la *córnea*, el *iris*, la *pupila*, el *humor acuoso*, el *cristalino*, el *cuerpo vítreo*, la *membrana hialóides*, la *coróides*, la *retina* y el *nervio óptico*.

Córnea. — La córnea *a* es una membrana trasparente situada delante del globo del ojo. Tiene sensiblemente la forma de un pequeño casquete esférico, con una base de 11 á 12 milímetros de diámetro. Su circunferencia, tallada á bisel á espensas de su cara esterna, se engasta en la esclerótica *i*; y la adherencia de estas dos membranas es tal, que han sido consideradas por algunos anatómicos como una sola y única membrana.

Esclerótica. — La esclerótica *i* es una membrana que, con la córnea, envuelve todas las partes constituyentes del ojo. Presenta delante una abertura casi circular, en la cual se halla engastada la córnea, y está perforada para dar paso al nervio óptico en la region posterior é interna.

Iris. — El iris *d* es un diafragma anular opaco, adherente por su perímetro esterior y libre por su borde central. Esta membrana se halla entre la córnea y el cristalino. Constituye la parte colorada del ojo, y lleva, no en su centro, sino un poco hácia adentro, una abertura que se llama *pupila*, y que en el hombre es circular [1]. En otros animales es estrecha y prolongada en el sentido vertical, particularmente en los del género *felis*, y en el trasversal en los rumiantes. Por la pupila penetran en el globo del ojo los rayos luminosos. Su diámetro, variable en un mismo indivíduo, es, por término medio, de 3 á 7 milímetros, pero á veces depasa estos límites. Las alternativas de ensanche y de contraccion de la pupila se verifican con rapidez, son frecuentes y desempeñan un importante papel en el fenómeno de la vision. La pupila se contrae bajo la influencia de una viva luz, y se dilata, por el contrario, en la oscuridad. Los movimientos del iris son, al parecer, involuntarios.

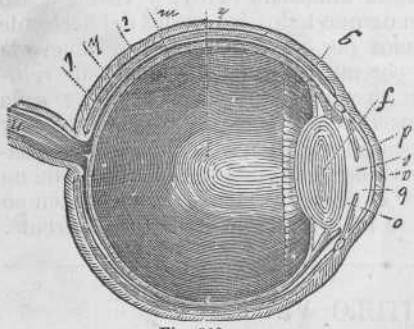


Fig. 340.

En vista de lo que precede, el iris es una pantalla de abertura variable, que tiene por objeto regular la cantidad de luz que penetra en el ojo, pues el tamaño de la pupila varía en sentido contrario á la intensidad de la luz. Sirve tambien el iris para corregir la aberracion de esfericidad, oponiéndose al paso de los rayos marginales por los bordes del cristalino, es decir, que desempeña en el ojo el papel de un diafragma en los instrumentos de óptica (457).

---

[1] En Alcoy tuvimos ocasion de observar la pupila de una jóven, cuya forma era la de un grano de arroz. *(N. de J. P.)*

Humor acuoso. — Entre la parte posterior de la córnea y la anterior del cristalino hay un líquido trasparente llamado humor acuoso. El espacio *e*, ocupado por este humor, está divido en dos secciones por el iris: la parte *b*, comprendida entre la córnea y el iris, se denomina *cámara anterior*, y la *c*, entre el iris y el cristalino, es la *cámara posterior*.

Cristalino. — El cristalino es un cuerpo lenticular *f*, situado detrás del iris y muy cerca de esta membrana. Es notable por su trasparencia, y está envuelto por una membrana diáfana como él, ó sea por la *cápsula*, que se adhiere por su borde á la corona anular formada por los *procesos ciliares g*.

La cara anterior del cristalino es menos convexa que la posterior. Consta su tejido de una série de laminitas casi concéntricas, y mas duras en el centro que en la circunferencia, pues las mas superficiales son tan blandas, que casi parecen líquidas. Se les ha dado el nombre de *humor de Morgagni*. El poder refringente de estas capas decrece del centro á la periferia.

Cuerpo vítreo, membrana hialoides. — Llámase cuerpo vítreo, ó humor vítreo, una masa trasparente, comparable con la albúmina ó clara de huevo, que ocupa toda la parte *h* del globo del ojo situada detrás del cristalino. El cuerpo vítreo se halla envuelto por la *membrana hialoides l*, que tapiza la cara posterior de la cápsula cristalina y toda la interna de otra membrana, que es la retina.

Retina, nervio óptico. — La retina *m* es una membrana que recibe la impresion de la luz y la trasmite al cerebro por el intermedio de un nervio *n*, llamado nervio óptico, que parte del cerebro, penetra en el ojo y se pierde en la retina bajo la forma de una red nerviosa.

El nervio óptico y la retina no disfrutan mas que de la propiedad especial de recibir y de trasmitir al cerebro la impresion de las imágenes, de modo que son completamente insensibles á la accion de los cuerpos vulnerantes. Estos órganos han sido dislacerados, pinchados y cortados, sin que diesen los animales sometidos á estos esperimentos muestras del mas mínimo dolor.

Coroides. — La coroides *k* es una membrana interpuesta entre la retina y la esclerótica. Es esencialmente vascular, y está cubierta, sobre todo en su cara interna, de una materia negra semejante al pigmento de la piel de los negros, y destinada á absorber todos los rayos que no deben cooperar á la vision.

La coroides se prolonga por delante, formando una série de repliegues salientes *g*, llamados *procesos ciliares*, y situados entre el iris y la cápsula cristalina, á la cual adhieren, formando á su alrededor un disco bastante parecido á una flor radiada. Sirve, por su tejido vascular, la coroides para trasportar la sangre al interior del ojo, y sobre todo, á los procesos ciliares.

492. Indices de refraccion de los medios trasparentes del ojo. — Los índices de refraccion de las partes trasparentes del ojo han sido determinados por M. Brewster. Los hemos reunido en el cuadro siguiente, con el del agua, como término de comparacion.

Agua.	1,3358	Cubierta esterior del cristalino.	1,3767
Humor acuoso.	1,3366	Centro del cristalino.	1,3990
Humor vítreo.	1,3394	Refraccion media del cristalino.	1,3839

493. **Curvatura y dimensiones de las diversas partes del ojo humano:**

Radio de curvatura de la esclerótica. . . .	10 á 11 milímetros.
Id. de la córnea.	7 á 8
Id. de la cara anterior del cristalino. .	7 á 10
Id. de la cara posterior.	5 á 6
Diámetro del iris.	11 á 12
Id. de la pupila.	3 á 7
Id. del cristalino.	10
Espesor del mismo.	5
Distancia de la pupila á la córnea.	2
Longitud del eje del ojo.	22 á 24

La curvatura de la córnea, segun M. Chossat, es la de un elipsoide de revolucion alrededor de su eje mayor, y la del cristalino es igual á la de un elipsoide de revolucion alrededor de su eje menor.

494. **Marcha de los rayos en el ojo.** — En vista de las diversas partes que componen el ojo, se puede comparar este órgano á una

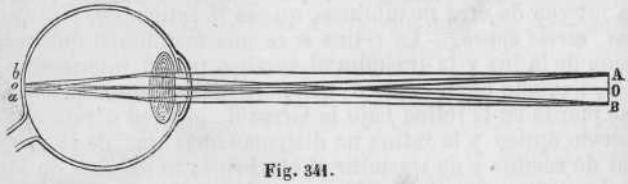


Fig. 341.

cámara oscura (481), cuya abertura es la pupila, el cristalino la lente convergente, y la retina la pantalla sobre la cual va á pintarse la imágen. El efecto es, pues, el mismo que el que da orígen en el foco conjugado de una lente bi-convexa á la imágen de un objeto situado delante de la lente. Sea, en efecto, un cuerpo AB (fig. 341) que está delante del ojo, y consideremos los rayos que aquel emite desde un punto cualquiera A. De todos estos rayos, los que van dirigidos hácia la pupila son los únicos que penetran en el ojo y que se utilizan para la vision. Al entrar estos rayos en el humor acuoso, se refractan acercándose al eje O*o*, tirado por el centro óptico del cristalino; encuentran luego á este que los refracta de nuevo como una lente bi-convexa; y por fin, despues de haber sufrido una última refraccion en el humor vítreo, concurren en un punto *a* formando en él la imágen del A. Los rayos que parten del punto B van de igual manera en *b* á formar su imágen, resultando de aquí una imágen *ab* muy pequeña, real é invertida, que se produce exactamente en la retina cuando el ojo está bien conformado.

495. **Inversion de las imágenes.** — A fin de cerciorarse de que

realmente están invertidas las imágenes que se forman en la retina, se toma un ojo de albino, porque la coroides de los ojos de estos animales carece de pigmento, y de consiguiente, puede atravesarla por completo la luz. Se desprende el tejido celular de la parte posterior, se le aplica al orificio de una cámara oscura, y se observa entonces con una lente que van á pintarse en la retina las imágenes invertidas de los objetos esteriores.

La inversion de las imágenes en el ojo ha dado mucho que pensar á los físicos y á los fisiólogos, habiéndose propuesto varias teorías para esplicar por qué vemos derechos los objetos. Los unos han admitido que por costumbre y por una verdadera educacion del ojo los vemos derechos, es decir, en su posicion relativa respecto de nosotros. Algunos creen que referimos el sitio real de los objetos en la direccion de los rayos luminosos que emiten, y que, cruzándose estos rayos en el cristalino (fig. 341), ve el ojo los puntos A y B respectivamente en la direccion *a*A y *b*B, y por lo mismo aparece derecho el objeto. Tal era la opinion de D'Alembert. M. Muller, Volkmann y otros sostienen que, como lo vemos todo invertido, y no un objeto único entre otros, nada puede parecernos invertido, supuesto que carecemos entonces de término de comparacion. Ninguna de estas teorías es suficientemente satisfactoria.

496. **Eje óptico, ángulo óptico, ángulo visual.** — Denomínase *eje óptico principal* de un ojo su eje de figura, es decir, la recta con

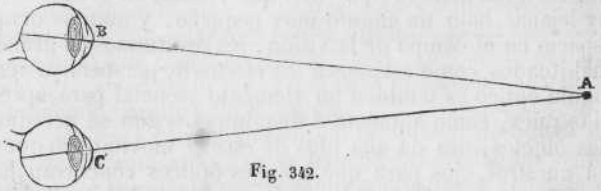


Fig. 342.

relacion á la cual es simétrico. En un ojo bien conformado, es la recta O*o* (fig. 341) que pasa por el centro de la pupila y por el del cristalino. Las líneas A*a*, B*b*, que son sensiblemente rectilíneas, son ejes secundarios. En la direccion del eje óptico principal, ve el ojo con mas limpieza los objetos.

El *angulo óptico* es el ángulo BAC (fig. 342) formado por los ejes ópticos principales de los dos ojos, cuando estan dirigidos hácia un

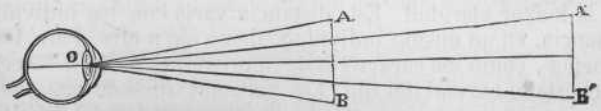


Fig. 343.

mismo punto. Este ángulo es tanto menor, cuanto mas lejanos se hallan los objetos.

El *ángulo visual* es el AOB (fig. 343), bajo el cual se ve un objeto,

es decir, el ángulo formado por los ejes secundarios tirados desde el centro óptico del cristalino á las estremidades opuestas del objeto. Para una misma distancia, decrece este ángulo con el tamaño del objeto, y para un mismo objeto, disminuye con la distancia, conforme sucede si pasa el objeto de AB á A'B'. Resulta de ahí que los objetos aparecen tanto mas pequeños, cuanto mas distan, porque, cruzándose los ejes secundarios AO, BO en el centro del cristalino, depende del valor del ángulo visual AOB el tamaño de la imágen proyectada sobre la retina.

497. **Apreciacion de la distancia y del tamaño de los objetos.** — La apreciacion de la distancia y del tamaño depende del concurso de muchas circunstancias, que son: el ángulo visual, el ángulo óptico, la comparacion con objetos cuyo tamaño nos es familiar, y la diminucion de limpieza de la imágen por la interposicion de un aire mas ó menos vaporoso.

Cuando es conocido el tamaño de un objeto, como la estatura de un hombre, la altura de un árbol ó de una casa, se aprecia su distancia por la abertura del ángulo visual bajo el cual se le ve. Si no se conoce el tamaño, se le juzga relativamente al de los objetos que lo rodean.

Una columnata, ó una fila de árboles, parece que disminuyen de tamaño á medida que aumenta su distancia, porque decrece el ángulo visual; pero la costumbre de ver columnas y árboles con su altura regular hace que nuestro juicio rectifique la apariencia producida por la vision. De igual manera, por mas que veamos un grupo de montañas muy lejanas bajo un ángulo muy pequeño, y aunque ocupen un corto espacio en el campo de la vision, les restituimos su grandor natural, habituados como estamos á los efectos de perspectiva aérea.

El ángulo óptico es tambien un elemento esencial para apreciar la distancia, pues, como aumenta ó disminuye segun se acerquen ó se alejen los objetos, nos da una idea de esta el movimiento que imprimimos á nuestros ojos para que sus ejes ópticos concurran hácia el objeto que miramos. Con todo, solo un largo hábito llega á establecer así una relacion entre la distancia que nos separa de los objetos y el correspondiente movimiento de nuestros ojos. Nótase, en efecto, que los ciegos que recobran la vista mediante la operacion de la catarata, creen en un principio que todos los objetos se hallan á igual distancia.

498. **Distancia de la vista distinta.** — Llámase *distancia de la vista distinta* la distancia á que deben hallarse los objetos para ser vistos con la mayor claridad. Esta distancia varía con los indivíduos, y con frecuencia, en un mismo indivíduo, de un ojo á otro. Para los objetos pequeños, como los caractéres de imprenta, es de 25 á 30 centímetros en el estado normal del ojo. Las personas que solo ven á una distancia menor son *miopes*, y si esta ha de ser mayor son *présbitas* (509).

499. **Modo de adaptarse el ojo á todas las distancias.** — El ojo presenta una notable propiedad, que no se nota en grado igual en ningun instrumento de óptica: tal es la de que, si bien tienden las imágenes á formarse tanto mas hácia delante de la retina, cuanto mas

lejanos se hallan los objetos (454), van siempre á constituirse sobre esta membrana; pues el ojo ve con limpieza á distancias muy variables, á partir de la que corresponde á la vista distinta. Con todo, si bien podemos ver con claridad á distancias muy desiguales, no sucede esto simultáneamente, lo cual indica alguna modificacion en el sistema del ojo, ó por lo menos, la necesidad de fijar nuestra atencion sobre el objeto que deseamos ver. En efecto, si se miran dos objetos alineados, situados, por ejemplo, el uno á un metro y el otro á dos del ojo, fijándose en el primer objeto, parece nebuloso el segundo, mientras que, fijándose en este, se vuelve á su vez nebuloso aquel. Dedúcese de ahí que, cuando el ojo ha sido dispuesto para ver á una distancia, no lo está para ver á otra; pero que puede adaptarse sucesivamente á la una y á la otra.

Muchas hipótesis se han propuesto para esplicar cómo puede ver con limpieza el ojo á distancias muy diferentes. M. Mile y M. Pouillet ven su causa en las dilataciones y contracciones de la pupila. El primero cree que los rayos luminosos sufren en los bordes del iris una difraccion ó inflexion que puede dar lugar á distancias focales muy distintas. Fundándose en la desigual refrangibilidad del cristalino, que decrece desde el centro á la circunferencia, y observando que deben resultar de ahí una série de focos formados, los mas cercanos que atraviesan al cristalino mas cerca de su centro, admite M. Pouillet que, abriéndose mas ó menos la pupila, se ven los objetos lejanos por los bordes del cristalino, y los mas inmediatos por el centro. Obsérvase, efectivamente, que las contracciones ó dilataciones del orificio pupilar se hallan enlazadas con la disposicion del ojo á las distancias; pero conviene observar que lo estan igualmente con las variaciones de intensidad de la luz, y que para una misma sustancia puede variar mucho la abertura de la pupila.

Rohaut, Olvers y otros han emitido la opinion de que el diámetro del ojo, de delante atrás, varía bajo la influencia de los músculos que ponen en movimiento este órgano, acercando ó alejando la retina del cristalino, al mismo tiempo que á este se aproxima ó se aparta la imágen, pues sabido es (450, 2.°) que en las lentes convergentes se acerca la imágen á medida que se aleja el objeto.

Hunter y Young han atribuido al cristalino una propiedad contráctil en virtud de la cual adquiere una forma mas ó menos convexa, de modo que siempre convergen los rayos sobre la retina.

Kepler, Camper y otros muchos han admitido que, por la accion de los procesos ciliares, puede acercarse mas ó menos el cristalino á la retina.

Por último, se ha supuesto que la limpieza de la vision, á distancias muy diversas, puede provenir, no de que se muevan la retina ó el cristalino en términos de que la imágen vaya á formarse siempre sobre la retina, sino de que las variaciones que sufre la distancia focal del cristalino á medida que se alejan los objetos, son bastante pequeñas para que conserve aun la imágen suficiente limpieza.

Los esperimentos de M. Magendie y los de Haldat confirman esta

última teoría. Observó el primero, con un ojo de albino, que la claridad de las imágenes no variaba en objetos situados á distancias muy desiguales; y de Haldat encontro que, si se coloca un cristalino como objetivo en la ventana de una cámara oscura, se obtienen sobre un vidrio deslustrado imágenes igualmente limpias de los objetos esteriores, así á la distancia de 3 á 4 decímetros, como de 20 á 30 metros. Parece contraria á las leyes de la refraccion esta propiedad del cristalino en el estado de inercia; pero hay que atribuirla á la estructura de este órgano, que se distingue por completo de las lentes ordinarias. No esplicó Haldat estos fenómenos, pero Sturm dió de ellos la siguiente teoría.

500. **Teoría de la vision de M. Sturm.** — Para esplicar de qué manera puede adaptarse el ojo á todas las distancias, observa M. Sturm que, segun los trabajos de los fisiologistas Young, Chossat y otros, no son esféricas las curvaturas de los diferentes medios del ojo, y que, por lo mismo, no puede ser asimilado de un modo absoluto este órgano á un sistema de lentes homogéneas y esféricas yustapuestas sobre un mismo eje, y que el cristalino, en particular, no es comparable con una lente esférica ordinaria. Admite, por fin, que debemos mirar el ojo como formado por muchos medios desigualmente refringentes, separados por superficies que, no solo no son esféricas, sino que no forman un sistema simétrico alrededor de un eje comun.

Apoyándose en consideraciones geométricas relativas á las superficies conocidas en matemáticas con el nombre de *superficies gauchas* ó alabeadas, busca Sturm la forma que toma un haz luminoso muy delgado, que se ha refractado sucesivamente en distintos medios que no son igualmente refringentes. Considerando el caso en que atraviese el haz un diafragma de abertura muy pequeña, cuyo plano es perpendicular al eje de aquel, y suponiendo los rayos luminosos emanados de un punto situado sobre este eje, halla M. Sturm, por medio del cálculo, que las intersecciones sucesivas de estos rayos forman una superficie cáustica (457) que encuentra al eje del haz en dos puntos, entre los cuales está el haz mas condensado que en todos los restantes. M. Sturm ha denominado á estos dos puntos, que designarémos con las letras F y *f*, los *focos* del haz, y la distancia que los separa *intervalo focal* del mismo. Aplicando á la vision las consideraciones teóricas que preceden, se espresa M. Sturm en estos términos:

«Se ha admitido generalmente que, para ver de un modo distinto un punto luminoso, era preciso que los rayos emanados de este fuesen á formar su foco en la retina, ó por lo menos, muy cerca. Pero las consideraciones que preceden prueban, á mi modo de ver, que no hay un foco ó punto único de convergencia, sino que hay siempre, para un haz muy delgado que ha penetrado en el humor vítreo y que va á encontrar la retina, lo que he llamado mas arriba *intervalo focal*, que puede ser mas ó menos largo. No es posible que llegue á ser absolutamente nulo este intervalo en el ojo, porque ofrece este una reunion de diversos medios desigualmente refringentes (en número de

tres, por lo menos, sin contar la córnea), separados por superficies que no son de un modo riguroso esféricas, ni siquiera simétricas con relacion á un eje comun.

«Creo, pues, que en el ojo, el intervalo focal propio de cada haz que proviene de un punto esterior, no es nulo, sino muy pequeño, es decir, de 1 ó 2 milímetros á lo sumo. Admito, segun la opinion general de los fisiólogos, que solo la retina recibe la impresion de la luz (ó, segun Mariotte y Brewster, la cubierta coróides que se halla inmediatamente debajo de la retina, por ser esta trasparente). Siendo casi perpendicular á la superficie de la retina la direccion del rayo central sobre el cual se encuentran los focos F, *f*, será visto con la suficiente claridad el punto de donde emanan los rayos luminosos, si la línea F*f*, aunque muy corta, encuentra á la retina en un punto situado entre F y *f*, ó bien un poco mas allá de F, ó mas acá de *f*; porque entonces el tenuísimo haz luminoso que dejó pasar la pupila, interceptará sobre la superficie de la retina un espacio sumamente reducido, incomparablemente menor que la seccion hecha en este haz muy cerca del cristalino.»

En resúmen, en la teoría de M. Sturm, el sitio en donde puede obrar la luz sobre la retina no es un punto único, sino un *foco lineal* F*f*, en toda la estension del cual se halla bastante condensado el haz luminoso que penetra en la pupila para producir en el ojo la sensacion de la vision. De consiguiente, cuando se alejan ó se acercan los objetos luminosos, basta, para que veamos distintamente, que se halle siempre comprendida la retina entre los dos focos F y *f*, ó que coincida sensiblemente con uno de ellos.

501. **Vista simple con los dos ojos.** — Cuando los dos ojos se fijan sobre un mismo objeto, se forma una imágen en cada retina, y

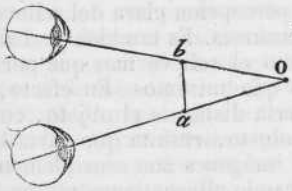


Fig. 344.

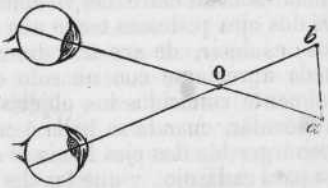


Fig. 345.

sin embargo, no vemos mas que un objeto. Para esplicar la vista simple con los dos ojos, admitia Gassendi que en un mismo instante no se efectúa mas que la percepcion de una de las imágenes, lo cual es inadmisible despues de los esperimentos de M. Weathstone, que mas abajo referimos.

Taylor y Wollaston dicen que dos puntos homólogos de derecha ó de izquierda, sobre las dos retinas, corresponden á un mismo filete nervioso cerebral de la derecha ó de la izquierda, bifurcado en el entrecruzamiento de los dos nervios ópticos. Esta opinion se halla acorde con un hecho que se observa en algunos indivíduos, ó sea la paráli-

sis transitoria de la retina, por mitad y del mismo lado en cada ojo, de la derecha ó de la izquierda simultáneamente, de suerte que los enfermos no ven mas que la mitad derecha ó la izquierda de los objetos. Wollaston y Arago observaron en sí mismos esta afeccion de la retina.

M. Brewster atribuye la unidad de sensacion á la costumbre que adquirimos de referir á un mismo objeto las impresiones simultáneas, producidas sobre las dos retinas.

Hé ahí los principales hechos que se observan en la vision con los dos ojos : se ve mas claro con dos ojos que con uno solo; y en efecto, mirando un objeto con un solo ojo primero, y luego con los dos, es muy sensible la diferencia de brillo.

Cuando cada ojo se fija sobre un objeto distinto, de modo que los dos ejes ópticos concurran mas allá ó mas acá de estos objetos, pueden producirse notables ilusiones de óptica. Por ejemplo, si se miran dos objetos idénticos y de pequeñas dimensiones *a* y *b*, por medio de dos tubos aisladores que den á los ejes ópticos de ambos ojos las direcciones concurrentes *a*O y *b*O (fig. 344), no se ve mas que un objeto único, pero mas lejano en el punto de encuentro O de los dos ejes.

Si este punto de cruzamiento de los dos ejes se halla delante de los puntos que se miran (fig. 345), no se ve tampoco mas que un solo objeto, pero mas cercano, en el punto O.

Si los objetos *a* y *b* son dos pequeños discos, rojo el uno y verde el otro, se ve un disco blanco, porque son complementarios aquellos dos colores (464). Estos diversos esperimentos demuestran que las impresiones en ambos ojos son simultáneas, y que se superponen para causar una sensacion única.

M. Weathstone ha hecho numerosos esperimentos que revelan una diferencia esencial entre las visiones biocular y uniocular; pues solo con los dos ojos podemos tener una percepcion clara del relieve de los cuerpos, es decir, de sus tres dimensiones. Es tambien probable que no pueda apreciarse con un solo ojo el relieve mas que por sernos generalmente conocidos los objetos que miramos. En efecto, en la vision biocular, cuando se halla á corta distancia el objeto, como deben converger los dos ejes hácia el objeto, resulta que varía la perspectiva para cada ojo, y que las dos imágenes son sensiblemente desiguales. Es fácil comprobar esto mirando alternativamente un mismo objeto con cada ojo; pues de la percepcion simultánea de estas dos imágenes resulta, al parecer, la percepcion del relieve, conforme lo demuestra el esperimento que sigue.

502. **Estereóscopo.** — M. Weathstone ha ideado un aparato ingenioso, el *estereóscopo*, que sirve para hacer sensible el efecto de la vision con los dos ojos, á fin de apreciar el relieve de los cuerpos. Este aparato, modificado por M. Brewster, consiste en una cajita de madera, cuya pared superior lleva dos tubos directores de los ejes ópticos. En el fondo de la caja hay dos dibujos, que cada ojo ve aisladamente al traves de un vidrio convergente colocado en los tubos. Estos dibujos representan el mismo objeto, pero visto bajo distinta

perspectiva, que es precisamente la que corresponderia al eje óptico de cada ojo si mirase el objeto á corta distancia. Resulta que, mirando al traves de los dos tubos, recibe cada ojo la misma impresion que si mirase el objeto, siendo tan distinta y viva la percepcion del relieve, que es completa y verdaderamente sorprendente la ilusion.

Por medio del estereóscopo se han cerciorado M. Foucault y el doctor Regnault de que, cuando dos colores distintos impresionan simultáneamente ambas retinas, no se percibe mas que un solo color misto; pero tambien observaron que la aptitud para la recomposicion de las dos tintas en una, varía de un modo notable, segun los indivíduos, pudiendo ser escesivamente débil, y hasta nulo en algunas personas. Iluminando con dos haces de colores complementarios (464) dos discos blancos, colocados en el fondo del estereóscopo, y mirando cada disco colorado con un ojo, se ve un disco blanco único, lo cual demuestra que la sensacion de la luz blanca puede nacer de dos impresiones cromáticas complementarias y simultáneas en cada una de las dos retinas.

503. **Parte insensible de la retina.**—La retina no es igualmente sensible en todas sus partes, segun lo prueba el siguiente esperimento de Mariotte: márcanse dos puntos negros sobre papel blanco, distantes entre sí algunos centímetros, y luego, acercando mucho el papel al ojo, se fija el punto de la izquierda con el ojo derecho, lo cual no impide ver el otro punto; pero si se aleja lentamente el papel, desaparece á cierta distancia el punto de la derecha, para reaparecer muy pronto si se continúa alejando el papel. Lo propio sucede mirando el punto de la derecha con el ojo izquierdo.

Mariotte notó que en el momento en que cesa el punto de ser visible, se proyecta su imágen sobre la insercion misma del nervio óptico, en la parte interna é inferior del ojo. Se ha dado el nombre de *punctum cœcum* á este punto insensible á la accion de la luz.

504. **Persistencia de la impresion sobre la retina.** — Cuando se hace girar con rapidez un carbon incandescente, se percibe como una especie de faja contínua de fuego; y tambien la lluvia que cae bajo la forma de gruesas gotas aparece en el aire como una série de filetes líquidos. Dependen estas apariencias de que la impresion de las imágenes sobre la retina persiste aun despues de haber desaparecido ó mudado de lugar el objeto que la produjo. La duracion de esta persistencia varía con la sensibilidad de la retina y la intensidad de la luz. M. Plateau, de Bruselas, ha encontrado por diferentes métodos que es, por término medio, de un semi-segundo.

La impresion de los colores persiste tambien como la de la forma de los objetos; porque si se hacen girar círculos divididos en sectores diversamente colorados, se confunden y dan la sensacion del color que resultaria de su mezcla. El azul y el amarillo dan el verde; el amarillo y el rojo, el naranjado; el azul y el rojo, el violeta; y los siete colores del espectro, el blanco, conforme lo demuestra el disco de Newton (462, 5.°).

Se conocen muchos aparatos curiosos, cuyos efectos se esplican por

la persistencia de la sensacion sobre la retina. Tales son el *thaumatropo*, el *phenakistikopo*, la *rueda de Faraday* y el *kaleidofono*.

505. **Imágenes accidentales.** — Colocando un objeto colorado sobre un fondo negro, y mirándolo con fijeza durante cierto tiempo, se fatiga muy pronto la vista y se debilita la intensidad del color; dirigiendo entonces los ojos sobre un carton blanco, ó al suelo, se percibe una imágen de la misma forma que el objeto, pero de un color complem ntario (464), es decir, que formaria el blanco si estuviese reunido con el del objeto. La imágen de un objeto verde es roja, y recíprocamente; y si el objeto es amarillo, representa violada la imágen. Buffon dió á conocer estas apariencias coloradas, designándolas con el nombre de *imágenes* ó de *colores accidentales*.

Persisten tanto mas tiempo los colores accidentales, cuanto el objeto ha sido iluminado con mas viveza y mas prolongada fué la accion de la luz. No se apagan, en general, de un modo progresivo contínuo, sino que ofrecen de ordinario desapariciones y reapariciones alternativas. Obsérvase tambien que si, despues de contemplar un objeto colorado, se cierran rápidamente los ojos, preservándolos lo mas posible de la luz, por medio de una tela bien tupida, no por eso dejan de aparecer las imágenes accidentales.

Muchas teorías se han propuesto para esplicar el fenómeno de los colores accidentales. Darwin admitió:

1.° Que la parte de la retina fatigada por un color queda insensible á sus rayos, impresionándola ya solamente su color complementario;

2.° Que esta parte de la retina adquiere *espontáneamente* un modo de accion *opuesto*, que produce la sensacion del color complementario.

La primera parte de esta teoría no esplica el hecho anterior de aparecer en la oscuridad tambien los colores accidentales; y la segunda es el enunciado mismo del fenómeno de las imágenes accidentales.

506. **Irradiacion.** — La *irradiacion* es un fenómeno por medio del cual los objetos blancos ó de un color muy vivo, vistos sobre un fondo oscuro, aparecen con dimensiones mayores que las que les son propias. Lo contrario sucede con un cuerpo negro visto sobre un fondo blanco. Admítese que proviene la irradiacion de que la impresion sobre la retina se propaga mas ó menos allá del contorno de la imágen.

El efecto de la irradiacion es muy sensible en punto al tamaño aparente de los astros, que pueden aparecer así mayores muchas mas veces de lo que en realidad son.

Por las investigaciones de M. Plateau se ve que varía considerablemente la irradiaciou segun las personas, y en un mismo indivíduo segun los dias. Dicho físico ha demostrado, además, que crece la irradiacion con el brillo del objeto y la duracion de la mirada. Por fin, se manifiesta á todas las distancias, la aumentan las lentes divergentes y la disminuyen las convergentes.

507. **Aureola accidental; contraste de los colores.** — Denomínanse *aureolas accidentales* los colores que, en vez de suceder á la

impresion de un objeto, como los accidentales, aparecen alrededor del objeto mismo cuando se le mira con fijeza. La impresion de la aureola es opuesta á la del objeto, es decir, que siendo este claro, es aquella oscura, y vice-versa.

El *contraste de los colores* es una reaccion recíproca que se ejerce entre dos colores inmediatos, reaccion en virtud de la cual se añade á cada uno de ellos el color complementario del otro. M. Chevreul ha observado este contraste, lo ha estudiado profundamente, y ha dado su ley. Se esplica el contraste de los colores por la influencia recíproca de las aureolas accidentales.

M. Chevreul ha encontrado que, yustaponiendo los colores rojo y naranjado, pasa el primero á violeta y el segundo á amarillo. Si se hace el esperimento con el rojo y el azul, pasa este al verde y aquel al amarillo; con el amarillo y el azul, á naranjado el primero y á añil el segundo, y así sucesivamente en muchas combinaciones. Bien se deja comprender cuánto interesa saber apreciar el contraste de los colores en la fabricacion de las telas y de los tapices.

508. **El ojo no es acromático.**—Durante largo tiempo se ha atribuido al ojo humano un acromatismo perfecto (469), pero no es admisible de un modo absoluto esta opinion, despues de los diversos esperimentos de Wollaston, de Young, de Fraünhofer y de Muller.

Observó Fraünhofer que, en un anteojo de dos lentes iluminado únicamente con luz roja, se veia distintamente al traves del ocular, un hilo muy fino, situado en el interior del instrumento, en el foco del objetivo; pero que deja de ser visible si la luz es violada, aun cuando conserve el ocular la misma posicion. Nótase que, para ver de nuevo el hilo, es preciso disminuir la distancia de las lentes mucho mas de lo que indica el grado de refrangibilidad de la luz violada en la lente. Es menester admitir, pues, en este esperimento, que hay un efecto que depende de la aberracion de refrangibilidad del ojo.

Examinando, por su parte, M. Muller, con un solo ojo un disco blanco sobre un fondo negro, encontró que es pura la imágen cuando está acomodado el ojo á la distancia del disco, cuando se forma en la retina la imágen; pero en caso contrario, esto es, si se forma delante ó detrás de esta, aparece rodeado el disco por una faja azul muy estrecha.

M. Muller dedujo de sus esperimentos que es acromático el ojo mientras es recibida la imágen á la distancia focal, ó mientras se acomoda á la distancia del objeto. Hasta ahora no es posible decir cuál sea con exactitud la causa de este acromatismo aparente del ojo, mas por punto general se atribuye á la tenuidad de los haces luminosos que pasan por la abertura pupilar, y á que, encontrando los rayos desigualmente refrangibles las superficies de los medios del ojo bajo incidencias casi normales, estan muy poco refractados, y por lo tanto, es insensible la dispersion (468).

Ya hemos visto (491) de qué manera queda corregida la aberracion de esfericidad por el iris, que es un verdadero diafragma que inter-

cepta los rayos marginales que tienden á atravesar el cristalino, dando paso únicamente á los mas inmediatos al eje.

509. **Miopia; presbitismo.** — Las afecciones mas comunes del órgano de la vista son la miopia y el presbitismo. Consiste la *miopia* en no ver mas que á una distancia menor que la de la vista distinta ordinaria, de suerte que las personas que la padecen, no ven con claridad sino los objetos muy aproximados. La causa ordinaria de la miopia es una convexidad demasiado grande de la córnea ó del cristalino; pues siendo entonces muy convergente el ojo, en vez de formarse el foco sobre la retina, lo efectúa delante, por lo que es confusa la imágen. Obvíase este defecto del ojo por medio de cristales divergentes que, separando los rayos de su eje comun, hagan retroceder el foco hasta la retina.

La vision habitual de objetos pequeños y las observaciones microscópicas, pueden originar la miopia. Este vicio de conformacion es comun en los jóvenes, pero disminuye con la edad.

El *presbitismo* es el reverso de la miopia. En esta afeccion ve el ojo muy bien los objetos distantes, pero con poca limpieza los que estan muy cerca Depende el presbitismo de que, no siendo bastante convergente el ojo, va á formarse la imágen de los objetos inmediatos mas allá de la retina; pero si los objetos se alejan, se acerca á esta la imágen (450, 2.°); y cuando se hallan á la debida distancia, se forma con exactitud sobre dicha membrana. Entonces se ve con claridad.

El presbitismo se corrige por medio de anteojos de lentes convergentes, pues como aproximan los rayos antes de su entrada en el ojo, resulta que, si está bien elegida la convergencia, se produce exactamente en la retina la imágen.

Hace pocos años solo servian las lentes bi-convexas para los présbitas, y las bi-cóncavas para los míopes; Pero Wollaston fué el primero en proponer que se sustituyeran por lentes cóncavo-convexas C y F (fig. 283), dispuestas de manera que sus curvaturas tengan el mismo sentido que la del ojo. Estas lentes, que permiten ver los objetos lejanos que rodean al eje óptico, se llaman *lentes periscópicas.*

510. **Anteojos.** — Las lentes de que se sirven los míopes y los présbitas, se designan con el nombre general de *anteojos* ó de *gafas.* Grábanse de ordinario sobre estas lentes números que marcan, *en pulgadas*, su distancia focal.

Se puede calcular el número que debe tomar un présbita ó un míope, conocida la distancia á que ve distintamente. Para los présbitas se hace uso de la fórmula $f = \frac{pd}{d-p}$ [1], en la cual, siendo f el número de la lente que se debe adoptar, p es la distancia de la vision distinta para las vistas ordinarias, distancia que vale 30 centímetros ú 11 pulgadas [1], y d la distancia de la vision distinta del individuo afectado de presbitismo.

La fórmula [1] se deduce de la igualdad $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$ (458), reemplazando en ella p' por d.

---

[1] Francesas. *(N. de J. P.)*

Se hace aquí uso de la fórmula [6] del párrafo 458 y no de la [5], porque estando la imágen que se ve en los anteojos en el mismo lado que el objeto con relacion á la lente, el signo de p' ha de ser contrario al de p, como en las imágenes virtuales, segun el citado párrafo.

Para los miopes, se calcula f por la fórmula $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f}$, de las lentes divergentes (458), que da $f = \frac{pd}{p-d}$ [2], reemplazando p' por d.

Propongámonos, por ejemplo, calcular el número de las lentes que debe adoptar un présbita cuya vista distinta es á la distancia de 35 pulgadas, sabiendo que es 11 la de la vision ordinaria. Haciendo $p=11$ y $d=35$, en la fórmula [1] anterior, sale

$$f = \frac{35 \times 11}{35 - 11} = 16.$$

La medida de la vista distinta se obtiene con bastante precision por medio de un aparato que se llama *optómetro*.

511. **Diplopia.** — La *diplopia* es una afeccion del ojo que hace ver dobles los objetos, es decir, que se ven dos en vez de uno. Por punto general, se sobreponen casi enteramente las dos imágenes, siendo mucho mas aparente la una que la otra. Puede provenir la diplopia del concurso de dos ojos desiguales; pero tambien puede afectar á un solo ojo. Este último caso depende, sin duda, de algun defecto de conformacion en el cristalino, ó en otras partes del ojo, que hace se bifurque el haz luminoso y vaya á formar en la retina dos imágenes en vez de una. Tambien puede estar afectado de *triplopia* un solo ojo, pero en tal caso es escesivamente débil la tercera imágen.

512. **Acromatopsia.** — Denomínase acromatopsia una afeccion singular que nos vuelve incapaces de juzgar de los colores, ó por lo menos, de algunos de ellos. En efecto, en algunos indivíduos es completa la insensibilidad, mientras que otros aprecian algunos colores. Las personas atacadas de esta afeccion distinguen muy bien los contornos de los cuerpos, las partes claras ó las sombreadas, pero no las tintas.

M. d'Hombres-Firmas cita una persona atacada de acromatopsia, que habia pintado en su aposento, encima de una puerta, un paisaje con el terreno, los árboles, las casas y los personajes azules. Habiéndole preguntado por qué no dió á cada objeto su color propio, contestó que lo habia hecho para que tuviese el mismo que sus muebles, y estos eran rojos.

Se designa tambien la acromatopsia con el nombre de *daltonismo*, porque la padecia Dalton, que tan bien la describió.

CAPITULO VII.

MANANTIALES DE LUZ.

513. **Diversos manantiales de luz.** — Los diversos manantiales de luz son: el sol, las estrellas, el calor, las combinaciones químicas, la fosforescencia, la electricidad y los fenómenos meteorológicos. De estos dos últimos tratarémos en los artículos *Electricidad* y *Meteorologia*.

Desconócese el orígen de la luz emitida por el sol y por las estre-

llas; si bien se admite que la sustancia inflamada que rodea al sol es gaseosa, pues la luz que despide este astro, lo mismo que la de las sustancias gaseosas inflamadas, no deja percibir resto alguno de polarizacion en los anteojos polariscopos (529).

En cuanto á la luz desarrollada por el calor, sienta M. Pouillet que principian á ser luminosos los cuerpos, en la oscuridad, á una temperatura de 500 á 600 grados, y en adelante crece la intensidad de la luz con la elevacion de temperatura.

Muchas combinaciones químicas desprenden luz por las altas temperaturas que las acompañan. Tal es la causa de las luces artificiales utilizadas para el alumbrado; porque, segun se ha visto ya, las llamas no son mas que materias gaseosas calentadas en términos de ser luminosas.

Volviéndose luminosos los cuerpos á una alta temperatura, parece que el calórico se trasforma entonces en luz, lo cual tenderia á probar que estos dos agentes deben referirse á una sola y misma causa, sobre todo si se observa que, en general, los rayos luminosos van acompañados de otros que son caloríficos. No obstante, no es completa la identidad, porque se conocen muchas sustancias que pueden lucir en la oscuridad sin desprender calor, ó si lo desprenden es en cantidad inapreciable con los instrumentos termométricos mas sensibles. Denomínanse *fosforescentes* los cuerpos que son así luminosos en la oscuridad, porque esta propiedad es sobre todo perceptible en el fósforo.

Casos hay en que la fosforescencia va acompañada de una accion química muy lenta, como sucede en el fósforo, en ciertas sustancias vegetales ó animales, por ejemplo, en las maderas en descomposicion, en ciertos peces en putrefaccion, y sobre todo en el arenque. En otros casos se desarrolla la fosforescencia por efecto de una alta temperatura; por ejemplo, calentando á 300 ó 400 grados espato fluor en polvo, se vuelve de repente luminoso, desprendiendo una luz azulada bastante viva. Bajo la influencia de la luz solar se vuelven luminosas ciertas sustancias. Véase sino el diamante y otros muchos minerales que, espuestos por algun tiempo á los rayos del sol, aparecen luego luminosos en la oscuridad. El espato fluor, el diamante y el mármol blanco pueden adquirir tambien la fosforescencia por la accion sucesiva de muchas descargas de una poderosa batería eléctrica. Por último, es muy intensa la fosforescencia en muchos insectos, especialmente en la fúlgora y en el lámpiro ó luciérnaga. El brillo de su luz varía á voluntad.

En varias regiones, y sobre todo en las tropicales, se halla cubierto á menudo el mar por una luz fosforescente bastante viva, que depende de unos zoófitos sumamente pequeños. Estos animalillos difunden una materia luminosa tan sutil, que los señores Quoy y Gaimard, durante un viaje por el Ecuador, observaron que un frasco lleno de líquido se volvia inmediatamente luminoso en toda su masa, sin mas que introducir allí dos de ellos.

Fundándose en que, en muchos casos, las causas de la fosforescen-

cia son las mismas que las de la electricidad, y en que la luz eléctrica débil tiene gran semejanza con la de los cuerpos fosforescentes, cree M. Becquerel que hay que referir la fosforescencia á una causa eléctrica.

CAPITULO VIII.

DOBLE REFRACCION, INTERFERENCIAS, POLARIZACION.

514. **Doble refraccion.**—Sabemos ya (435) que la *doble refraccion* es la propiedad que poseen muchos cristales de dar origen, con un solo rayo incidente, á dos rayos refractados, resultando de aquí que cuando se mira un objeto al traves de estos cristales se le ve doble. Bartholin fué el primero en observar la doble refraccion en 1647; pero á Huyghens le cupo la gloria de dar de ella, en 1673, una teoria completa.

Los cristales que poseen la doble refraccion se llaman *bi-refringentes*. Esta propiedad se observa tan solo en los cristales que no pertenecen al sistema cúbico. Los cuerpos cristalizados en este sistema, y los que no cristalizan, como el vidrio, no poseen refraccion doble; pero pueden adquirirla accidentalmente, cuando se los comprime con desigualdad, ó por el *temple*, es decir, por el enfriamiento despues de calentados. Jamás son bi-refringentes los líquidos ni los gases. El cuerpo mas notable entre todos es el espato de Islandia ó cal carbonatada.

Fresnel ha esplicado la doble refraccion por una desigual densidad del éter (404) en los cristales bi-refringentes; de donde resulta una velocidad de movimiento vibratorio mas rápido en una cierta direccion, que está determinada por el estado molecular del cristal. Esta hipótesis se encuentra confirmada por la propiedad que adquiere el cristal de quedar bi-refringente por la templadura y por la compresion (542).

515. **Cristales de un eje.**—En un cristal dotado de la doble refraccion hay siempre una ó dos direcciones, en las cuales no se observa mas que la refraccion sencilla, es decir, no se ve mas que una imágen de los objetos. Estas direcciones se llaman *ejes ópticos ó ejes de doble refraccion*. Con todo, es impropia esta última denominacion, pues precisamente no se efectúa la doble refraccion en la direccion de estos ejes.

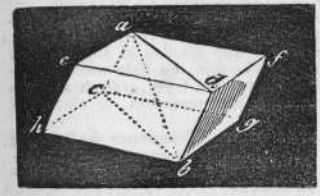


Fig. 346.

Denominanse *cristales de un eje* los que no ofrecen mas que una direccion en la cual no se bifurca la luz, y *cristales de dos ejes* los que presentan dos.

Los cristales de un eje de uso mas frecuente en óptica, son: el espato de Islandia, el cuarzo y la turmalina. El espato de Islandia tiene la forma de un romboedro cuyas caras estan inclinadas 105° 5′ (fig. 346). Las caras, en número de seis, son rombos que se reunen, de tres en tres, por sus ángulos obtusos, en las estremidades de una recta *ab*, que es el *eje de cristalizacion*.

En los cristales de un eje ha encontrado M. Brewster la siguiente ley general: *el eje de doble refraccion coincide siempre con el de cristalizacion.*

Denominase *seccion principal* de un cristal de un eje el plano que, pasando por el eje óptico, es perpendicular á una cara natural ó artificial del cristal.

516. **Rayo ordinario y rayo estraordinario.**—De los dos rayos refractados en los cristales de un eje, sigue siempre el uno las leyes de la refraccion simple (437), pero no el otro; es decir, que no es constante la relacion entre los senos de los ángulos de incidencia y de refraccion, y que el plano de refraccion no coincide con el de incidencia. El primer rayo es el *ordinario*, y el segundo el *estraordinario*, por lo que las imágenes que les corresponden reciben á su vez respectivamente los nombres de *ordinaria* y *estraordinaria*.

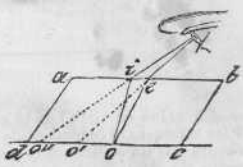


Fig. 347.

El rayo ordinario y el rayo estraordinario tienen indices diferentes: en ciertos cristales es mayor el indice del rayo ordinario; en otros lo es el del estraordinario. Fresnel llamó á los primeros *cristales negativos*, y á los últimos *cristales positivos*. El espato de Islandia, turmalina, záfiro, rubí, esmeralda, mica, prusiato de potasa y fosfato de cal son negativos. El cuarzo, circon y hielo, á un solo eje, son positivos. La clase de los cristales negativos es mucho mas numerosa que la de los positivos.

La fig. 347 demuestra la marcha de los rayos en este fenómeno, pues el paralelógramo

abcd representa un corte principal de un romboedro de espato de Islandia. Puesto este sobre un carton blanco, se mira al traves un punto negro *o* marcado sobre el carton. El rayo incidente que parte del punto *o* se divide en dos, *oi* y *oe*, que, refractándose desigualmente en la emergencia, dan al ojo dos imágenes o' y o''.

Haciendo girar el romboedro sobre si mismo, teniéndolo siempre aplicado sobre el carton, queda fija la imágen ordinaria, pero la estraordinaria gira alrededor de la primera, lo cual indica que el plano del rayo refractado se mueve con relacion al del de incidencia, y de consiguiente, que el rayo estraordinario no sigue las leyes de la refraccion simple.

517. **Leyes de la doble refraccion en los cristales de un eje.**—El fenómeno de la doble refraccion, en los cristales de un eje, obedece las leyes siguientes:

1.ª El rayo ordinario, sea cual fuere el plano de incidencia, sigue siempre las dos leyes generales de la refraccion simple (437).

2.ª En toda seccion perpendicular al eje, el rayo estraordinario sigue tambien estas dos leyes como el ordinario, pero su índice de refraccion no es el mismo que el de este último rayo, y de ahi la distincion de índices *ordinario* y *estraordinario*.

3.ª En toda seccion principal, no sigue el rayo estraordinario mas que la segunda ley de refraccion; es decir, coinciden los planos de incidencia y de refraccion; pero no es constante la relacion de los senos de los ángulos de incidencia y de refraccion.

4.ª No siendo la misma la velocidad de la luz para el rayo ordinario que para el estraordinario, la diferencia de los cuadrados de estas dos velocidades es proporcional al cuadrado del seno del ángulo que el rayo estraordinario forma con el eje.

Esta última ley es la traduccion de una fórmula empírica dada por M. Biot para relacionar entre sí las velocidades de dos rayos. Dedúcese tambien de las fórmulas que obtuvo Fresnel por consideraciones puramente teóricas, y que son notables, por cuanto se puede deducir de ellas la fórmula de M. Biot.

Huyghens, que fué el primero en esponer una teoria completa de la doble refraccion, fundada en el sistema de las ondulaciones, dió á conocer una construccion geométrica muy notable, por medio de la cual es posible construir en todas sus posiciones, con relacion al eje, el rayo refractado, cuando se conoce su incidencia; pero la teoria de Huyghens fué desechada por los físicos, hasta que Malus estableció su exactitud practicando numerosos esperimentos.

518. **Leyes de la doble refraccion en los cristales de dos ejes.**—Hay muchos cristales de dos ejes, como los de los sulfatos de níquel, de magnesia, de barita, de potasa, de hierro, el azúcar, la mica y el topacio del Brasil. En estos diferentes cristales toma el ángulo de los dos ejes valores muy diferentes, pues varia desde 3 á 90 grados.

Fresnel ha descubierto por la teoría, y demostrado esperimentalmente, que en los cristales de dos ejes ninguno de los rayos refractados sigue las leyes de la refraccion simple; pero llamando *línea media* y *línea suplementaria* las líneas que dividen el ángulo de los dos ejes y su suplemento en dos partes iguales, ha encontrado que, en toda seccion perpendicular á la línea media, uno de los rayos refractados sigue las leyes ordinarias de la refraccion, y que, en toda seccion perpendicular á la línea suplementaria, lo efectúa el otro rayo.

Pronto se verán, en los aparatos de polarizacion, muchísimas aplicaciones de la doble refraccion del espato de Islandia. Esta propiedad fué utilizada tambien en el anteojo micrométrico de Rochon, que sirve para medir el diámetro aparente de los cuerpos, y para determinar la distancia de un objeto, una vez conocido su tamaño.

DIFRACCION, INTERFERENCIAS Y ANILLOS COLORADOS.

519. **Difraccion y franjas.**—La *difraccion* es una modificacion que sufre la luz cuando va rasando alrededor de un cuerpo, ó cuando atraviesa una pequeña abertura,

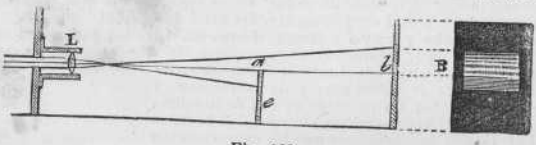


Fig. 348.

modificacion en virtud de la cual parece que se doblen los rayos y penetren en la sombra. Para observar el fenómeno de la difraccion, se hace entrar un haz de luz solar en la cámara oscura por un orificio muy pequeño, y se le recibe sobre una lente convergente L, de foco corto (fig. 348). Fíjase un vidrio colorado de rojo en la abertura de la cámara para que no dé paso mas que á la luz roja. Una pantalla opaca *e*, de borde delgado, y situa la detrás de la lente, mas allá de su foco, intercepta la mitad del cono luminoso, mientras que la otra va á proyectarse sobre una lámina *b*, representada de cara en B. Obsérvase entonces dentro de la sombra geométrica limitada por la recta *ab*, una luz rojiza bastante viva, que decrece en intensidad á medida que los puntos de la placa distan mas del límite de la som-

bra; y en la parte de la placa que deberia estar uniformemente iluminada, se ve una alternativa de franjas oscuras y luminosas que van debilitándose gradualmente y acaban por desaparecer enteramente.

Los diversos colores del espectro dan origen al mismo fenómeno, pero con la diferencia de que las franjas son tanto menos estrechas, y de consiguiente, menos dilatadas, cuanto menos refrangible es la luz. Resulta de esta última propiedad que, cuando se esperimenta con luz blanca, como las franjas de cada color simple estan separadas por su desigual difraccion, se presentan irisadas las que se forman sobre la pantalla B.

Si, en vez de interponer entre la lente L y la pantalla *b* los bordes de un cuerpo opaco, se coloca un cuerpo opaco muy estrecho, como un cabello ó un alambre muy fino, no solo hay tambien franjas alternativamente oscuras y luminosas en los dos lados de la porcion de la pantalla que corresponde á la sombra geométrica del cuerpo, sino que en esta sombra misma se ven iguales alternativas de dichas franjas. Es decir, que se producen entonces franjas esteriores é interiores.

El padre Grimaldi, de Bolonia, fué el primero que dió á conocer, en 1663, el fenómeno de la difraccion y de las franjas, pero sin darnos su esplicacion. Newton trató de esplicarlo en el sistema de la emision, admitiendo una accion repulsiva que ejercen los cuerpos sobre los rayos luminosos; pero esto no nos daba razon de las franjas interiores. Tomás Young dijo, fundándose en el sistema de las ondulaciones, que dependia de la interferencia (520) de los rayos directos con los reflejados por los bordes de los cuerpos opacos. Pero, segun esta teoria, la formacion de las imágenes dependeria de la naturaleza de los cuerpos opacos cuyos contornos va rasando la luz, y además, de su grado de pulimento, lo cual es contrario á la observacion. Fresnel fué el primero que esplicó todos los fenómenos de la difraccion, fundándose siempre en la teoria de las ondas luminosas.

520. **Interferencias.** — Llámase *interferencia* una accion mútua que ejercen entre sí dos rayos luminosos cuando, emitidos por un mismo foco, se encuentran bajo un ángulo

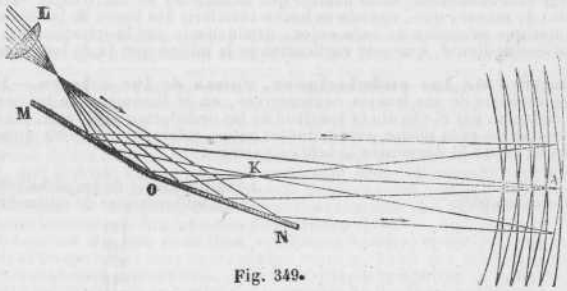


Fig. 349.

muy pequeño. Puede observarse esta accion de un modo muy sencillo por medio del esperimento que sigue: por dos aberturas circulares muy pequeñas, de igual diámetro y poco distantes entre sí, se da paso, en una cámara oscura, á dos haces de luz homogénea, de luz roja, por ejemplo, lo cual se obtiene fijando en los dos orificios de la cámara oscura vidrios colorados de rojo, que solo permiten la entrada á la luz de este color. Los dos haces forman asi en la cámara dos conos luminosos que van á encontrarse á cierta distancia; se los recibe un poco mas allá de su punto de encuentro, sobre un carton blanco, y entonces se nota, en el segmento comun á los dos discos que se producen sobre esta placa, franjas muy oscuras alternativamente rojas y negras. Pero, si se cierra una de las dos aberturas, desaparecen las franjas y son reemplazadas por una tinta rojiza casi uniforme. De que desaparezcan las franjas oscuras cuando se intercepta uno de los haces, se deduce que son el resultado del encuentro de dos haces que se cruzan oblicuamente.

Débese este esperimento á Grimaldi, quien habia deducido la notable consecuencia de que la luz añadida á luz produce oscuridad. En el anterior esperimento hay difraccion, porque los rayos luminosos van rasando los bordes de las aberturas; pero sin necesidad de que intervenga este fenómeno, pueden hacerse interferir dos haces por medio del siguiente aparato de Fresnel.

El uno al lado del otro hay dos espejos M y N planos (fig. 349), metálicos, y que forman un ángulo MON muy obtuso. Una lente semicilíndrica L, de foco corto, concentra delante de estos espejos un haz de luz roja, introducido en la cámara oscura, y que cae en parte sobre uno de los espejos y en parte sobre el otro. Despues de reflejadas las ondas luminosas van á encontrarse bajo un ángulo muy pequeño, como lo indica la figura, mas cerca del espejo N que del M, y si entonces se los recibe sobre una pantalla blanca, se observa sobre estas lajas, alternativamente oscuras y brillantes, paralelas á la linea de interseccion de los dos espejos, y simétricamente dispuestas á los dos lados del plano OKA, que pasa por dicha linea y divide en dos mitades el ángulo que entre sí constituyen los rayos reflejados.

Interceptando la luz que cae sobre uno de los espejos, desaparecen las franjas; de manera que el resultado es idéntico al del esperimento anterior.

Por fin, si se hace pasar el haz ya reflejado por uno de los espejos, al traves de una lámina de vidrio de caras paralelas, varia la situacion de todas las franjas, á derecha ó á izquierda, en una cantidad que aumenta con el espesor de la lámina. Este último esperimento revela que la accion mútua de los rayos que se encuentran está modificada por la sustancia que atraviesan, deduciéndose de ahí que se propaga la luz con menos velocidad en el vidrio que en el aire.

521. **Principio de las interferencias.**—No puede esplicarse el fenómeno de las interferencias, lo mismo que el de la difraccion, en el sistema de la emision, pero si en el de las ondulaciones, segun muy satisfactoriamente lo hizo Fresnel. Estando animadas, segun este último sistema, las moléculas del éter con un movimiento de vaiven súmamente rápido (404), se llama *longitud de ondulacion* el espacio que abraza la ida y la vuelta de cada molécula, y *semiondulacoin* solo la ida ó la vuelta; de suerte que una ondulacion completa se compone de dos semiondulaciones de sentido contrario. Ahora bien; cuando dos sistemas de ondulaciones de longitudes é intensidades iguales se propagan en una misma direccion, si uno de los dos va algo adelantado ó retrasado, exactamente un número par de semilongitudes de ondulacion, se agregan los dos sistemas para imprimir al éter un movimiento en el mismo sentido, y se dobla la intensidad de la luz; mas si, por el contrario, un sistema va retrasado nn número impar de semiondulaciones, se destruyen los movimientos comunicados al éter, resultando de ahí la oscuridad.

Tal es la esplicacion de las franjas oscuras y luminosas que se observaron en los esperimentos de Fresnel y de Grimaldi. Las franjas que se ven en la difraccion se refieren á la misma causa.

Los dos esperimentos anteriores (520) se hicieron con luz roja, y las franjas eran alternativamente negras y rojas; pero, si se los repite con luz blanca, estan irisadas las franjas. Para esplicar esta coloracion, debe notarse que la anchura de las franjas varia con cada color simple; de manera que, cuando se hacen interferir dos haces de luz blanca, se separan las franjas que proceden de cada color, produciendo así la irisacion que se observa.

Vése, por consiguiente, que esta esplicacion es la misma que la de los colores en la difraccion.

522. **Longitud de las ondulaciones, causa de los colores.**—Midiendo con precision el intervalo de dos franjas consecutivas, en el fenómeno de las interferencias, Fresnel ha deducido por el cálculo la longitud de las ondulaciones del éter, y ha reconocido que esta longitud no es la misma para todos los rayos colorados, pero va aumentando del violeta al rojo, segun lo demuestra la tabla siguiente:

Colores simples.	Longitud media de las ondulaciones en millonésimas de milímetro.
Violado	423
Añil	449
Azul	475
Verde	512
Amarillo	551
Anaranjado	583
Rojo	620

La velocidad de la luz por segundo, siendo de 77000 leguas de á 4000 metros (410), es decir, de 308 millones de metros, se tendrá el número de ondulaciones correspondiente á cada color, por segundo, buscando cuántas veces la longitud de la ondulacion correspondiente está comprendida en 308 millones, es decir, dividiendo este número por los de la tabla anterior; lo cual da para el violeta mas de 728000 millones de ondulacioues por segundo, y para el rayo rojo mas de 496000 millones. A cada color simple, correspondiendo así un número de ondulaciones que le es propio, se ve que la teoría de las ondulaciones conduce á admitir que el número de vibraciones que hacen las moléculas, en un tiempo dado, es el que determina la naturaleza de los colores, así como el número de ondas sonoras es el que produce los diferentes sonidos.

523. **Colores de las laminas delgadas, anillos de Newton.** — Todos los cuerpos diáfanos, sólidos, líquidos ó gaseosos, reducidos á láminas suficientemente delgadas, aparecen colorados con tintas sumamente vivas, sobre todo por reflexion. Los cristales que se esfolian en hojas muy delgadas, como la mica y el yeso, presentan este fenómeno, de la misma manera que el nácar y el vidrio soplado en una esferita muy delgada. Una gota de aceite, estendida rápidamente sobre una gran masa de agua, ofrece todos los matices del espectro en un órden constante. Una burbuja de jabon parece blanca primero; pero, á medida que se hincha, van apareciendo brillantes tonos irisados, sobre todo en la parte superior, que es donde es mas delgada la cubierta líquida que forma la burbuja. Dispónense estos colores en zonas concéntricas horizontales alrededor del vértice, que se vuelve negro en el momento en que no hay el suficiente espesor para reflejar la luz, estallando entonces súbitamente la burbuja.

Newton fué el primero que estudió el fenómeno de los anillos colorados en las burbujas de jabon. Deseando averiguar el espesor que hay entre el espesor de la lámina delgada, el

color de los anillos y su estension, producia estos por medio de una capa de aire interpuesta entre dos vidrios, plano el uno, convexo y de foco muy largo el otro (fig. 350). Bien enjutas las dos superficies y espuestas en una ventana á la luz solar, en términos de que se las viera por reflexion, se percibe en el punto de contacto una mancha negra rodeada de anillos colorados, en número de seis ó siete, cuyas tintas van debilitándose gradualmente (figura 351). Si se ven por trasmision los vidrios, es blanco el centro, y los colores de cada uno de ellos son exactamente complementarios de los de los anillos por reflexion.

Con una luz homogénea, el color rojo por ejemplo, son sucesivamente negros y rojos los anillos, y de un diámetro tanto menor, cuanto mas refrangible es el color; pero con la luz blanca estan colorados los anillos con los diferentes colores del espectro, lo cual proviene de que, teniendo los diversos colores simples diámetros distintos, no se superponen los anillos, sino que se separan mas ó menos.

Si la distancia focal de la lente (fig. 350) escede de tres ó cuatro metros, pueden observarse á simple vista los anillos; pero si aquella es menor, hay que acudir á las lentes.

Calculando el espesor de la capa de aire comprendida entre la lámina y la lente, encontró Newton que, *para los anillos oscuros, estos espesores son entre sí como la série de los números pares* 0, 2, 4, 6....; y que, *para los anillos brillantes, estos mismos espesores varian como la série de los números impares* 1, 3, 5, 7....; siendo independientes estas

Fig. 350.

Fig. 351.

relaciones de la curvatura de la lente y del color de los rayos que la atraviesan. Newton encontró, además, que el espesor de la capa de aire interpuesta, disminuyendo á medida que la refrangibilidad aumenta, este espesor es de 161 millonésimas de milímetro para el rojo estremo del primer órden, es decir, correspondiente al primer anillo, mientras que para el violado estremo este espesor no es mas que 101 millonésimas de milímetro. Por último, para anillos del mismo órden, es decir, del mismo rango, los diámetros son tanto mayores, cuanto el color simple que cae sobre la lente es menos refrangible.

La coloracion de las láminas delgadas y de los anillos de Newton es un fenómeno de interferencia, que depende de que los rayos reflejados sobre la segunda superficie de la lámina interfieren con los que reflejó la primera. Proceden los anillos vistos por refraccion de la interferencia de los rayos trasmitidos directamente con los que lo son despues de dos reflexiones interiores sobre las caras de la lámina (418).

524. **Fenómeno de los resaltos.** — Llámase *resalto*, en óptica, una série de rayas opacas y rayas trasparentes muy aproximadas entre sí. Tales son las lineas paralelas que se graban con diamante, sobre vidrio, para formar los micrómetros (474). Las rayas son aquí la parte opaca del resalto. Si se recibe por trasmision la luz de una vela al traves de uno de dichos resaltos que contenga 100 rayas por milímetro, se percibe una série de pequeños espectros que tienen el rojo fuera y el azul dentro. Lo propio sucede mirando la llama de una vela al traves de las barbas de una pluma situada cerca del ojo. Esta coloracion es tambien un fenómeno de interferencia.

POLARIZACION.

525. **Polarizacion por reflexion.** — La polarizacion es una modificacion particular de los rayos luminosos, en virtud de la cual, despues de reflejados ó refractados, no pueden reflejarse ó refractarse de nuevo en ciertas direcciones. Se ha adoptado la palabra polarizacion para caracterizar estas nuevas propiedades de la luz, porque, para esplicarlas, en la teoria de la emision, se admite que las moléculas luminosas tienen polos y ejes que, por la reflexion bajo cierto ángulo, siguen todas en un mismo sentido. La polarizacion fué descubierta, en 1810, por el físico francés Malus, muerto dos años despues.

Se polariza la luz por reflexion ó por refraccion. Reflejada sobre una lámina de vidrio negro, se polariza la luz si el ángulo de incidencia con el vidrio es de 35° 25'. Hé aquí algunas de las propiedades del rayo polarizado:

1.ª No sufre este rayo reflexion alguna al incidir sobre una segunda lámina de vidrio, bajo el mismo ángulo de 35° 25', si el plano de incidencia sobre esta es perpendicular al de la primera; pero si se refleja mas ó menos bajo las otras incidencias.

2.ª Trasmitido por un prisma bi-refringente (529, 3.°), no da mas que una imágen, si la seccion principal es paralela ó perpendicular al plano de incidencia, mientras que en cualquiera otra posicion, con relacion á este plano, da dos imágenes mas ó menos intensas.

3.ª No puede trasmitirse por una lámina de turmalina (529, 2.°) cuyo eje de cristalizacion es paralelo al plano de incidencia, y al contrario, lo efectúa con tanta mas facilidad, cuanto mas se acerca el eje de la turmalina á la direccion perpendicular á este plano.

Todos los cuerpos pueden polarizar la luz por reflexion, como el vidrio, pero mas ó menos completamente y bajo ángulos de incidencia desiguales. El mármol negro, por ejem-

plo, polariza completamente la luz, mientras que el diamante, el vidrio ordinario y el vidrio de antimonio no la polarizan mas que parcialmente. Los metales son los cuerpos de mas débil poder polarizante.

526. **Angulo y plano de polarizacion.** — El *angulo de polarizacion* de una sustancia es el ángulo que debe formar el rayo incidente con una superficie plana y pulimentada de esta sustancia, á fin de que el rayo reflejado se polarice del modo mas completo. Para el agua vale este ángulo 37° 15′; para el vidrio 33° 25′; para el cuarzo 32° 28′; para el diamante 22°; y 33° 30′ para la obsidiana, que es una especie de vidrio negro natural que polariza muy bien la luz.

M. Brewster ha hecho conocer, para el ángulo de polarizacion, la ley siguiente, notable por su sencillez: *el ángulo de polarizacion es el de incidencia, para el cual el rayo reflejado es perpendicular al refractado.* Con todo, no es aplicable esta ley á la luz reflejada por los cristales bi-refringentes.

En la polarizacion por reflexion, se llama *plano de polarizacion* el plano de reflexion en el cual se polariza la luz; y dicho plano coincide con el de incidencia, y contiene, de consiguiente, al ángulo de polarizacion. En este plano, reflejada una vez la luz, no puede reflejarse bajo el ángulo de polarizacion en un plano perpendicular al primero; y tampoco es trasmisible en este plano por una turmalina de eje paralelo al plano. Todo rayo polarizado por refraccion posee tambien un plano de polarizacion, es decir, un plano en el cual se presentan las propiedades que acabamos de enunciar.

527. **Polarizacion por simple refraccion.** — Cuando un rayo de luz no polarizada cae sobre una lámina de vidrio de caras paralelas, bajo el ángulo de polarizacion, solo se refleja en parte, pues el resto atraviesa la lámina refractándose, y la luz trasmitida se polariza parcialmente en un plano perpendicular al de reflexion, y de consiguiente, al de polarizacion de la luz polarizada por reflexion. Observó además Arago que los haces reflejado y refractado contienen igual cantidad de luz polarizada, y que la reunion de estos dos haces produce luz natural. Podemos mirar, pues, la luz ordinaria, como formada de dos haces iguales polarizados en ángulo recto.

Como una sola lámina de vidrio no polariza jamás por completo la luz, se pueden reunir muchas superpuestas, las cuales, por medio de reflexiones y refracciones sucesivas, producen mas completo efecto. Varias láminas de vidrio reunidas así forman lo que se llama una *pila de cristales*, de que se saca partido con frecuencia para obtener un haz de luz polarizada.

528. **Polarizacion por doble refraccion.** — Se polariza por doble refraccion la luz, cuando atraviesa un cristal de espato de Islandia ó de cualquiera otra sustancia bi-refringente. Los dos haces, distintos en su emergencia, estan ambos polarizados por completo, pero en distintos planos, que son exacta ó muy sensiblemente perpendiculares entre sí. Para demostrarlo, se mira, al traves de un romboedro de espato de Islandia, un punto negro marcado sobre un pliego de papel. A la simple vista se ven dos imágenes de igual brillo, pero si se interpone una turmalina que se hace girar en su propio plano, desaparece y reaparece dos veces en una revolucion cada imágen, lo cual demuestra que los dos rayos emergentes estan polarizados en planos perpendiculares entre sí (529, 2.°). Cesa la imágen ordinaria en el momento en que el eje de la turmalina es paralelo á la seccion principal de la superficie de incidencia, y la estraordinaria, cuando el mismo eje es perpendicular á la citada seccion. Dedúcese de aquí que el haz ordinario está polarizado en el plano de la seccion principal, y el estraordinario en uno perpendicular á la misma.

529. **Polariscopos ó analizadores.** — Llámanse *polariscopos* ó *analizadores* unos instrumentitos que sirven para reconocer cuándo está polarizada la luz, y para determinar su plano de polarizacion. Los analizadores mas usados son el espejo de vidrio negro, una lámina delgada de turmalina, el prisma bi-refringente, el de Nicol y las pilas de cristales (527).

1.° *Espejo negro.* — Pronto se verá (fig. 353) que un espejo negro *m* da á conocer si la luz está polarizada, no reflejándose bajo el ángulo de polarizacion, cuando el plano de incidencia es perpendicular al de polarizacion: el espejo *m* es, pues, un analizador.

2.° *Turmalina.* — El analizador mas sencillo es una lámina de turmalina parda, tallada paralelamente á su eje de cristalizacion. Este mineral, que es bi-refringente, tiene la propiedad de dar paso á la luz natural solamente, y la polarizada en un plano perpendicular á su eje, comportándose como un cuerpo opaco con la luz polarizada, cuyo plano de polarizacion es paralelo á este eje. Para servirse de este analizador, se le interpone entre el ojo y el haz luminoso que se desea observar, y luego se hace girar con lentitud la turmalina en su propio plano: si entonces presenta siempre el haz la misma intensidad, no contiene luz polarizada; pero si decrece y aumenta sucesivamente el brillo, comprende el haz tanta mas luz polarizada, cuantas mas variaciones de intensidad esperimenta. En el acto del minimum está determinado el plano de polarizacion por el eje de la turmalina y por el rayo visual. El rayo estraordinario pasa por una turmalina tallada paralelamente al eje, pero el ordinario es absorbido por completo, á lo menos si es bastante colorada la turmalina.

3.° *Prisma bi-refringente.* — Constrúyense con el espato de Islandia prismas bi-refringentes que sirven de analizadores en muchos instrumentos de óptica, especialmente en el aparato de M. Biot para el estudio de la polarizacion circular (fig. 358). Es necesario que se hallen acromatizados estos prismas, porque cuando no es simple la luz que los atraviesa, es descompuesta por la refraccion. Suéldase para esto al prisma de espato otro de vidrio,

de un ángulo tal, que, refractándose la luz en sentido contrario, destruye casi enteramente el efecto de la dispersion. Se obtiene el máximum de separacion entre la imágen ordinaria y la estraordinaria, tallando el prisma bi-refringente de manera que sus aristas sean paralelas ó perpendiculares al eje óptico del cristal.

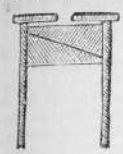


Fig. 352.

Fijo el prisma bi-refringente en la estremidad de un tubo de cobre (fig. 352), se conoce que se halla completamente polarizado un haz luminoso que se hace pasar por este tubo, cuando, al darle vuelta, se notan, durante una revolucion completa, cuatro posiciones rectangulares, en las cuales no se percibe mas que una imágen. Desaparece la imágen ordinaria, cuando el plano de la seccion principal es perpendicular al de polarizacion; y se borra la estraordinaria, cuando el plano de polarizacion coincide con la seccion principal. En todas las demás posiciones que toma el prisma bi-refringente, varia la intensidad relativa de las imágenes. Vése al mismo tiempo que el prisma bi-refringente puede servir para determinar la direccion del plano de polarizacion, pues basta buscar la posicion de la seccion principal del prisma, en la cual, siendo normal el haz incidente, se apaga la imágen estraordinaria.

4.° *Prisma de Nicol.* — El prisma de Nicol es el mas precioso analizador, porque es completamente incoloro, polariza del todo la luz y no trasmite mas que un solo rayo polarizado en la direccion de su eje.

Para construirle, se toma un romboedro de espato de Islandia, de unos 20 á 30 milímetros de altura, por 8 ó 9 de ancho, y se le corta en dos por un plano perpendicular al plano de las diagonales mayores de las bases, y que pase por los vértices obtusos mas aproxima-

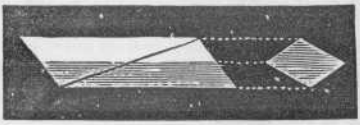


Fig. 353.

dos entre sí, y luego se unen las dos mitades en igual órden con bálsamo del Canadá. El paralelipípedo así construido constituye el prisma de Nicol (fig. 353).

Siendo el índice de refraccion del bálsamo del Canadá menor que el ordinario del espato de Islandia, y mayor que el estraordinario, resulta que al penetrar un rayo luminoso SC (fig. 354) en el prisma, sufre el rayo ordinario en la superficie *ab* la reflexion total, y toma

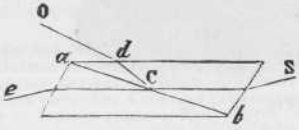


Fig. 354.

la direccion CdO, mientras que el estraordinario Ce es el único que pasa; es decir, que el prisma de Nicol, lo mismo que la turmalina, solo deja pasar el rayo estraordinario. Puede servir, pues, de analizador, como la turmalina; y además, para obtener un haz de luz blanca polarizada, lo mismo que el prisma bi-refringente.

530. **Aparato de Noremberg.** — M. Noremberg ha ideado un aparato sencillo y poco costoso, que se usa para repetir la mayor parte de los esperimentos relativos á la luz polarizada. Consta este aparato de dos columnas *b* y *d* (fig. 355) de cobre, que sostienen un cristal no azogado *n*, móvil alrededor de un eje horizontal. Un circulito graduado *c* indica el ángulo de este espejo con la vertical. Entre los piés de estas dos columnas hay un espejo azogado *p*, fijo y horizontal, y en su estremidad superior sostienen un platillo graduado *i*, en el cual puede girar un disco circular *o*. Tiene este en el centro una abertura cuadrangular, con un espejo de vidrio negro *m*, que forma con la vertical un ángulo igual al de polarizacion. Por fin, puede fijarse por medio de un tornillo de presion un disco anular *k*, á diferentes alturas en las columnas. Un segundo anillo *a*, sostenido por el primero, puede tomar diversas inclinaciones, y lleva una pantalla negra *e*, con un orificio circular en su centro.

Formando el cristal *n* con la vertical un ángulo de 35° 25′, es decir, igual al de polarizacion del vidrio, los rayos luminosos S*n*, que le encuentran bajo dicho ángulo, se polarizan (525) reflejándose en la direccion *np* hácia el espejo *p*, que los repele en la direccion *pnr*. Despues de haber atravesado el cristal *n*, cae el haz polarizado sobre el espejo negro *m* bajo un ángulo de 35° 25′, pues forma este espejo precisamente el mismo ángulo con

la vertical. Si se hace mover horizontalmente el disco *o*, al cual está fijo el espejo *m*, varía este de posicion, pero conservando siempre la misma inclinacion, y se encuentran dos posiciones, en las cuales no refleja al haz incidente *nr*. Sucede esto cuando el plano de incidencia, sobre este espejo, es perpendicular al de incidencia S*np* sobre el cristal *n*. Tal es

Fig. 355.

Fig. 356.

la posicion que representa el grabado anterior. En cualquiera otra posicion, el haz polarizado es reflejado por el espejo *m* en cantidad variable, observándose el máximum de luz reflejada cuando los planos de incidencia, sobre los espejos *m* y *n*, son paralelos entre sí. Si el espejo *m* forma con la vertical un ángulo mayor ó menor que 35° 25', es siempre reflejado el haz polarizado en todas las posiciones del plano de incidencia.

Cuando, en vez de recibir la luz polarizada sobre el espejo *m*, se la recibe sobre un prisma bi-refringente (529, 3.°), colocado en un tubo *g* (fig. 356), no se obtiene mas que una imágen siempre que el plano de la seccion principal del prisma coincide con el de polarizacion sobre el cristal *n*, y entonces es trasmitido el rayo ordinario. Tambien se ve una sola imágen, cuando el plano de la seccion principal es perpendicular al de polarizacion, pasando, en tal caso, el rayo estraordinario. En cualquiera otra posicion del prisma bi-refringente se ven dos imágenes, cuya intensidad varia con la posicion de la seccion principal.

Por fin, si se sustituye una turmalina al prisma bi-refringente y se la hace girar sobre sí misma, se apaga por completo el haz polarizado cuando el eje de la turmalina es paralelo al plano de incidencia S*np*.

Quedan, pues, así demostradas las diversas propiedades (525, 1.°, 2.° y 3.°) de la luz polarizada. Pronto verémos otras aplicaciones del aparato de Noremberg á la observacion de los colores de la luz polarizada y al estudio de la polarizacion circular en el cuarzo.

POLARIZACION ROTATORIA.

531. **Rotacion del plano de polarizacion.** — Cuando un rayo polarizado atraviesa una lámina de cuarzo tallada perpendicularmente al eje de cristalizacion, continúa

polarizado á la emergencia, pero no en el mismo plano de polarizacion que antes de su paso por el cuarzo. Con ciertos ejemplares se desvia el nuevo plano hácia la izquierda del antiguo, y con otros á la derecha. Este fenómeno recibe el nombre de *polarizacion rotatoria*. Observáronla primeramente Seebeck y Arago; pero M. Biot fué sobre todo quien la estudió, dando á conocer las leyes que siguen:

1.ª La rotacion del plano de polarizacion no es la misma para los diversos colores simples, sino que es tanto mayor, cuanto mas refrangibles son estos colores.

2.ª En un mismo color simple y en láminas de un mismo cristal, la rotacion es proporcional al espesor.

3.ª En la rotacion de derecha á izquierda ó de izquierda á derecha, el mismo espesor imprime sensiblemente la misma rotacion.

Denominanse *destrógiras* las sustancias que giran hácia la derecha, como el azúcar de caña, disuelto en agua, la esencia de Limon, la disolucion alcohólica de alcanfor, la destrina y el ácido tártrico; y *levógiras* las que lo efectúan á la izquierda, como la esencia de trementina, la de laurel y la goma arábiga.

532. **Coloracion producida por la polarizacion circular.** — Cuando se mira con un prisma birefringente una lámina de cuarzo de algunos milímetros de espesor, tallada perpendicularmente al eje, y atravesada por un haz de luz polarizada, se observan dos imágenes vivamente coloradas, cuyas tintas son complementarias, porque, superponiéndose por sus bordes las dos imágenes, producen blanco (fig. 357). Dando vueltas entonces al prisma á derecha ó á izquierda, cambian de tintas las dos imágenes, y toman sucesivamente todos los colores del espectro, sin dejar por eso de ser complementarias.

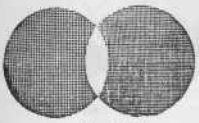


Fig. 357.

Este fenómeno es una consecuencia de la primera ley sobre la polarizacion circular (531, 1.°). En efecto, habiendo observado M. Biot que el cuarzo hace girar el plano de polarizacion del rayo rojo cerca de 17° 20′, y el violeta unos 44° 5′, resulta de la gran diferencia de estos dos ángulos que, cuando emerge la luz polarizada que ha atravesado dicha lámina de cuarzo, se polarizan en planos distintos los diversos colores simples que contiene. De consiguiente, cuando el haz así trasmitido pasa al traves de un prisma bi-refringente, que lo descompone en otros dos polarizados en ángulos rectos (528), se dividen con desigualdad los varios colores simples entre las dos imágenes ordinarias y estraordinarias que da el prisma, resultando de ahí que son estas necesariamente complementarias, encontrándose en la una los colores que faltan en la otra.

Obsérvanse muy bien estos fenómenos de coloracion por medio del aparato de Noremberg (fig. 355). Colócase, al efecto, sobre la lámina *e* (fig. 356), otra de cuarzo *s* tallada perpendicularmente al eje, y fija en un disco de corcho; luego, estando inclinado el espejo *n* (fig. 355), de modo que deje pasar por el cuarzo un haz polarizado, se mira al traves de un prisma bi-refringente *g* (fig. 356), y haciendo girar el tubo en el cual se halla este prisma, se observan las imágenes complementarias que produce el paso de la luz polarizada por el cuarzo.

533. **Poder rotatorio de los líquidos.** — El cuarzo es la única sustancia sólida en la cual se habia notado la polarizacion circular; pero M. Biot observó la misma propiedad en muchos líquidos y disoluciones. Cerciorose, además, el mismo físico, de que el movimiento del plano de polarizacion puede dar á conocer diferencias de composicion en cuerpos que ninguna revelan por el análisis químico. Por ejemplo, el azúcar de uva hace girar á la izquierda el plano de polarizacion, y el azúcar de caña á la derecha, por mas que sea idéntica la composicion química de ambos azúcares.

Encontró M. Biot que el poder rotatorio de los líquidos es mucho menor que el del cuarzo. En el jarabe de azúcar de caña concentrado, que es uno de los líquidos que poseen en mas alto grado el poder rotatorio, es este treinta y seis veces menor que en el cuarzo, de manera que se necesita operar con columnas líquidas muy gruesas, ó sea de unos 20 centímetros.

La fig. 358 representa el aparato que adoptó M. Biot para medir el poder rotatorio de los líquidos. En una canal de cobre *g*, fija en un sosten *r*, hay un tubo *d* de 20 centímetros de longitud lleno de líquido, sobre el cual se va á esperimentar. Este tubo, que es de cobre, se halla estañado interiormente, y cerrado por sus dos estremidades por dos cristales de caras paralelas sujetos por dos casquillos de tornillo. En *m* hay un espejo de vidrio ennegrecido, que forma con el eje de los tubos *b*, *d*, *a*, que es el mismo para los tres, un ángulo igual al de la polarizacion, de donde resulta que está polarizada la luz que refleja el espejo *m* en la direccion *bda*. En el centro del círculo dividido *h*, en el tubo *a*, y perpendicularmente al eje *bda*, se ve un prisma bi-refringente acromatizado, que puede dar vueltas á voluntad alrededor del eje del aparato por medio de un boton *n*. Se fija este á una alidada *c*, que lleva un vernier, y que marca el número de grados que se gira. Por último, segun la posicion del espejo *m*, el plano de polarizacion *Sod* del haz reflejado es vertical, encontrándose en este plano el cero de la graduacion sobre el círculo *h*.

Antes de colocar el tubo en la canal *g*, se apaga la imágen estraordinaria que da el prisma bi-refringente siempre que la alidada *c* corresponde al cero de la graduacion, porque entonces se encuentra vuelto el prisma bi-refringente, de modo que su seccion principal coincide con el plano de polarizacion (529, 3.°). Lo propio sucede tambien cuando el tubo *d*

está lleno de agua ó de cualquiera otro líquido *inactivo*, como el alcohol y el éter, lo cual demuestra que no ha girado el plano de polarizacion. Pero si se llena el tubo de una disolucion de azúcar de caña ó de cualquiera otro líquido *activo*, reaparece la imágen estraordinaria, y para apagarla, es menes er que forme la alidada cierto ángulo á derecha ó á izquierda del cero, segun sea destrógiro ó levógiro el líquido, lo cual demuestra que el plano de polarizacion ha formado tambien el mismo ángulo. Con la disolucion de azúcar de caña tiene lugar la rotacion hácia la derecha, y si, con una misma disolucion, se toman tubos mas ó menos largos, se encuentra que crece la rotacion proporcionalmente á la longitud, lo cual está conforme con la segunda ley de M. Biot (531); y por fin, si con un tubo

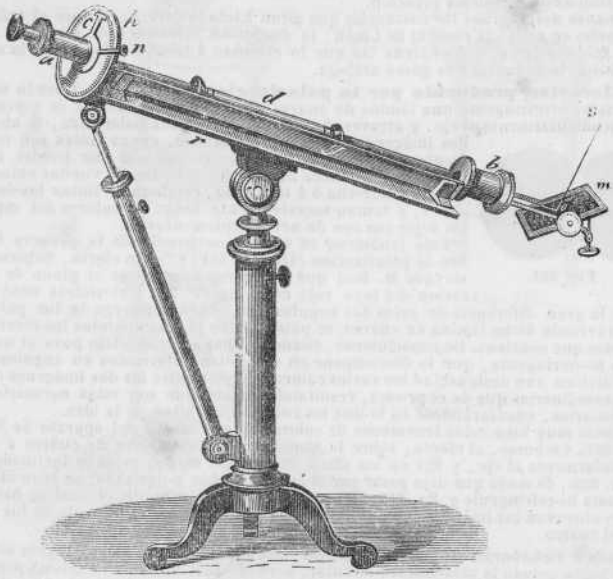


Fig. 358 (a = 46).

de longitud constante se toman disoluciones mas ó menos ricas de azúcar, se observa que crece la rotacion como la cantidad de azúcar disuelta, de suerte que del ángulo de desviacion se puede deducir el análisis cuantitativo de una disolucion.

En el esperimento que acabamos de describir, conviene trabajar con luz simple, porque poseyendo los diferentes colores del espectro distintos poderes rotatorios, resulta que se descompone la luz blanca al atravesar un líquido activo, y que la imágen estraordinaria no desaparece por completo en ninguna posicion del prisma bi-refringente, limitándose tan solo á cambiar de tinta. Para obviar este inconveniente, se coloca en el tubo *a*, entre el tubo y el prisma bi-refringente, un vidrio colorado de rojo por el óxido de cobre, el cual solo deja pasar sensiblemente la luz roja. La imágen estraordinaria se apaga, pues, entonces, siempre que la seccion principal del prisma coincida con el plano de polarizacion del haz rojo.

534. **Sacarímetro de M. Soleil.**—Valióse M. Soleil de la propiedad rotatoria de los líquidos, descubierta por M. Biot, para construir un aparato destinado á analizar las sustancias sacaríferas, por lo cual ha recibido este aparato el nombre de *sacarímetro*.

La fig. 359 representa el sacarímetro dispuesto horizontalmente sobre su pié, y la 360 da su corte longitudinal con las modificaciones recientemente introducidas en él por M. Duboscq, yerno y sucesor de M. Soleil. Este instrumento, sencillo bajo el punto de vista práctico, no deja de ser complicado bajo el teórico, porque supone conocidos los principales fenómenos de la doble refraccion y de la polarizacion.

El principio de este aparato no es la amplitud de la rotacion del plano de polarizacion, como en el de M. Biot (532), sino la *compensacion*, es decir, el uso de una segunda sustancia activa que actúa en sentido inverso al de la que se quiere analizar, y cuyo espesor puede variar hasta que se destruyan por completo las acciones contrarias de ambas sus-

tancias; de suerte que, en vez de medir la desviacion del plano de polarizacion, se mide el espesor que debe darse á la sustancia compensatriz, que es una lámina de cuarzo, á fin de obtener una perfecta compensacion.

Pueden distinguirse en el aparato tres partes principales, que son: el tubo que contiene el líquido que se ha de analizar, un polarizador y un analizador.

El tubo *m* que contiene al líquido es de cobre estañado interiormente, y está cerrado por ambas estremidades por dos cristales de caras paralelas. Se halla sobre un pie *k*, terminado por los tubos *a* y *r*, que llevan los cristales que sirven de polarizadores y de analizadores; véase la seccion de estos en la fig. 360.

Delante del orificio S (fig. 360 se coloca una lámpara ordinaria con moderador. La luz que emite, en la direccion del eje del instrumento, encuentra un prisma bi-refringente *r*, que sirve de polarizador (529, 3.°). La imágen ordinaria es la única que llega al ojo, pues la estraordinaria es ya proyectada fuera del campo de la vision, á causa de la amplitud del

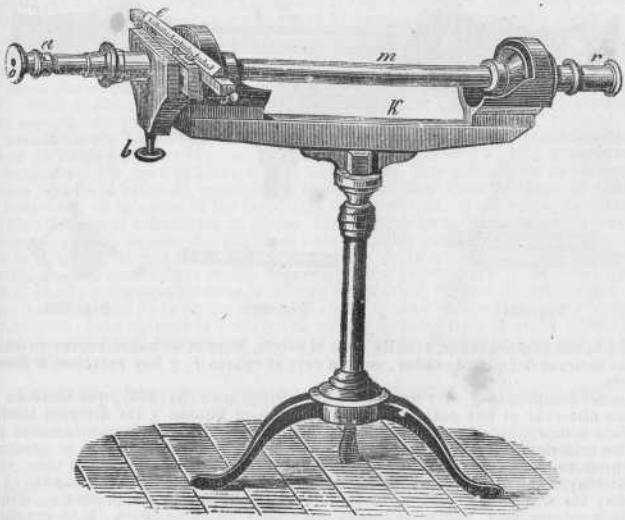


Fig. 359 (a=47).

ángulo que entre sí forman los rayos ordinario y estraordinario. Por último, el prisma bi-refringente se halla en una posicion tal, que es vertical el plano de polarizacion y pasa por el eje del aparato.

Al salir del prisma bi-refringente, encuentra el haz polarizado una lámina de cuarzo *g* de doble refraccion, es decir, que dicha lámina hace girar el plano de polarizacion á derecha é izquierda. Consta, al efecto, de dos láminas de cuarzo de rotacion contraria, yustapuestas la una al lado de la otra (fig. 363), de modo que sea vertical la línea de separacion y esté en el mismo plano que el eje del aparato. Estos cuarzos, tallados perpendicularmente al eje, tienen un espesor de 3mm,75, al cual corresponde una rotacion de 90°, y dan una tinta de color de rosa violáceo, que es la *tinta de tránsito*. Girando siempre el cuarzo, sea destrógiro ó levógiro, en igualdad de grosor, una misma cantidad (531, 3.°), resulta de ahí que los dos cuarzos *a* y *b* hacen girar igualmente el plano de polarizacion, el uno á la derecha y el otro á la izquierda. De consiguiente, si se les mira con un prisma bi-refringente, presentan con exactitud la misma tinta.

Despues de atravesar el haz polarizado los cuarzos *g*, pasa por el líquido del tubo *m*, y despues da con una nueva lámina de cuarzo *i*, simple y de espesor arbitrario, cuyo uso muy pronto verémos.

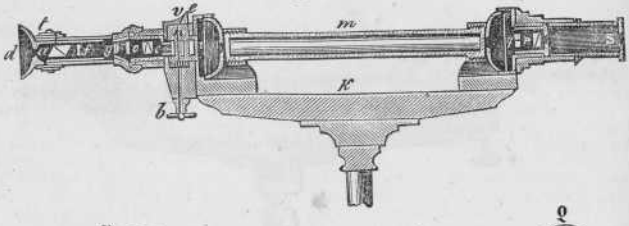
En *n* está el compensador que ha de destruir la rotacion de la columna líquida *m*. Consta de dos cuarzos de igual rotacion á derecha ó á izquierda, pero contraria á la de la placa *i*. Se obtienen estos dos cuarzos, representados en corte en la figura 361, cortando oblicuamente una lámina de cuarzo de caras paralelas, en términos de que formen dos prismas del mismo ángulo N y N′; y yustaponiendo en seguida estos dos prismas, segun se ve en la figura, resulta una sola lámina de caras paralelas que ofrece la ventaja de poder variar de espesor, pues cada prisma está fijo en un bastidor, á fin de que se mueva en uno ú otro sentido, pero conservando su paralelismo á las caras homólogas. Consíguese este movi-

miento con una doble barra dentada y un piñon, que gira por medio de un boton (figuras 359 y 360).

Cuando se mueven las láminas respectivamente en el sentido que indican las flechas (fig. 361), es evidente que crece la suma de sus espesores, y que disminuye cuando avanzan en el sentido opuesto. Una escala *e* y un vernier *v* (fig. 359) siguen á las placas en su movimiento, y sirven para medir las variaciones de espesor del compensador. Esta escala representada lo mismo que su vernier, en la figura 362, lleva dos divisiones que tienen comun el cero, la una de izquierda á derecha para los líquidos destrógiros, y la otra de derecha á izquierda para los levógiros.

Cuando se halla en el cero de la escala el vernier, la suma de los grosores de las láminas N, N' es precisamente igual á la de la placa *i*, y como la rotacion de esta última es

Fig. 360.



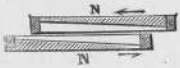


Fig. 361.

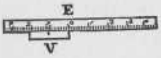


Fig. 362.

Fig. 363.

contraria á la del compensador, resulta nulo el efecto. Pero si se hacen correr en uno ú otro sentido las láminas del compensador, supera este al cuarzo *i*, y hay rotacion á derecha ó á izquierda.

Despues del compensador, hay un prisma bi-refringente *c* (fig. 360), que sirve de analizador para observar el haz polarizado que atravesó el líquido y las diversas láminas de cuarzo. Para comprender con mas facilidad el objeto del prisma *c*, despreciarémos por un instante los cristales y las lentes que están á su derecha en el dibujo. Si se procura que coincida primero el cero del vernier *v* con el de la escala, y si el líquido del tubo es inactivo, se destruyen las acciones del compensador y de la lámina *i*; y como es nulo el efecto del líquido, las dos mitades de la lámina *q*, vistas al traves del prisma *c*, dan rigurosamente la misma tinta, conforme hemos observado ya antes. Pero, si se reemplaza el tubo con líquido inactivo por otro lleno de una disolucion azucarada, se agrega el poder rotatorio de esta al del mismo sentido de uno de los cuarzos de la lámina de doble rotacion *q*, y disminuye otro tanto el del otro cuarzo. Es el resultado que las dos mitades de la lámina *q* no ofrecen ya la misma tinta, y que la mitad *a* (fig. 363) es roja, por ejemplo, mientras que la otra *b* es azul. Se hacen marchar entonces los prismas del compensador, dando vueltas al boton *b* hácia la derecha ó hácia la izquierda, hasta que la diferencia de accion del compensador y de la placa *i* compense el poder rotatorio de la disolucion, lo cual sucede en el momento en que las dos mitades de la lámina *q* de doble rotacion recobran su tinta primitiva

En cuanto al sentido de la desviacion y al espesor del compensador, se conocen por el movimiento relativo de la escala *e* y al vernier *v*. Las divisiones de la escala son tales que 10 de estas divisiones corresponden á una variacion de 1 milímetro en el espesor del compensador; y como el vernier da á su vez los décimos de estas divisiones, resulta que mide variaciones de $^1/_{100}$ de milímetro en el espesor del compensador.

Luego que la tinta de las dos mitades de la lámina *q* es bien igual, y la misma que antes de la interposicion de la disolucion azucarada, se lee en la escala á qué division corresponde el vernier, y este número da inmediatamente el título de la disolucion. Fúndase en que 16gr,471 de azúcar piedra, bien seco y bien puro, disuelto en agua, reducidos á 100 centímetros cúbicos y observados en un tubo de 20 centímetros de longitud, la desviacion es precisamente la que comporta el grosor de 1 milímetro de cuarzo. Para hacer el análisis de un azúcar en bruto, se adopta siempre un peso normal de 16gr,471 del mismo, se le disuelve en agua, y reducido el volúmen de la disolucion á 100 centímetros cúbicos, se llena con él el tubo de 20 centímetros de longitud, y se observa el número que indica el vernier cuando se ha encontrado la tinta primitiva. Si este número es, por ejemplo, 42, se deduce que la disolucion contiene, de azúcar cristalizable, 42 por 100 del que contenia la disolucion de azúcar piedra, y por consiguiente, 16gr,471 $\times$ $^{42}/_{100}$ ó 6gr,918. Con todo, no es exacto este resultado sino mientras se esté seguro de que el azúcar sometido al esperimento

no se halla mezclado con otro incristalizable, ó con alguna sustancia levógira. Recúrrese entonces á la inversion, es decir, que se trasforma por medio del ácido clorhídrico el azúcar cristalizable, que es destrógiro, en otro incristalizable, que es levógiro, y luego se ejecuta una nueva operacion, que, combinada con la primera, da la cantidad de azúcar cristalizable. No pudiendo desarrollar mas aquí este asunto, remitimos al lector á un escelente opúsculo que en 1850 dió á luz M. Clerget sobre el uso del sacarimetro.

Réstanos dar á conocer el uso de los cristales y de las lentes *o*, *g*, *f*, *a*, que están á continuacion del prisma *c* (fig. 360). Su conjunto forma lo que M. Soleil ha llamado el *productor de las tintas sensibles*. En efecto, la tinta mas sensible, es decir, la que permite distinguir una diferencia muy débil en la coloracion de las dos mitades de la lámina de rotacion, no es la misma para todos los ojos, pues en la mayor parte es de un azul violado que recuerda el color de la flor de lino. Interesa, pues, producir con facilidad dicha tinta ú otra mas sensible al ojo del observador. Hay para esto, delante del prisma *c*, primero una lámina de cuarzo *o*, tallada perpendicularmente al eje, y luego un anteojito de Galileo (479), formado por una lente bi-convexa *g* y por otra bi-cóncava *f*, que pueden acercarse ó alejarse entre sí, segun la distancia de la vista distinta de cada observador. Por fin, termina el aparato por un prisma de Nicol *a*, sujeto en un tubo *t*, que se hace girar á voluntad sobre sí mismo. Actuando el prisma bi-refringente *c* como polarizador con relacion al cuarzo *o*, y como analizador el prisma *a*, resulta que, al girar este último á derecha ó á izquierda, varia de tinta la luz que atravesó el prisma *c* y la lámina *o* (532), viéndose al fin la que el esperimentador ha adoptado como fija.

535. **Análisis de la orina de los diabéticos.**—En la enfermedad conocida con el nombre de *diabetes sacarina*, se hallan cargados los orines de una gran cantidad de azúcar fermentescible, que se llama azúcar de diabetes. Este azúcar, en su estado natural en la orina, desvia el plano de polarizacion hácia la derecha. Para dosificar la cantidad de azúcar contenido en la orina de los diabéticos, se principia, si no estan bastante claros, por clarificarlos con el subacetato de plomo; filtranse; se llena luego de orina, así clarificada, el tubo *m*, y luego se hace dar vuelta al boton *b* hasta que se tenga en la lámina de doble rotacion la misma tinta que antes de la interposicion de la orina. Habiendo demostrado la esperiencia que 100 partes de la escala del sacarimetro representan la cantidad que ha de correrse el cuarzo compensador cuando entran en la orina 225gr,6 de azúcar por litro, es claro que cada division de la escala representa muy sensiblemente 2 gramos y $^1/_4$ de azúcar. De consiguiente, para obtener la cantidad de azúcar disuelta en una orina dada, hay que multiplicar 2gr,256 por el número que indica el vernier en el momento en que se apaga la tinta primitiva.

COLORES PRODUCIDOS POR LA INTERFERENCIA DE LOS RAYOS POLARIZADOS.

536. **Leyes de la interferencia de los rayos polarizados.**—Despues del descubrimiento de la polarizacion, buscaron Arago y Fresnel si los rayos polarizados presentaban entre sí los mismos fenómenos de interferencia que los rayos no polarizados, y así es como llegaron á descubrir las siguientes leyes sobre la interferencia de la luz polarizada, y al mismo tiempo los brillantes fenómenos de coloracion que se describen á continuacion (537 á 542).

1.ª *ley.*—Dos rayos polarizados en el mismo plano interfieren entre sí absolutamente como dos rayos naturales.

2.ª *ley.*—Dos rayos polarizados en dos planos perpendiculares no interfieren en el caso en que interferirian dos rayos naturales.

3.ª *ley.*—Dos rayos, polarizados desde luego en planos perpendiculares, pueden ser conducidos en el mismo plano de polarizacion, sin adquirir por esto la propiedad de interferir entre sí.

4.ª *ley.*—Dos rayos polarizados en planos perpendiculares, y conducidos en seguida al mismo plano de polarizacion, interfieren como luz ordinaria, si ellos no han sido primitivamente polarizados en un mismo plano.

5.ª *ley.*—En los fenómenos de interferencia por rayos que han esperimentado la doble refraccion, el lugar de las franjas coloreadas no está determinado únicamente por la diferencia de las direcciones ó velocidades, porque en ciertas circunstancias es menester tener cuenta de una semi-oscilacion en esceso.

Estas leyes son de una gran importancia, porque ellas son las que dan la esplicacion de las diversas circunstancias en las cuales los rayos polarizados dan ó no lugar á los fenómenos de coloracion que van á ser descritos.

537. **Tintas producidas por la luz polarizada cuando atraviesa láminas delgadas bi-refringentes.**—Al estudiar las propiedades de la luz polarizada (525) se ha visto que un haz de luz polarizada por su reflexion sobre un primer espejo, no se refleja mas sobre un segundo, si los dos planos de reflexion son perpendiculares entre sí; ó todavía, que la luz polarizada no puede atravesar una lámina de turmalina cuyo eje

es paralelo al plano de polarizacion; en fin, que la luz, polarizada por su paso al traves de un prisma bi-refringente, no produce mas que una sola imágen cuando el plano de la seccion principal de este prisma es perpendicular ó paralelo al plano de polarizacion. Pero en estas esperiencias, basta que la luz, despues de polarizada, atraviese una lámina delgada de mica, de sulfato de cal, de cristal de roca, de cal carbonatada, ó de cualquiera otra sustancia bi-refringente, para que se cambien completamente los fenómenos.

Para observar los fenómenos que entonces se producen, el aparato mas cómodo es el de Noremberg (355 y 356). En *g* (fig. 356) hay un prisma bi-refringente, una turmalina, ó un prisma de Nicol. La lámina delgada cristalizada está puesta sobre la pantalla *e*, ó en *p*, sobre el espejo; pero hay que observar que, en este último caso, la luz polarizada por el cristal no azogado *n* atraviesa dos veces la lámina cristalizada colocada en *p*, y que, por consiguiente, se obtiene el mismo efecto que si la lámina tuviese doble espesor y no fuese atravesada mas que una sola vez por la luz polarizada.

Pero, siendo un prisma bi-refringente el analizador colocado en *p*, se ha visto (529) que, en tanto que alguna lámina cristalizada no esté aun dispuesta sobre el aparato, el haz polarizado sobre el cristal *n* y enviado hácia el prisma, lo atraviesa, esperimentando una doble refraccion; de donde resulta que el ojo colocado encima vea dos imágenes de la abertura *e* practicada en el centro del diafragma *a*. Estas dos imágenes son blancas y de intensidades desiguales, y haciendo girar el prisma sobre su montante, cada una de ellas se debilita sucesivamente, y se estingue siempre que la seccion principal del prisma quede perpendicular ó paralela al plano de polarizacion del haz.

Supuesto esto, cuando se interpone debajo del prisma una lámina bi-refringente, tallada paralelamente á su eje, se observan los fenómenos siguientes:

1.° La seccion principal de la lámina, siendo paralela ó perpendicular al plano de polarizacion del haz luminoso, el ojo percibe siempre dos imágenes blancas, que esperimentan, cuando se hace girar el prisma birefringente, las mismas variaciones de intensidad que si no existiese la lámina.

2.° Cuando la seccion principal de la lámina no es paralela, ni perpendicular al plano de polarizacion, las dos imágenes son coloreadas, y sus colores son complementarios, porque cuando ellas se superponen por sus bordes, la parte comun es blanca.

3.° Permaneciendo fija la lámina, si se hace girar al prisma, las tintas de las imágenes no cambian, pero su intensidad varia, y el máximum de brillo tiene lugar cuando la seccion principal del prisma hace con la de la lámina un ángulo de 45 ó de 135 grados; es decir, en la posicion intermedia á las que corresponden en los casos en que las dos imágenes son blancas: además, las imágenes cambian sucesivamente entre sí sus colores, pasando por el blanco, lo cual tiene lugar cuando las secciones principales de los prismas de la lámina son paralelas ó perpendiculares entre sí.

Empleando por analizador una turmalina ó un prisma de Nicol, en lugar de un prisma bi-refringente, se observan todavía los mismos fenómenos de coloracion, pero no se tiene mas que una imágen.

538. **Influencia del espesor de las láminas.**—Para láminas de igual naturaleza, las tintas cambian con el espesor, y disminuyen de intensidad á medida que las láminas son mas gruesas. Hay asimismo un límite de espesor, pasado el cual ya no se obtiene coloracion. Para la mica, este límite es de 88 centésimas de milímetro; para el sulfato de cal y el cristal de roca, de 45 centésimas, y para el espato de Islandia, de 25 milésimas. Esto es lo que hace muy difícil de obtener la coloracion con esta sustancia, á causa de la dificultad de tallarla en láminas bastante delgadas. Por el contrario, en la mica y sulfato de cal, que se esfolian fácilmente en láminas sumamente delgadas, la esperiencia sale perfectamente.

Se obtienen de una misma lámina tintas diferentes, inclinándola mas ó menos con relacion al haz polarizado que la atraviesa. Esto no viene, en rigor, á hacer otra cosa que á variar su espesor.

Para una misma sustancia, con láminas cuyo espesor vaya creciendo, las tintas varian segun las mismas leyes que las tintas de los anillos coloreados de Newton, correspondiendo á capas de aire mas y mas espesas (523); tan solo el espesor de la lámina cristalizada debe de ser mayor con mucho que el de la capa de aire. En efecto, para una tinta del mismo órden, el espesor de la mica debe de ser 440 veces el de la capa de aire; para el cristal de roca y sulfato de cal, 230 veces, y para el espato de Islandia, 13 veces solamente.

539. **Teoría de la coloracion producida por la luz polarizada.**—Fundándose siempre en la teoría de las ondulaciones, Fresnel ha dado una esplicacion sencilla y completa de las tintas producidas por la luz polarizada cuando atraviesa láminas bi-refringentes, haciendo ver que estas tintas tienen por causa la desigual velocidad de los rayos ordinario y estraordinario, despues que ellos han atravesado la lámina bi-refringente, desigualdad de donde provienen, entre los dos sistemas de ondulaciones, los retrasos ó adelantos que los colocan en las condiciones convenientes para interferir, y por consiguiente, para desarrollar colores (521).

Para darse cuenta de la formacion de los colores por la interferencia de los rayos polarizados que han atravesado una lámina bi-refringente, consideremos lo que sucede en el esperimento del aparato de Noremberg, descrito (537), y supongamos que la lámina cristalizada, sie do de un solo eje, haga este un ángulo de 45 grados con el plano de polarizacion del haz incidente. Al atravesar la lámina bi-refringente, este haz se divide en dos

haces, ordinario y estraordinario, de igual intensidad, y polarizados cada uno en planos que hacen con el de polarizacion primitivo ángulos de $+45^{\circ}$ y -45°; de donde resulta que estos dos haces son polarizados en dos planos que forman entre sí ángulo recto, y que, por consiguiente, no puede haber allí interferencia, segun la segunda ley de Arago y Fresnel (536). Sentado esto, sean O y E los dos haces ordinario y estraordinario que, saliendo de la lámina delgada, vienen á caer sobre el prisma bi-refringente, de que nosotros supondremos la seccion principal en el plano de polarizacion primitivo; cada uno de los haces O y E, atravesando al prisma, se divide respectivamente en otros dos, que nosotros designarémos por O_o y O_e para el primero, y por E_o y E_e para el segundo, teniendo estos cuatro haces, en último resultado, la misma intensidad. Pero los haces E_e y O_e son paralelos, como teniendo el mismo índice de refraccion, y no difieren entre sí mas que por un cierto intervalo d; los haces E_o y O_o son tambien paralelos, pero difieren por un intervalo $d \pm \frac{1}{2}$ ondulaciones, segun el principio de que, pasando del rayo ordinario al rayo estraordinario, es menester tener en cuenta una semi-ondulacion en mas ó en menos (537, 5.ª *ley*). Pero como los rayos de cada par son referidos á un mismo plano de polarizacion, á saber, los rayos ordinarios O_o y E_o en el plano de la seccion principal del prisma, y los rayos O_e y E_e en un plano perpendicular al primero; ya no hay obstáculo á la interferencia de los rayos de un mismo par, y se ven aparecer los colores complementarios en los haces que corresponden á los intervalos d y $d+$ un número impar de semiondulaciones.

Si se concibe ahora que la lámina cristalizada sea atravesada por un segundo haz, polarizado en un plano perpendicular al de polarizacion de antes, este nuevo haz esperimentará las mismas divisiones y subdivisiones que el precedente, pero los intervalos de retraso serán diferentes. En efecto, el plano de polarizacion del nuevo haz, refiriéndose ahora al de la refraccion ordinaria, mientras que el del primer haz se referia al plano de refraccion estraordinaria, resulta una diferencia de una semi-ondulacion en la posicion relativa de los dos sistemas de ondas O y E á su emergencia; es decir, que el intervalo que era d en el caso anterior, será ahora d menos un número impar de semioscilaciones; y despues de la trasmision al traves del prisma, los intervalos de retraso de los dos haces serán respectivamente $d-\frac{n}{2}$ y d, en lugar de d y $d+\frac{n}{2}$ que eran antes, n siendo un número impar. Esto esplica cómo los dos haces hacen un cambio de colores cuando se hace girar el plano de polarizacion de 90 grados.

Falta investigar ahora por qué no se producen colores en la esperiencia anterior, cuando la lámina cristalizada, en vez de ser atravesada por la luz polarizada, lo es por la natural. Pero se ha visto (527) que la luz natural puede siempre ser mirada como formada de dos haces iguales polarizados á ángulo recto; de donde resulta, segun lo que se ha dicho anteriormente, que cuando la lámina cristalizada es atravesada por luz natural, cada haz emergente O y E da lugar á dos colores complementarios que se superponen, y que, siendo de igual intensidad, producen luz blanca.

540. **Anillos coloreados producidos por la luz polarizada atravesando las láminas bi-refringentes.** — En la esperiencia hecha con el aparato de Noremberg, y descrita anteriormente (537), siendo atravesada la lámina cristalizada perpendicularmente á sus caras por un haz de luz paralelo, todas las partes de la lámina obran de la

Fig. 364.

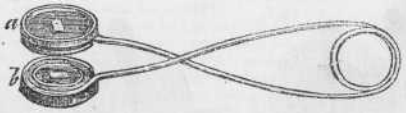


Fig. 365.

misma manera, y por todas partes se obtiene la misma tinta. Pero los efectos ya no son los mismos cuando los rayos incidentes atraviesan la lámina bajo oblicuidades diferentes, porque esto determina espesores desiguales; de donde resultan anillos completamente semejantes á los anillos de Newton (523).

Las pinzas de turmalina constituyen el mejor aparato para observar estos nuevos fenómenos. Se llama así á un pequeño instrumento que se compone de dos turmalinas talladas paralelamente á su eje, y engastada cada una en un disco de laton. Estos dos discos, que estan agujereados por su centro y ennegrecidos, estan ellos mismos montados en dos anillos de alambre de laton plateado, el cual se arrolla sobre sí mismo, como lo manifiesta la fig. 365, de manera que, produciendo un resorte, haga que se aplique una turmalina

contra la otra. Girando estas con los discos, se las dispone á voluntad de manera que sus ejes sean paralelos ó perpendiculares entre sí.

Supuesto esto, el cristal sobre el que se quiere esperimentar, estando fijo en el centro de un disco de corcho (fig. 364), se coloca este entre las dos turmalinas, despues se aplican las pinzas delante del ojo, á fin de recibir la luz difusa del cielo. La turmalina opuesta al ojo obra entonces como polarizador, y la otra como analizador (529). Si el cristal que se observa así, siendo de un solo eje y tallado perpendicularmente al eje, está iluminado por una luz simple, como el rojo, por ejemplo, se observa la produccion de una série de anillos circulares alternativamente rojos y oscuros. Con otro color simple, se obtienen anillos análogos, pero su diámetro aumenta con la refrangibilidad del color. Por el contrario, el diámetro de los anillos disminuye cuando el espesor de las láminas aumenta, y pasado cierto espesor, ya no se producen mas. Si en lugar de iluminar las láminas con luz homogénea, se las ilumina con luz blanca, como los anillos de tintas diferentes que se producen entonces no tienen el mismo diámetro, se superponen en parte, produciendo anillos irisados muy brillantes.

La posicion del cristal no tiene influencia sobre los anillos, pero no sucede lo mismo con la posicion relativa de las dos turmalinas. Esperimentando, por ejemplo, sobre el espato de Islandia, tallado perpendicularmente á su eje y de 1 á 30 milímetros de espesor, cuando los ejes de las turmalinas son perpendiculares entre sí, se observa una hermosa série de

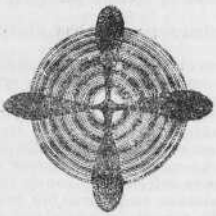


Fig. 366.

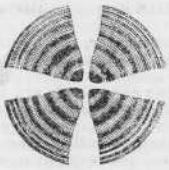


Fig. 367.

Fig. 368.

anillos vivamente coloreados y atravesados por una cruz negra, como lo muestra la fig. 366; si los ejes de las turmalinas son paralelos, los anillos se coloran de tintas complementarias de aquellas que tenian antes, y son atravesados por una cruz blanca fig. 367).

Para darse cuenta de la formacion de los anillos por la luz polarizada atravesando las láminas bi-refringentes, es menester observar que, en el caso que consideramos, estas láminas son atravesadas por un haz cónico convergente cuyo vértice es el ojo del observador. De donde resulta que el espesor de la lámina que deben atravesar los rayos aumenta con su divergencia, pero que para rayos de la misma oblicuidad este espesor es el mismo, y de aquí resultan las diferencias de velocidad del rayo ordinario y del rayo estraordinario que esplican la formacion de los colores y su disposicion circular alrededor del eje del haz y del cristal. En cuanto á la cruz negra, ella es debida á que la luz polarizada es absorbida en el plano de la seccion principal de la turmalina y en el plano perpendicular.

Obsérvanse fenómenos análogos con todos los cristales de un eje, como la turmalina, esmeralda, corindon, berilo, mica, fosfato de plomo, prusiato de potasa, cristal de roca. Sin embargo, con este último la cruz desaparece por un efecto de polarizacion rotatoria (532).

541. **Anillos en los cristales de dos ejes.** — En los cristales de dos ejes se produ-

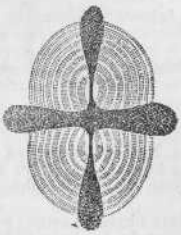


Fig. 369.

Fig. 370.

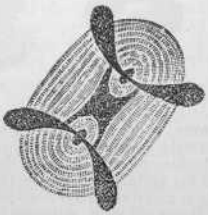


Fig. 371.

cen tambien anillos coloreados, pero de una forma mas complicada. En vez de ser circulares y concéntricas las fajas coloreadas, presentan entonces la forma de curvas de dos cen-

tros, correspondiendo el centro de cada una á uno de los ejes del cristal. Las figuras 369, 370 y 371 representan las curvas que, con las pinzas de turmalina, produce el nitrato de potasa tallado perpendicularmente á su eje. Cuando los ejes de las dos turmalinas son rectangulares, se tiene la fig. 369; girando despues lentamente el cristal, sin cambiar las turmalinas, se pasa por la fig. 370 para llegar á la fig. 371 cuando se ha girado 45 grados. Si los ejes de las turmalinas son paralelos, se obtienen las mismas curvas coloreadas, pero sus tintas son suplementarias, y la cruz negra se cambia en cruz blanca. Si el ángulo de los dos ejes del cristal vale mas de 20 á 25 grados, no se pueden ver simultáneamente los dos sistemas de curvas: tal es lo que sucede con el aragonito, por ejemplo, que produce la figura 368.

Herschell, que ha medido con cuidado los anillos producidos por los cristales de dos ejes, los refiere á la curva conocida en geometria con el nombre de *lemniscata*.

542. **Coloraciones producidas por el cristal templado ó comprimido.**— El cristal ordinario no está dotado de la doble refraccion, pero adquiere esta propiedad si, por una causa cualquiera, su elasticidad es modificada en una direccion mas que en otra.

Fig. 372.

Fig. 373.

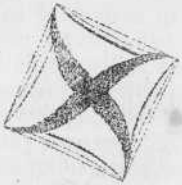


Fig. 375.

Fig. 374.

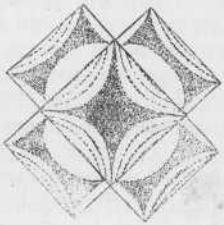


Fig. 377.

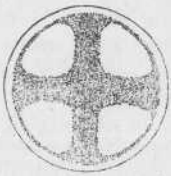


Fig. 376.

Basta para esto el comprimirlo en un sentido fuertemente, encorvarle ó templarle, es decir, de enfriarle rápidamente despues de haberlo calentado. Si el cristal es entonces atravesado por un haz de luz polarizada, se obtienen efectos de coloracion completamente análogos á los observados anteriormente en los cristales bi-refringentes, pero mucho mas variados, segun la forma circular, cuadrada, rectangular, triangular que se da á las láminas de cristal, y segun el grado de tension de sus particulas.

Siendo el polarizador un espejo de vidrio negro sobre el cual se recibe la luz de las nubes, y el analizador un prisma de Nicol al traves del cual se mira á las láminas de cristal atravesadas por la luz polarizada, las figuras 372, 373 y 374 representan los dibujos que se observan haciendo girar sucesivamente, en su propio plano, una lámina cuadrada de cristal templado. Las figuras 375 y 376 representan los dibujos que producen en el mismo caso las láminas circulares, y la figura 377 el dibujo producido por dos láminas cuadradas superpuestas, dibujo que varia asimismo cuando se hace girar el sistema de láminas.

Los cristales comprimidos ó encorvados presentan efectos del mismo género, y que varian en las mismas condiciones.

543. **Polarizacion del calórico.**—El calórico, del mismo modo que la luz, puede polarizarse por reflexion y por refraccion (523); pero las investigaciones sobre este objeto presentan grandes dificultades. Las primeras fueron hechas en 1810 por Bérard, y tambien por Malus; habiendo muerto este, Bérard las continuó solo.

En los esperimentos de este sabio, los rayos calorificos reflejados sobre un primer espejo eran recibidos sobre un segundo, como en el aparato de Noremberg fig. 353), y de alli caian sobre un pequeño reflector metálico que los concentraba sobre la esfera de un termómetro diferencial. Bérard observó asi un minimum de intensidad cuando el plano de reflexion sobre el segundo espejo era perpendicular al plano de reflexion sobre el primero.

Siendo este fenómeno el mismo que el que presenta la luz en igual esperimento (530), concluyó Bérard que el calórico se polarizaba al reflejarse sobre el primer espejo.

Melloni ha aplicado su termo-multiplicador al estudio de la polarizacion del calórico, y haciendo pasar los rayos calorificos al traves de dos turmalinas paralelas ó al traves de dos pilas de mica, ha demostrado que aquellos se polarizan por refraccion. Ha encontrado, además, que el ángulo de polarizacion (526) es sensiblemente el mismo para el calórico que para la luz.

LIBRO OCTAVO.

DEL MAGNETISMO.

CAPITULO PRIMERO.

PROPIEDADES DE LOS IMANES.

544. **Imanes naturales é imanes artificiales.** — Llámanse *imanes* unos cuerpos que tienen la propiedad de atraer al hierro y algunos otros metales, como son: el niquel, el cobalto y el cromo. Con todo, muy pronto citarémos esperimentos que prueban que los imanes obran realmente sobre todos los cuerpos, ora por atraccion, ora por repulsion; pero de un modo muy remiso (552).

Dividense los imanes en naturales y artificiales. El *iman natural ó piedra de iman*, es un óxido de hierro, conocido en química con el nombre de *óxido magnético*. Su fórmula es $Fe^3O^4 = FeO + Fe^2O^3$, es decir, que se compone de un equivalente de protóxido y de otro de sesquióxido. Abunda mucho en la naturaleza el óxido magnético, encontrándosele en los terrenos antiguos, y sobre todo en Suecia y en Noruega, donde se lo esplota como mineral de hierro, pues da la mejor calidad que se conoce de este metal. Sin embargo, la mayor parte de los ejemplares de óxido de hierro magnético no atraen al hierro; de modo que esta propiedad solo la poseen accidentalmente.

Los *imanes artificiales* son barritas ó agujas de acero templadas (76), que no poseen naturalmente las propiedades de los imanes naturales, sino que las han adquirido por fricciones con un iman, ó por procedimientos eléctricos que mas adelante describirémos. Constrúyense tambien imanes artificiales con hierro *dulce*, es decir, purgado sensiblemente de toda materia estraña; pero su imantacion no es duradera como la de las barritas de acero.

Los imanes artificiales son mas poderosos que los naturales, y gozan de propiedades completamente idénticas.

El poder atractivo de los imanes se ejerce á todas las distancias, y al traves de todos los cuerpos; decrece muy pronto cuando aumenta la distancia, y varía con la temperatura. Coulomb hizo ver que la intensidad magnética de una barrita disminuye á medida que aumenta su temperatura, y recobra su primitivo valor cuando vuelve á la temperatura primitiva, con tal que no haya pasado de cierto límite, pues al rojo pierden por completo los imanes su poder atractivo.

La atraccion que ejerce el iman sobre el hierro es recíproca, lo cual es, por otra parte, un principio general de todas las atracciones. Compruébase esto presentando una masa de hierro á un iman, el cual es atraido.

La fuerza atractiva de los imanes ha recibido el nombre de *fuerza magnética* [1], y su teoría física se designa á su vez con el de *magnetismo*, espresion que no debe confundirse con la de *magnetismo animal*, que se ha adoptado para indicar la influencia que ejerceria una persona sobre otra por el imperio de su voluntad; influencia que no se halla ni con mucho demostrada.

545. **Polos y línea neutra.** — Los imanes no poseen en todos sus puntos la misma fuerza magnética. En efecto, si se introduce una barra imantada en limaduras de hierro, se ve que se adhieren estas

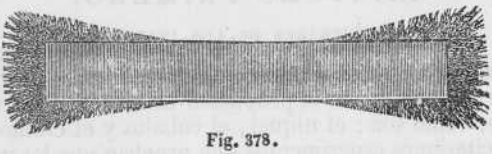


Fig. 378.

con abundancia hácia las estremidades de la barra, bajo la forma de penachos erizados (fig. 378); pero decrece rápidamente la adherencia desde las estremidades á la region media, en donde es nula. La parte de la superficie del iman en que es insensible la fuerza magnética ha recibido el nombre de *linea neutra*, y los dos puntos próximos á las estremidades en que se manifiesta el máximum de atraccion, se llaman *polos*. Todo iman, natural ó artificial, presenta dos polos y una línea neutra; si bien en la imantacion de las barras y de las agujas se producen á veces alternativas de polos contrarios situados entre los polos estremos. Estos polos intermedios se denominan *puntos consecuentes*. Estos se encuentran, unas veces en número par, y otras en número impar. Siempre supondrémos que no tienen mas que dos polos los imanes, porque este es el caso ordinario.

Designanse los polos, el uno con el nombre de *polo austral*, y el otro con el de *polo boreal*, que son espresiones tomadas de la accion que ejercen los polos terrestres sobre los de los imanes (553). En nuestros dibujos representarémos siempre el polo austral por las letras *a* ó A, y el boreal por las *b* ó B, y llamarémos polos del *mismo nombre* los designados por letras iguales.

546. **Acciones mútuas de los polos.** — Parecen idénticos los dos polos de un iman cuando se los presenta á las limaduras de hierro, pero no es mas que aparente tal identidad. En efecto, suspéndase una agujita imantada *ab* (fig. 379) de un hilo fino, y aproxímese al polo austral *a* el austral A de otra aguja, y se notará una viva repulsion; mientras que, por el contrario, si se acerca el A al boreal de la aguja móvil, se produce una gran atraccion. Tenemos, pues, que no son idénticos los polos *a* y *b*, supuesto que el uno es repelido, y el otro atraido por el mismo polo A del iman que está en la mano.

---

[1] La palabra magnetismo viene del griego μαγνητης, bajo el cual designaban los antiguos la piedra iman, porque se dice que cerca de la villa de Magnesia, en Lydia, es donde primero encontraron este mineral.

Compruébase tambien que difieren entre sí los dos polos de este último, presentándolos sucesivamente al mismo polo *a* de la aguja móvil. Con el uno hay repulsion, y atraccion con el otro. Podemos sentar, por lo tanto, esta sencilla ley acerca de las acciones recíprocas que se ejercen entre dos imanes:

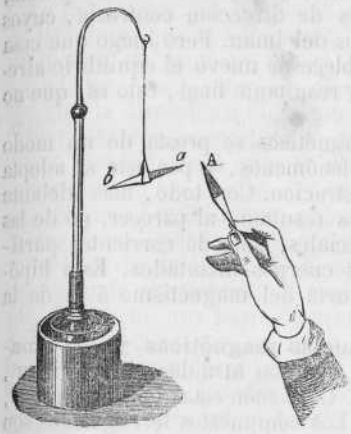


Fig. 379

Los polos del mismo nombre se repelen, y los polos de nombre contrario se atraen.

Demuéstranse tambien, por medio del esperimento que sigue, las acciones contrarias de los polos boreal y austral: se suspende de un iman un objeto de hierro, por ejemplo, una llave; y luego sobre el primer iman se hace correr otro sensiblemente de la misma fuerza, procurando poner enfrente los polos contrarios (fig. 380). Continúa sostenida la llave mientras estan lejanos los dos polos, pero luego que se hallan bastante cerca, cae como si la barra que la sostenia hubiese perdido de repente su propiedad mag-

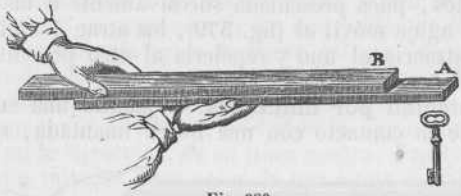


Fig. 380.

nética; pero nada de esto sucede, pues puede sostenerla de nuevo desde el momento en que se separa la segunda barra.

547. **Hipótesis de los dos fluidos magnéticos.**—Para esplicar los fenómenos que acabamos de dar á conocer, han sido conducidos los físicos á admitir la hipótesis de dos *fluidos magnéticos*, que obran cada uno por repulsion sobre sí mismo, y por atraccion sobre el otro fluido. Estos dos fluidos han recibido los nombres, el uno de *fluido austral*, y el otro de *fluido boreal*, que son los nombres de los dos polos en los cuales preponderan sus acciones.

Admítese que antes de la imantacion se hallan combinados estos fluidos alrededor de cada molécula, neutralizándose recíprocamente, pero que pueden separarse por la influencia de una fuerza mayor que su atraccion mútua, y moverse alrededor de las moléculas sin salir de la esfera de actividad que les está asignada alrededor de cada una de ellas. Se encuentran *orientados* entonces los fluidos, es decir, que

en la esfera magnética que envuelve á cada molécula, tiene constantemente el fluido boreal una misma direccion, y el austral la opuesta, proviniendo de aquí dos resultantes de direccion contraria, cuyos puntos de aplicacion son los dos polos del iman. Pero luego que cesa la orientacion de los fluidos, se establece de nuevo el equilibrio alrededor de cada molécula, y es nula la resultante final, esto es, que no hay ya ni atraccion ni repulsion.

La hipótesis de los dos fluidos magnéticos se presta de un modo muy sencillo á la esplicacion de los fenómenos, y por esto se adopta generalmente como método de demostracion. Con todo, mas adelante se verá que los fenómenos magnéticos resultan, al parecer, no de las acciones opuestas de dos fluidos especiales, sino de corrientes particulares de la materia eléctrica en los cuerpos imantados. Esta hipótesis ofrece la ventaja de referir la teoría del magnetismo á la de la electricidad.

548. **Diferencia entre las sustancias magnéticas y los imanes.**—Son *sustancias magnéticas* las que son atraidas por el iman, como el hierro, el acero y el niquel. Contienen estas los dos fluidos, pero en el estado de neutralizacion. Los compuestos ferruginosos son generalmente magnéticos, y tanto mas, cuanto mas hierro contienen. Algunos, sin embargo, como el persulfuro de hierro, no son atraidos por el iman.

Fácil es distinguir una sustancia magnética de un iman. La primera carece de polos, pues presentada sucesivamente á las dos estremidades de una aguja móvil *ab* (fig. 379), los atrae á ambos, mientras que el iman atraeria al uno y repeleria al otro presentándolo por el mismo polo.

549. **Imantacion por influencia.**—Cuando una sustancia magnética se pone en contacto con una barra imantada, se separan los

Fig. 381.

dos fluidos de esta sustancia, convirtiéndose, mientras dura el contacto, en un iman completo, con sus dos polos y su línea neutra. Por ejemplo, si se suspende de uno de los polos de un iman (fig. 381) un cilindro *ab* de hierro dulce; puede sostener este á su vez otro semejante, este un tercero, y así sucesivamente hasta 7 ú 8, segun la fuerza de la barra. Cada uno de estos cilindritos es, pues, un iman, pero solo mientras dura la influencia de la barra imantada, porque si se interrumpe el contacto de esta con el primer cilindro, inmediatamente, ó á lo sumo á poco rato, se desprenden los demás cilindros, sin conservar huella alguna de magnetismo. Por lo tanto, solo ha sido

momentánea la separacion de los dos fluidos, quedando así demostrado que nada cedió el iman al hierro. Imántase tambien el niquel perfectamente bajo la influencia de un poderoso iman.

La imantacion por influencia esplica la formacion de los penachos de limaduras que se adhieren á los polos de los imanes (fig. 378). Las partículas en contacto con el iman obran por influencia sobre las inmediatas; estas sobre las siguientes, y así sucesivamente, dando orígen á la disposicion filamentosa de las limaduras.

550. **Fuerza coercitiva.** — Denomínase *fuerza coercitiva* la fuerza mas ó menos intensa que, en una sustancia magnética, se opone á la separacion de los fluidos, ó á su recomposicion cuando estan separados. Segun el esperimento anterior, es inapreciable esta fuerza en el hierro dulce, porque este metal se imanta instantáneamente por la influencia de un iman. En el acero templado, por el contrario, es muy grande esta fuerza, la cual crece con la mayor energía del temple. En efecto, una barra de acero se imanta muy lentamente si se la pone en contacto con un iman, como que es necesario friccionarla con uno de los polos de este, si se desea que adquiera toda su fuerza. La separacion de los dos fluidos ofrece, pues, aquí una resistencia que no se observa en el hierro dulce; sucediendo lo propio con su recomposicion, porque una barra de acero bien imantada, con dificultad pierde sus propiedades magnéticas. Pronto se verá que, por la oxidacion, la presion ó la torsion, puede adquirir tambien el hierro dulce cierta fuerza coercitiva, pero poco duradera.

551. **Esperimento de los imanes rotos.** —Demuéstrase por medio del esperimento la presencia de los dos fluidos en todas las partes de un imán: se toma una aguja de hacer calceta, de acero, y se la imanta por medio de fricciones con uno de los polos de un iman; y despues de comprobada la existencia de los dos polos y de la línea neutra con limaduras de hierro, se divide la aguja por su parte media, esto es, en la direccion de su línea neutra. Presentando sucesivamente las dos mitades á los polos de una aguja móvil (fig. 379), se nota que, en vez de no ofrecer mas que un fluido, tienen cada una dos polos contrarios y una línea neutra. Partiendo de igual manera estos nuevos imanes en dos mitades, se observa de nuevo que cada una de ellas es un iman completo con sus dos polos y su línea neutra, y así sucesivamente puede continuarse la division tan lejos como se quiera; y de todo esto se deduce, por analogía, que contienen ambos fluidos las porciones mas pequeñas de un iman.

552. **Acciones de los imanes sobre todos los cuerpos, cuerpos diamagnéticos.** —Coulomb fué el primero en observar, en 1802, que los imanes actúan sobre todos los cuerpos con mayor ó menor energía, segun lo comprobó haciendo oscilar barritas de diferentes sustancias entre los polos opuestos de dos barras imantadas enérgicas, luego fuera de la influencia de todo iman, y comparando en seguida el número de oscilaciones, en ambos casos, en tiempos iguales. Atribuyéronse primero estos fenómenos á la presencia de materias ferruginosas en los cuerpos sometidos al esperimento; pero M. Lebaillif,

y luego los señores Becquerel, demostraron que los imanes ejercen realmente una accion sobre todos los cuerpos. Comprobóse, además, que esta accion es unas veces atractiva y otras repulsiva; y así, los cuerpos atraidos se llaman *magnéticos*, y los repelidos *diamagnéticos*. Entre estos últimos se hallan el bismuto, el plomo, el azufre, la cera, el agua, etc. El cobre es unas veces magnético y otras diamagnético, lo cual depende probablemente de su grado de pureza.

Observó M. Faraday, en 1847, que los imanes poderosos ejercen sobre las llamas una accion repulsiva, que atribuia á una diferencia de diamagnetismo entre los gases. Despues reconoció M. Ed. Becquerel, quien ha hecho importantes trabajos sobre esta materia, que, de todos los gases, es el oxígeno el de mayor poder magnético, y que un metro cúbico de este gas condensado obraria sobre una aguja imantada como 5gr,5 de hierro.

Algunos físicos han considerado el diamagnetismo como una propiedad distinta del magnetismo; pero M. Ed. Becquerel enlaza estas dos clases de fenómenos por medio de una ingeniosa hipótesis: admite que no hay dos géneros de acciones entre los cuerpos y los imanes, sino tan solo una imantacion por influencia, y que la repulsion ejercida por ciertas sustancias depende de que se hallan estas envueltas por un medio mas magnético que ellas.

Cuando hablemos, en la teoría de la electricidad, de los fenómenos de induccion, darémos á conocer una accion recíproca entre los imanes y los metales en movimiento.

CAPÍTULO II.

MAGNETISMO TERRESTRE; BRUJULAS.

553. Accion directriz de la tierra sobre los imanes.—Cuando se suspende de un hilo una aguja imantada (fig. 379), ó cuando se la apoya sobre una punta alrededor de la cual pueda girar fácilmente, se observa que la aguja, en vez de pararse en una posicion cualquiera, acaba siempre por fijarse en una direccion que es mas ó menos la de norte á sur. Lo propio sucede si en un vaso lleno de agua se coloca un disco pequeño de corcho con una barrita imantada encima, pues primero oscila, pero la línea recta que une los dos polos del iman, cuando este se para, se halla tambien sensiblemente en la direccion de norte á sur. Pero obsérvese que en este esperimento no avanzan el corcho y la barra, ni hácia el norte, ni hácia el sur. La accion de los polos terrestres sobre los imanes no es atractiva, sino *simplemente directriz*.

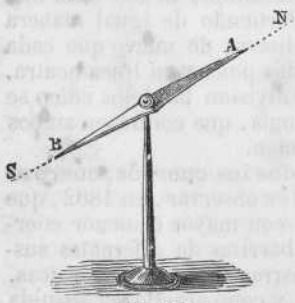


Fig. 382.

Habiéndose hecho varias observaciones análogas en todos los puntos del globo, se ha asemejado la tierra á un inmenso iman, cuyos polos estarian cerca de los terrestres, y cuya línea neutra coincidiria sensiblemente con el ecuador. En virtud de esta hipótesis, se ha llamado fluido boreal al que predomina en el polo boreal del globo, y fluido austral al del opuesto. Obrando, bajo este supuesto, la tierra sobre las agujas como un iman, se repelen los polos del mismo nombre, y se atraen los de nombre contrario. De consiguiente, cuando se fija una aguja imantada en la direccion del norte al sur, el polo que mira al norte contiene el fluido austral, y el que mira al sur el boreal. Por eso el polo que mira al norte se llama austral, y boreal el que mira al sur.

554. **Par magnético terrestre.** — Fácil es ver, por lo que precede, que la accion magnética de la tierra sobre una aguja imantada, puede compararse á un *par*, es decir, á un sistema de dos fuerzas iguales, paralelas y de direccion contraria, aplicadas á las dos estremidades de la aguja. En efecto, obrando el polo boreal del globo por atraccion sobre el austral de la aguja y por repulsion sobre el boreal, resulta de ahí que los polos de la aguja se hallan solicitados por dos fuerzas contrarias, iguales y paralelas, porque el polo terrestre está bastante lejano, y la aguja es bastante pequeña para que puedan admitirse como rigurosamente paralelas las dos rectas que unen estos dos polos con el polo norte del globo; de consiguiente, este polo produce el efecto de un par. Obrando absolutamente del mismo modo el polo austral terrestre sobre los polos de la aguja, resulta un segundo par, solicitando, por fin, á la aguja á tomar una direccion determinada el par que resulta de los dos primeros.

555. **Meridiano magnético; declinacion.** — Sabido es que el meridiano astronómico de un lugar es el plano que pasa por este y por los dos polos de la tierra, y que la *meridiana* es la línea que representa el contacto de este plano con la superficie del globo. Asimismo, se llama *meridiano magnético* de un lugar el plano que pasa por este y por los dos polos de una aguja imantada móvil, en equilibrio sobre un eje vertical.

No coincidiendo, en general, el meridiano magnético con el astronómico, se llama *declinacion de la aguja imantada*, en un lugar, el ángulo que forma en este el meridiano magnético con el astronómico, ó, lo que viene á ser lo mismo, el ángulo que forma la direccion de la aguja con la meridiana. Es *oriental* ú *occidental* la declinacion, segun se halle el polo austral de la aguja al este ó al oeste del meridiano astronómico.

556. **Variacion de la declinacion.** — La declinacion de la aguja imantada, muy variable segun los lugares, es occidental en Europa y en Africa, oriental en Asia y en las dos Américas. Además, en un mismo sitio ofrece numerosas variaciones: unas que podemos considerar como regulares, son seculares, anuales ó diurnas, y otras, que son irregulares, se designan con el nombre de perturbaciones.

Variaciones seculares. — En un mismo lugar varía la declinacion con

el tiempo, y produce, al parecer, la aguja, al este y al oeste del meridiano astronómico, oscilaciones que duran muchos siglos. Desde 1580 se conoce en Paris la declinacion. El siguiente cuadro indica las variaciones que ha sufrido.

Años.	Declinaciones.	Años.	Declinaciones.
1580	11° 30′ al Este.	1825	22° 22′ al Oeste.
1663	0	1830	22 12
1700	8 10 al Oeste.	1835	22 4
1780	19 55	1850	20 30
1785	22 00	1853	20 17
1814	22 34	1855 7 setiembre)	19 57 45″

Esta tabla manifiesta que desde 1580 ha variado la declinacion en Paris mas de 34 grados, y que se observó el máximum de desviacion occidental en 1814, retrocediendo desde entonces la aguja hácia el oriente.

Variaciones anuales. — Las variaciones anuales han sido señaladas por Cassini, quien observó, en 1784, que del equinoccio de la primavera al solsticio del verano retrogradaba la aguja en Paris hácia el este, y que, por el contrario, avanzaba hácia el oeste en los nueve meses siguientes. En dicho año llegó el máximum de amplitud á 20 minutos. Por lo demás, estan muy poco conocidas las variaciones anuales, y no son, al parecer, constantes.

Variaciones diurnas. — Además de las variaciones seculares y anuales, esperimenta la declinacion otras diurnas, que son muy débiles y que no pueden observarse sino con agujas largas y por medio de instrumentos muy sensibles. En nuestros climas, marcha todos los dias la estremidad norte de la aguja del este al oeste desde la salida del sol hasta la una de la tarde; pero regresa en seguida hácia el este por un movimiento retrógrado, recobrando con corta diferencia hácia las diez de la noche la posicion que ocupaba por la mañana. De noche ofrece muy pocas variaciones la aguja, si bien toma de nuevo un ligerísimo movimiento hácia el oeste.

En Paris, la amplitud media de la variacion diurna es en abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre, de 13 á 15 minutos, y en los meses restantes de 8 á 10. Dias hay en que sube á 25 minutos, y otros en que no pasa de 5 minutos. No en todas partes tiene lugar á la misma hora el máximum de desviacion. La amplitud de las variaciones diurnas decrece de los polos hácia el ecuador, donde es muy débil; y cerca de este hay una línea sin variacion diurna.

Variaciones accidentales ó perturbaciones. — Modifícase accidentalmente la declinacion de la aguja imantada en sus variaciones diurnas por muchas causas, tales como las auroras boreales, las erupciones volcánicas y la caida del rayo. El efecto de las auroras boreales se deja sentir á grandes distancias, como que auroras visibles tan solo en el norte de Europa, actúan sobre la aguja en Paris, en donde se observan variaciones accidentales de 20 minutos. En las regiones polares oscila muchos grados á veces la aguja. Su marcha irregular, durante todo el dia que precede á la aurora boreal, sirve de presagio del fenómeno.

557. **Brújula de declinacion.** — La *brújula de declinacion* es un instrumento que sirve para medir la declinacion magnética en un lugar, una vez conocido su meridiano astronómico. Se compone de una caja AB (fig. 383) de cobre, con un círculo graduado M en el fondo. Hay en el centro un eje sobre el cual se apoya una aguja imantada *ab* en forma de rombo prolongado y muy ligera. Se aplican á la caja dos pies derechos que sostienen un eje horizontal X, sobre el cual se fija un anteojo astronómico L, móvil en un plano vertical. Un pie P sostiene la caja AB, que puede girar libremente en el sentido horizontal, arrastrando al anteojo en su movimiento. Un círculo fijo QR, llamado *círculo azimutal*, sirve para medir el número de grados que ha corrido el anteojo, por medio de un vernier V fijo en la caja. Por fin, la inclinacion del anteojo con relacion al horizonte se mide por medio de un vernier K, que recibe su movimiento del eje del anteojo y gira sobre un arco de círculo fijo *x*.

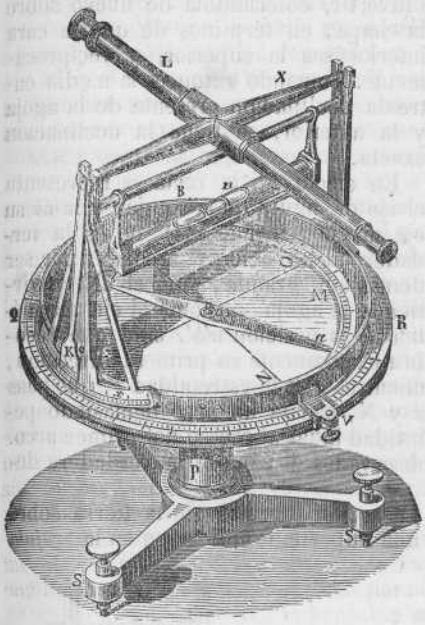


Fig. 383.

Conocido el meridiano astronómico de un lugar, se principia, para determinar la declinacion de este, por disponer la brújula bien horizontalmente, por medio de los tornillos SS y del nivel *n*, y luego se hace girar la caja AB hasta que el anteojo se encuentre en el plano del meridiano astronómico. Leyendo entonces, sobre el limbo graduado M, el ángulo que forma la aguja imantada con el diámetro N, que corresponde al cero de la graduacion y se encuentra exactamente en el plano del anteojo, se tiene la declinacion, que es occidental ó austral, segun se detenga el polo *a* de la aguja en el occidente ó el oriente del diámetro N.

Caso de que no se conozca el meridiano astronómico del lugar, puede determinarse por medio de la misma brújula. Sirve, al efecto, un círculo azimutal QR y el arco de círculo *x*, y observando un astro conocido, antes y despues de su paso por el meridiano, se emplea el *método de las alturas iguales*, que se describe en los tratados de cosmografía para determinar la meridiana.

558. **Método de inversion.** — Las aplicaciones que acabamos de

indicar de la brújula de declinacion, no son exactas, sino mientras el eje magnético de la misma, es decir, la recta que pasa por sus dos polos, coincide con el eje de figura, esto es, con la recta que une sus dos estremidades. Por lo general, no queda satisfecha esta condicion; pero se corrige tal causa de error por el método de inversion. La aguja no se halla fija en la chapa, sino simplemente superpuesta, á fin de que se la pueda quitar é invertir, colocándola de nuevo sobre la chapa, en términos de que la cara inferior sea la superior, y recíprocamente. Tomando entonces la media entre la declinacion presente de la aguja y la anterior, se tiene la declinacion exacta.

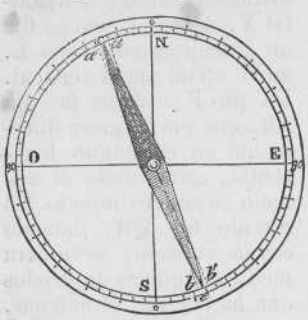


Fig. 384.

En efecto, si la recta *ce* representa el eje de figura de la aguja, y la *ab* su eje magnético (fig. 384), no es la verdadera declinacion el arco *c*N, por ser demasiado grande, sino el *a*N. Invirtiendo la aguja, no toma el eje magnético *ab* la posicion *a'b'*, sino que recobra exactamente su primera direccion, mientras que la estremidad *c*, que pasa entonces por entre los puntos *a* y N, señala un arco demasiado pequeño, precisamente en una cantidad igual al esceso del primer arco. La media entre los dos arcos observados da, pues, la verdadera declinacion.

* 559. **Brújula marina.**—La accion directriz de la tierra sobre la aguja imantada ha recibido una importante aplicacion en la *brújula*

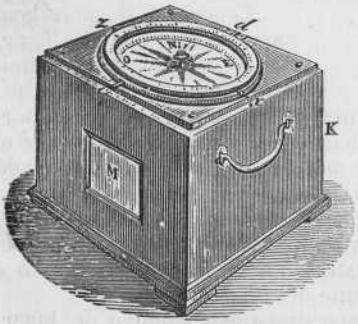


Fig. 385 (a = 32).

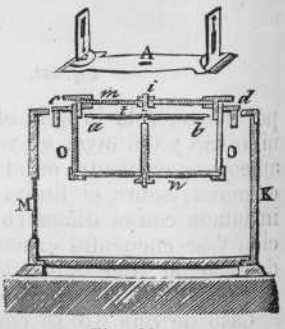


Fig. 386.

marina, conocida tambien con los nombres de *compas de variacion* ó *compas de mar*. Este es una brújula de declinacion que dirige la derrota de los buques. La fig. 385 la representa encerrada en una caja rectangular, que se coloca á su vez en una caja mayor, que se llama *bitácora*, fija sobre cubierta, á popa del buque. La fig. 386 da su seccion

trasversal. En estas dos figuras, las letras iguales indican los mismos objetos.

La aguja *ab* (fig. 386), muy móvil sobre un eje, se halla fija en la cara inferior de una lámina de talco *t*, sobre la cual se traza una estrella ó *rosa* de 32 radios, que marcan los ocho rumbos de viento, los semi-rumbos y los cuartos. A fin de que pueda conservar siempre la aguja su posicion horizontal, á pesar del balance y de las cabezadas y arfadas del buque, se halla en *suspension á la Cardan*, es decir, está sostenida por dos anillos concéntricos móviles, alrededor el uno del eje *zx*, y el otro del *cd* perpendicular al primero (fig. 385).

Una abertura M, cerrada por un cristal deslustrado, sirve para alumbrar de noche la brújula, pues una luz que hay fuera de la caja, enfrente del cristal, proyecta al interior sus rayos. El fondo *n* de la caja cilíndrica O, que lleva la aguja, tiene un cristal trasparente que da paso á la luz que ha de alumbrar á la hoja de talco *t*, que sostiene la rosa. Un segundo cristal *m* cubre la brújula, y un eje *i*, fijo en su centro, sirve para colocar una alidada A, que solo se emplea cuando se quiere marcar la costa.

Para dirigir un buque con la brújula, se reconoce primero sobre una carta marina el rumbo para llegar á su destino. Entonces, fija la vista sobre la brújula, hace girar el timonel la caña del timon, hasta que el rumbo en cuestion, marcado sobre la rosa, coincida con una *línea de fe* que pasa por dos puntos *c* y *d*, marcados en los bordes de la caja (fig. 385), y dirigida en el sentido de la quilla. Con todo, las variaciones de la declinacion en los diferentes puntos del globo, obligan á los navegantes á corregir de contínuo las observaciones que hacen con la aguja.

No se conoce el inventor de la brújula, ni la época precisa de su invencion. Guyot de Provins, poeta francés del siglo XII, es el primero que habla del uso del iman para la navegacion. Los navegantes antiguos que desconocian la brújula, no tenian mas guia que el sol ó la estrella polar, y por eso navegaban siempre á la vista de las costas, para no equivocar la derrota cuando el cielo estuviese cubierto.

560. **Inclinacion; ecuador magnético.**—En vista de la direccion hácia el norte que afecta la brújula de declinacion, pudiera creerse que la fuerza que la solicita viene de un punto del horizonte; pero no es así, porque si se dispone la aguja de modo que pueda moverse libremente en un plano vertical, alrededor de un eje horizontal, se observa que, aun cuando el centro de gravedad de la aguja coincida exactamente con el eje de suspension, su polo austral, en nuestros climas, se inclina constantemente hácia el polo boreal de la tierra. En el otro hemisferio es el polo boreal de la aguja el que se inclina hácia el austral del globo.

Cuando el plano vertical en que se mueve la aguja coincide con el meridiano magnético, se llama *inclinacion* el ángulo que ella forma con el horizonte. En un plano distinto del meridiano magnético aumenta la inclinacion, que llega á valer 90 grados en uno perpendicular á aquel. Efectivamente, descomponiéndose entonces la accion magné-

tica de la tierra en dos fuerzas, vertical la una, horizontal la otra, hace tomar la primera á la aguja su posicion vertical, mientras que la segunda, obrando en la direccion del eje de suspension, no puede hacerla girar.

La inclinacion, lo mismo que la declinacion, varía con los lugares, pero siguiendo una ley mejor determinada. Obsérvanse, en efecto, cerca del polo boreal de la tierra, varios puntos en los cuales vale 90 grados la inclinacion; y luego, á partir de allí, decrece con la latitud hasta el ecuador, en donde es nula, ya en este mismo círculo, ya en puntos poco distantes del mismo. Reaparece en el hemisferio austral la inclinacion, pero en sentido contrario, esto es, el polo boreal de la aguja desciende debajo del horizonte.

Llámase *ecuador magnético* la curva que pasa por todos los puntos en donde es nula la inclinacion, y *polos magnéticos* los puntos en que vale esta 90 grados. Segun las observaciones de M. Duperrey, el ecuador magnético corta, al parecer, al terrestre en dos puntos, casi diametralmente opuestos, el uno en el grande Océano, y el otro en el Atlántico. Parece que se hallen animados estos puntos de un movimiento de traslacion de oriente á occidente. En cuanto á los polos magnéticos, hay, por lo visto, dos, situados el uno en el norte de la América septentrional, y el otro en el sur de la Nueva Holanda, el primero á los 70° 10′ de latitud y 100° 40′ de longitud, y el segundo á los 75 grados de latitud y 136 grados de longitud.

Tambien varía la inclinacion en un mismo lugar, segun las épocas. En 1671 valía en Paris 75 grados; despues ha ido siempre decreciendo, y el 4 de diciembre de 1853 era de 66° 28′. Segun las observaciones hechas en el Observatorio de Paris, sube sensiblemente á 3′ la diminucion anual de la inclinacion.

Al hablar de la electricidad indicarémos la causa probable del magnetismo terrestre (595).

561. **Brújula de inclinacion.** — Llámase *brújula de inclinacion* un instrumento que sirve para medir la inclinacion magnética. Esta brújula, toda montada en cobre, se compone primero de un círculo horizontal *m*, graduado y sostenido por tres tornillos que suben y bajan (fig. 387). Encima de este círculo hay una plancha A, móvil alrededor de un eje vertical, y que sostiene, por medio de dos columnas, un segundo círculo graduado M, que mide la inclinacion; un bastidor *r* sostiene la aguja *ab*, y un nivel *n* con tres tornillos da la horizontalidad del diámetro que pasa por los dos ceros del círculo M.

Para observar la inclinacion, se principia por determinar el meridiano magnético, lo cual se consigue dando vuelta á la plancha A sobre el círculo *m* hasta que quede vertical la aguja, que es la posicion que toma luego que se halla en un plano perpendicular al meridiano magnético (560). Haciendo girar en seguida la plancha A 90 grados sobre el círculo *m*, se conduce el círculo vertical M al meridiano magnético. El ángulo *dca*, que forma entonces la aguja imantada con el diámetro horizontal, es el ángulo de inclinacion.

Sin embargo, deben tomarse en consideracion dos causas de error,

á saber: 1.ª el eje magnético de la aguja puede no coincidir con su eje de figura, lo cual se corrige por la inversion como en la brújula de declinacion (558); y 2.ª el centro de gravedad de la aguja puede no coincidir con el eje de suspension, y entonces el ángulo *dca* es demasiado pequeño ó demasiado grande, segun el centro de gravedad esté encima ó debajo del de suspension; porque, en el primer caso, la accion de la gravedad es contraria á la del magnetismo terrestre para hacer inclinar la aguja, mientras que en el segundo tiene el mismo sentido. Corrígese este error invirtiendo los polos de la aguja, lo cual se consigue haciendo fricciones con los polos contrarios de dos barras, de modo que cada polo del iman esté frotado por otro de su mismo nombre. Mudando entonces de sentido la direccion de la aguja, si su centro de gravedad estaba encima del punto de suspension, está actualmente debajo, y el ángulo de inclinacion, que era demasiado pequeño, se vuelve demasiado grande. Se tendrá, pues, su verdadero valor tomando la media entre los resultados obtenidos en las operaciones que acabamos de indicar.

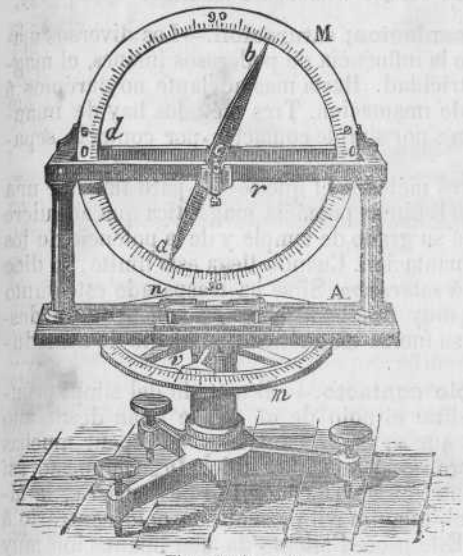


Fig. 387 (a = 41).

562. **Aguja y sistema astáticos.** — Llámase *aguja astática* la que se halla libre de la accion magnética de la tierra. Tal seria una aguja móvil alrededor de un eje situado en el plano del meridiano magnético, paralelamente á la inclinacion; porque el par magnético terrestre obra entonces en el sentido del eje, y no puede, por lo mismo, comunicar á la aguja ninguna direccion determinada.

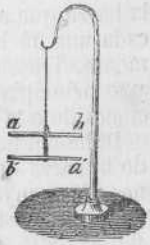


Fig. 388.

Un *sistema astático* es la reunion de dos agujas de igual fuerza, reunidas paralelamente y estando enfrente el uno del otro los polos contrarios (fig. 388). Si tienen rigurosamente la misma fuerza ambas agujas, se destruyen las acciones contrarias del globo sobre los polos a' y b, como tambien sobre los a y b', y el sistema es completamente astático. Pronto se verá, en el galvanómetro, una importaute aplicacion del sistema magnético astático.

CAPITULO III.

IMANTACION Y LEY DE LAS ACCIONES MAGNETICAS.

563. **Manantiales de imantacion; saturacion.**—Los diversos manantiales de imantacion son la influencia de poderosos imanes, el magnetismo terrestre y la electricidad. Hasta mas adelante no darémos á conocer esta última causa de imantacion. Tres métodos hay de imantar con los imanes, que son: por simple contacto, por contacto separado y por doble contacto.

Sea cual fuere de estos tres métodos el que se use para imantar una barra de acero, reconoce un límite la potencia magnética que adquiere esta, límite que depende de su grado de temple y de la potencia de los imanes que sirven para la imantacion. Cuando llega este límite, se dice que la barra está imantada á *saturacion*. Si se ha traspasado este punto de saturacion, vuelve á él muy pronto la barra, y aun tiende á descender, si no se mantiene su fuerza magnética por medio de armaduras (568).

564. **Método del simple contacto.**—El método del simple contacto consiste en hacer deslizar el polo de un fuerte iman desde uno á otro estremo de la barra que se va á imantar, y en repetir muchas veces las fricciones, siempre en el mismo sentido. Descompuesto así sucesivamente el fluido neutro en toda la longitud de la barra, la última estremidad que toca el iman móvil presenta un polo contrario á aquel con el cual se frota. Este procedimiento da una imantacion muy débil, de suerte que solo es aplicable á pequeñas barritas, y además adolece con frecuencia del defecto de producir puntos consecuentes (545).

565. **Método por contacto separado.**—El método del contacto separado que adoptó Knight en Inglaterra, en 1745, consiste en colocar los dos polos contrarios de dos barras de igual fuerza en medio de la barra que se ha de imantar, y en hacerlas correr simultáneamente cada una hácia uno de los estremos de la barra, teniéndolas verticalmente. Trasládase luego cada iman hácia la parte media de la barra, y se principia otra vez del mismo modo. Despues de repetidas fricciones de esta especie sobre las dos caras, queda imantada la barra.

Duhamel ha perfeccionado este método colocando los dos estremos de la barra que se va á imantar sobre los polos contrarios de dos imanes fijos, cuya accion concurre con la de los móviles que operan las fricciones, estando la posicion relativa de los polos segun indica la figura 389.

Este procedimiento es el que da la imantacion mas regular.

566. **Método del doble contacto.**—En el método por doble contacto, debido á Mitchell, se colocan tambien los dos imanes frotantes en medio de la barra que se ha de imantar, con sus polos contrarios enfrente; pero, en vez de deslizar en sentido contrario hácia sus

estremidades, se hallan mantenidos á una distancia fija por medio de una piececita de madera colocada entre ellos (fig. 389), corriendo juntos desde la parte media á una estremidad, desde esta á la otra, y así sucesivamente, de modo que reciba cada mitad de la barra igual número de fricciones.

En 1758 perfeccionó Œpinus este método, disponiendo, como en el del contacto separado, dos barras imantadas enérgicas debajo de

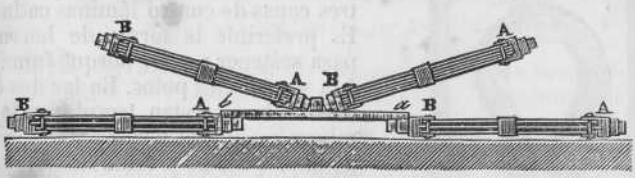


Fig. 389.

la que se va á imantar, y dando á las móviles una inclinacion de 15 á 20 grados (fig. 389). Así se imantan grandes barras, pero á menudo se obtienen puntos consecuentes.

Obsérvese que en los diversos procedimientos de imantacion por los imanes, nada de su fuerza pierden estos, lo cual demuestra que los fluidos magnéticos no pasan de una á otra barra.

567. **Imantacion por la accion de la tierra.** —La accion de la tierra sobre las sustancias magnéticas es comparable á la de los imanes, y por lo mismo, tiende constantemente el magnetismo terrestre á separar los dos fluidos que se hallan en el estado neutro en el hierro dulce y en el acero. Pero en este último cuerpo es muy grande la fuerza coercitiva, y no basta la accion de la tierra para producir la imantacion. No sucede otro tanto con una barra de hierro dulce, sobre todo si se la coloca en el meridiano magnético paralelamente á la inclinacion, pues se separan entonces los dos fluidos, dirigiéndose el austral hácia el norte y el boreal al sur. Con todo, la imantacion es instable, porque invirtiendo la barra se invierten al instante los polos, demostrándose así que es inapreciable la fuerza coercitiva del hierro dulce.

Sin embargo, se consigue darle una fuerza coercitiva muy sensible, si, mientras se halla bajo la influencia de la tierra y en la direccion antes indicada, se la somete á una fuerte torsion, ó si se la martillea en frio sobre un yunque. La fuerza coercitiva que así nace es débil y se pierde muy pronto por completo, lo cual no sucede en el acero.

Por la prolongada influencia del magnetismo terrestre se esplica la formacion de los imanes naturales, así como la imantacion que con frecuencia se observa en los objetos antiguos de acero ó de hierro; porque los hierros ordinarios del comercio, que no son puros, poseen una débil fuerza coercitiva, y casi siempre ofrecen vestigios de imantacion, conforme se nota en los clavos, badilas, pinzas, etc. La fundicion tiene, en general, una gran fuerza coercitiva, y se imanta muy bien.

568. **Haces magnéticos; armaduras de los imanes.**—Un *haz* magnético es un conjunto de barras imantadas reunidas paralelamente por sus polos del mismo nombre. Se les da unas veces la forma de herradura (fig. 390), y otras son rectilíneos (fig. 391. El haz que presenta la figura 390 se compone de cinco láminas de acero yustapuestas, y el de la 391 de doce dispuestas en tres capas de cuatro láminas cada una. Es preferible la forma de herradura para sostener pesos, porque funcionan á la vez los dos polos. En las dos especies de haces estan templadas las láminas imantadas por separado, y luego superpuestas y reunidas por tornillos ó por casquillos.

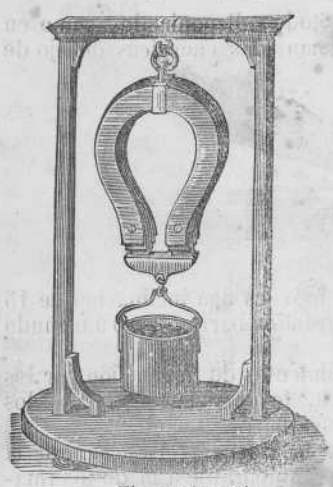


Fig. 390 (a=61).

La fuerza de un haz no es igual á la suma de las fuerzas de los haces de cada barra, á causa de las acciones repulsivas de los polos próximos; y se aumenta su fuerza haciendo uno ó dos centímetros mas cortas las láminas laterales que la del centro (fig. 390 y 391).

Llámanse *armaduras*, en los imanes, unas piezas de hierro dulce que se ponen en contacto con los polos, para conservar ó tambien para aumentar su poder magnético, como resultado de una accion por influencia.

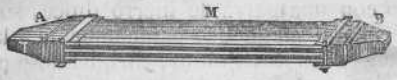


Fig. 391 (l=40).

La figura 392 representa, con sus armaduras, una piedra iman natural; observándose en las caras que corresponden á los polos dos planchas de hierro dulce, cada una de las cuales termina en un talon macizo. Por la influencia del iman natural se imantàn estas láminas, y si A y B son los polos de aquel, *a* y *b* serán los de las armaduras. Una vez imantadas estas, reaccionan sobre el fluido neutro del iman natural, lo descomponen y aumentan así su poder magnético. Sin armadura, son muy débiles los imanes naturales, pero armados pueden ir sosteniendo progresivamente pesos cada vez mayores, si bien se llega al fin á un límite del cual no se puede pasar.

El *porta-pesos a'b'*, de hierro dulce, hace á su vez el oficio de una segunda armadura, porque imantándose por influencia, reaccionan sus polos *a'* y *b'* sobre los *a* y *b* de la primera.

Fig. 392.

Para armar los imanes artificiales se los dispone por pares (fig. 393), colocando enfrente los polos contrarios, luego se cierra el circuito con dos barritas de hierro dulce A, B, é imantándose estas por influencia, reaccionan sus polos sobre las barras imantadas para con-

Fig. 393 (l = 45).

servarles su fuerza magnética. En cuanto á las agujas movibles, como se dirigen hácia los polos magnéticos del globo, hace veces de armadura la influencia de este.

569. **Ley de las atracciones y repulsiones magnéticas.** — Coulomb fué el primero en comprobar la ley de que *las atracciones y las repulsiones magnéticas se ejercen en razon inversa del cuadrado de la distancia*, demostrándola por dos métodos, cuales son la balanza de torsion y el de las oscilaciones.

1.° *Método de la balanza de torsion.* — La balanza de torsion consiste en una caja de vidrio (fig. 394) cubierta con un cristal que se quita á voluntad, y que lleva cerca de los bordes una abertura por la cual entra un iman *ab*. En el centro de la misma tapa hay otra abertura, á la cual va adaptado un tubo de vidrio, que puede girar á frotamiento suave por los bordes del orificio. Lleva este tubo en su parte superior un *micrómetro*. Así se llama un sistema de dos piezas, una de las cuales D, que es fija, está dividida en su contorno en 360 grados, y la otra E, móvil, lleva un índice fijo que indica cuántos grados ha girado sobre el cuadrante D. A la izquierda del dibujo, en *e* y en *d*, estan representadas, en mayor escala, las dos piezas del micrómetro. En el disco *e* se ven dos piés atravesados por un eje horizontal, en el cual se arrolla un alambre de plata muy fino que sostiene una aguja imantada AB. Por fin, en el fondo de la caja hay un cuadrante dividido que sirve para medir los movimientos de la aguja AB, y de consiguiente, la torsion del alambre de plata.

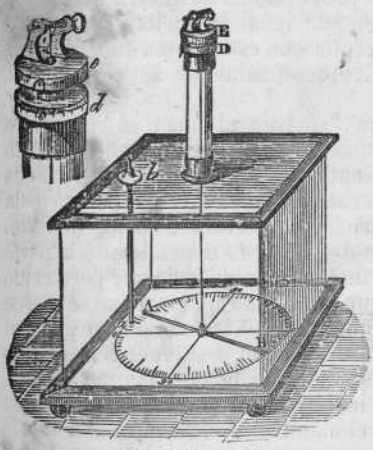


Fig. 394 (a = 56).

Estando el índice *a* del disco *e* en el cero del cuadrante, se principia colocando la caja de manera que el centro y el cero del cuadrante inferior se hallen en el meridiano magnético; retirando entonces la

aguja AB de su chapa, se la reemplaza por otra semejante de cobre ó de cualquiera otro metal magnético; y luego se hace girar el tubo de vidrio y con él las piezas E y D, de manera que dicha aguja vaya á pararse en el cero del cuadrante inferior. Como no se halla aun en su sitio la aguja imantada, se quita la no magnética que está en la chapa, y se repone la imantada AB, la cual se encuentra entonces exactamente en el meridiano magnético, siendo nula la torsion del alambre de plata.

Dispuesto así el aparato, es necesario, antes de introducir el iman *ab*, que se conozca la accion de la tierra sobre la aguja móvil AB, cuando se halla desviada del meridiano magnético cierto número de grados. Se hace girar, al efecto, la pieza E hasta que la aguja AB se mueva un grado en el mismo sentido. El número de grados, menos uno, que ha corrido el micrómetro, representa evidentemente la torsion total del alambre. En los esperimentos de Coulomb era 35, pero varía este número con la longitud del alambre, con su diámetro y con la intensidad de la barra AB. Permaneciendo actualmente en equilibrio la aguja, claro está que la fuerza de torsion del alambre es precisamente igual y contraria á la accion directriz de la tierra. Esta accion, en los esperimentos de Coulomb, estaba representada por 35, para una desviacion de 1 grado; pero siendo proporcional la fuerza de torsion al ángulo de torsion (70, 2.°), y siéndole igual la accion directriz de la tierra, cuando hay equilibrio, resulta que esta última fuerza, para desviaciones de 2, 3 grados... está representada por 2 veces, 3 veces... 35 grados.

Determinada la accion de la tierra, se baja el iman *ab*, cuidando de colocar enfrente los polos del mismo nombre. Es repelido el polo A de la aguja móvil, y si se representa por d el número de grados que mide el ángulo de desviacion, cuando se halla en equilibrio la aguja AB, tiende esta á dirigirse hácia el meridiano magnético con una fuerza representada por la suma $d+35\times d$, dependiendo la parte d de la torsion del alambre, y la $35\,d$ de la accion de la tierra; pero como no llega al meridiano, es preciso que la fuerza repulsiva que se ejerce entre los polos a y A sea á su vez igual á $d+35\times d$. Se hace girar el disco E de manera que el ángulo de desviacion d se vuelva dos veces menor. Segun la posicion de la aguja AB, en la figura anterior, habria que dar vuelta de derecha á izquierda. Representando por n la separacion del disco E, se ve que el alambre de suspension se halla torcido, en su estremidad superior, n grados á izquierda, y en la inferior $\frac{d}{2}$ grados á derecha; su torsion es, pues, $n+\frac{d}{2}$. Por consiguiente, la fuerza real que tiende á llevar la aguja hácia el meridiano magnético, es $\left(n+\frac{d}{2}\right)+35\times\frac{d}{2}$, representando la parte $n+\frac{d}{2}$ la fuerza de torsion, y la $35\times\frac{d}{2}$ la accion de la tierra. No volviendo la

aguja hácia el meridiano, es menester que la fuerza repulsiva que se ejerce entre los dos polos a y A esté á su vez representada por

$$\left(n+\frac{d}{2}\right)+35\times\frac{d}{2}.$$

Efectuando los cálculos, es decir, reemplazando n y d por los números que da el esperimento, se encuentra que la cantidad

$$\left(n+\frac{d}{2}\right)+35\times\frac{d}{2}$$

es precisamente el cuádruplo de la $d+35\times d$, que se obtuvo en el primer esperimento; de modo que queda demostrada la ley de Coulomb, porque se esperimenta con arcos d y $\frac{d}{2}$ bastante pequeños para que se confundan sensiblemente con sus cuerdas, es decir, que cuando el arco se hace dos veces menor, le sucede sensiblemente otro tanto á la distancia aA de los polos.

2.° *Método de las oscilaciones.* — Consiste este método en hacer oscilar una aguja imantada durante tiempos iguales, primero tan solo bajo la influencia de la tierra, y luego bajo la de esta combinada con la del polo atractivo de un iman colocado sucesivamente á dos distancias desiguales. De los tres números de oscilaciones observadas, se deduce en seguida por cálculo la ley de Coulomb.

570. **Medida del magnetismo terrestre.** — Muchos físicos y navegantes han tratado de medir la intensidad magnética del globo en diversos lugares y en épocas distintas. Se han adoptado varios métodos que se reducen todos á hacer oscilar una aguja de inclinacion ó de declinacion durante un tiempo dado, y en deducir de los números de oscilaciones las intensidades relativas. Las observaciones han conducido á las leyes siguientes:

1.ª La intensidad del magnetismo terrestre crece á medida que nos alejamos del ecuador magnético, y parece vez y media mayor en los polos que en esta línea. La línea sin inclinacion es, pues, al propio tiempo la de menor intensidad.

2.ª La intensidad magnética del globo decrece á medida que ascendemos en la atmósfera, probablemente en razon inversa del cuadrado de las distancias.

3.ª La intensidad magnética de la tierra varía con las horas del dia, siendo su mínimum entre 10 y 11 de la mañana, y su máximum entre 4 y 5 de la tarde.

4.ª La intensidad magnética presenta variaciones irregulares, y, como la inclinacion y la declinacion, sufre perturbaciones accidentales por la influencia de las auroras boreales.

Llámanse *líneas isodinámicas* unas líneas que, en la superficie del globo, presentan en todos sus puntos la misma intensidad magnética;

líneas isógonas las que ofrecen donde quiera la misma declinacion; y *líneas isoclinas* las de igual inclinacion. M. Duperrey construyó nueve curvas isodinámicas al norte, y otras tantas al sur del ecuador magnético, y encontró que estas líneas, por su curvatura y su direccion, tienen gran analogía con las *isotermas*, ó sea de igual temperatura.

LIBRO NOVENO.

ELECTRICIDAD ESTATICA.

CAPITULO PRIMERO.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.

571. **Electricidad, hipótesis sobre su naturaleza.** — La *electricidad* [1] es un agente físico poderoso, cuya presencia se manifiesta por medio de atracciones y repulsiones, por apariencias luminosas, por violentas conmociones, por descomposiciones químicas y por otros muchos fenómenos. Las causas que desarrollan la electricidad son el frotamiento, la presion, las acciones químicas, el calor, el magnetismo y la electricidad misma.

Ya 600 años antes de la era cristiana habia observado el filósofo Thalés la propiedad que posee el ámbar amarillo frotado de atraer los cuerpos ligeros. Dice Plinio al hablar de esta sustancia: «Cuando el frotamiento le ha dado calor y vida, atrae las pajitas, así como el iman atrae al hierro.» Pero á esto se limitaron los conocimientos de los antiguos sobre la electricidad. Hasta que á fines del siglo XVI volvió á llamar Gilbert, médico de la reina Isabel, en Lóndres, la atencion de los físicos sobre las propiedades del ámbar amarillo, demostrando que otras muchas sustancias pueden adquirir tambien la propiedad atractiva por el frotamiento. Dado ya el impulso, se sucedieron los descubrimientos tan numerosos como rápidos. Los físicos que, despues de Gilbert, han contribuido mas particularmente á los progresos de la electricidad, son Otto de Guericke, Dufay, Æpinus, Franklin, Coulomb, Volta, Davy, Œrsted, Ampere, Schweigger, Seebek, y los señores de La Rive, Faraday y Becquerel. A este último debemos casi toda la electro-química.

Apesar de los numerosos trabajos de que ha sido objeto la electricidad, no se conoce el orígen ni la naturaleza de este agente; y así es que, lo mismo que para el calórico, la luz y el magnetismo, se ven reducidos los físicos á las hipótesis. Creia Newton que la produccion de la electricidad era el resultado de un principio etéreo, puesto en movimiento por las vibraciones de las partículas de los cuerpos. El

---

[1] La palabra electricidad proviene del griego ἤλεκτρον, que significa succino, ó ambar amarillo, porque en esta sustancia es donde por primera vez se observó la propiedad de desarrollar electricidad por el frotamiento. El ambar amarillo, que solo se encuentra en el estado fosil, tiene mucha semejanza con la resina *copal*. Se le encuentra, sobre todo, en las costas del Báltico, donde es arrojado por las olas; y tambien se le encuentra sobre las costas de Sicilia.

abate Nollet, fundándose en los efectos luminosos y caloríficos de la electricidad, la consideraba como una modificacion particular del calórico y de la luz. Pronto (577) darémos á conocer la teoría de Symmer, en la cual se admiten dos fluidos eléctricos, y la de Franklin, que solo considera uno.

572. **Electricidad estática y electricidad dinámica.** — Aparte todas las hipótesis, se divide el estudio de la electricidad en dos grandes secciones, que comprenden respectivamente los fenómenos de la *electricidad estática* ó en reposo, y los de la *dinámica* ó en movimiento. En el estado estático, es sobre todo el frotamiento la causa de la electricidad; se acumula entonces en la superficie de los cuerpos, y se mantiene en ella en equilibrio en un estado de *tension* que se manifiesta por medio de atracciones y de chispas. En el estado dinámico resulta principalmente la electricidad de acciones químicas, y atraviesa los cuerpos bajo la forma de *corriente* con una velocidad comparable á la de la luz. La electricidad dinámica se distingue entonces de la estática, particularmente por fenómenos químicos y por sus relaciones con el magnetismo.

Tratarémos primero de la electricidad estática, considerando mas especialmente la desarrollada por frotamiento, y dirémos que un cuerpo está *electrizado*, cuando posee la propiedad de atraer los cuerpos ligeros, ó de producir efectos luminosos.

573. **Desarrollo de la electricidad por frotamiento.** — Muchas sustancias, frotadas con un pedazo de paño ó con una piel de gato, adquieren inmediatamente la propiedad de atraer los cuerpos ligeros, como las barbas de pluma, las pajitas, etc. Nótase, sobre todo, esta propiedad en el ámbar amarillo, el lacre, la resina, la guta-percha, el azufre, el vidrio, la seda y otros muchos cuerpos.

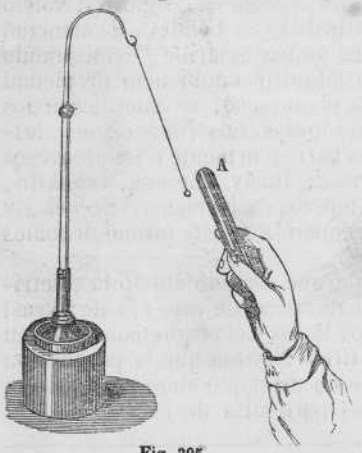


Fig. 395.

Reconócese que está electrizado un cuerpo por medio de pequeños aparatos llamados *electróscopos*, el mas sencillo de los cuales es el *péndulo eléctrico* (fig. 395), que consiste en una esferita de médula de saúco, suspendida, por una hebra de seda, de un pié de vidrio. Al aproximarle un cuerpo electrizado, es atraida primero la esferita, y repelida inmediatamente despues del contacto.

Tambien puede electrizarse un cuerpo sólido por el rozamiento con un líquido ó un gas, pues en el vacío barométrico el movimiento del mercurio electriza al vidrio, y en un tubo sin aire, pero con algo de azogue, se vuelve luminoso en la oscuridad cuando se le agita. Wil-

son habia observado que una corriente de aire dirigida sobre una turmalina, vidrio ó resina, electrizaba positivamente estas sustancias; pero M. Faraday reconoció despues que no se produce el efecto eléctrico sino en el caso de que esté húmedo el aire, ó de que tenga en suspension polvos secos.

A primera vista no desarrolla electricidad el frotamiento sobre muchas sustancias, y particularmente sobre los metales; porque, si teniendo en la mano una barra metálica, se la frota con un pedazo de tela, no se nota el mas mínimo vestigio de atraccion cuando se la presenta al péndulo eléctrico. No por eso debe deducirse que el frotamiento no electrice á los metales, pues es una propiedad general de los cuerpos, pero que solo se manifiesta (575) cuando se hallan en las debidas condiciones.

Ignórase la causa del desarrollo de la electricidad por frotamiento; atribuyóla Wollaston á una oxidacion; pero ya antes habia hecho ver Gray que se desarrolla en el vacío, y Gay-Lussac la obtuvo tambien en el ácido carbónico seco.

574. **Cuerpos conductores y cuerpos no conductores.** —Cuando se presenta al péndulo eléctrico una barra de lacre frotada por un estremo, se nota que solo atrae por la estremidad frotada, pues la otra no da muestra alguna de atraccion ni de repulsion. Lo propio sucede con un tubo de vidrio ó una barra de azufre, mientras no hayan sido frotadas en toda su longitud. Dedúcese de aquí que en estos cuerpos no se propaga la propiedad eléctrica de un punto á otro, lo cual se espresa diciendo que no *conducen* la electricidad. Al contrario, la esperiencia demuestra, que, apenas un cuerpo metálico ha adquirido sobre uno de sus puntos la propiedad eléctrica, se propaga instantáneamente por toda la superficie del cuerpo, sea cual fuere su estension, es decir, que los metales *conducen* bien la electricidad.

De aquí la distincion de cuerpos *buenos conductores* y *malos conductores*. Los mejores entre los primeros son los metales, la antrácita, la plombagina, el coke, el carbon de leña bien calcinado, las piritas y la galena, siguiendo luego las disoluciones salinas, cuyo poder conductor es muchos miles de veces menor que el de los metales, el agua en los estados de vapor y líquido, el cuerpo humano, los vegetales y todos los cuerpos húmedos. Los cuerpos malos conductores son: el azufre, la resina, la goma laca, la guta-percha, la seda, el vidrio, las piedras preciosas, el carbon no calcinado, los aceites y los gases secos; pero el aire y los gases son tanto menos aisladores (575), cuanto mas húmedos estan. Por lo demás, el grado de conductibilidad de los cuerpos no depende tan solo de la sustancia que los forma, sino tambien de su temperatura y estado físico. Por ejemplo, el vidrio, que es muy mal conductor á la temperatura ordinaria, es buen conductor al rojo; de igual manera la goma laca y el azufre pierden en parte la propiedad de aislar cuando se los calienta; y el agua, que conduce muy bien en el estado líquido, es mala conductora en el de hielo. El vidrio pulverizado y la flor de azufre conducen bastante bien.

575. **Cuerpos aisladores; depósito comun.** —Los cuerpos ma-

los conductores han recibido el nombre de *cuerpos aisladores*, porque se emplean para pies ó puntos de apoyo cuando se desea que se conserve la electricidad en un cuerpo conductor. Es indispensable esta condicion, porque, como se compone la tierra de sustancias que conducen la electricidad, apenas comunica con ella un cuerpo conductor electrizado, por el intermedio de otro que sea tambien conductor, se escapa inmediatamente la electricidad al suelo, el cual se llama por esto *depósito comun*. Se aisla un cuerpo sosteniéndolo sobre pies de vidrio, suspendiéndolo de cordones de seda, ó colocándolo sobre panes de resina. Con todo, jamás aislan por completo los malos conductores, de donde resulta que todo cuerpo electrizado pierde

Fig. 396 (1=50).

siempre con mas ó menos lentitud su electricidad al traves de los sostenes, y además sufre una pérdida por efecto del vapor acuoso del aire, y esta última es de ordinario la causa mas eficaz.

Con motivo de la gran conductibilidad, no pueden electrizarse por frotacion los metales, como no se los aisle y se los frote con un cuerpo mal conductor, como la seda ó el tafetan engomado. Pero, si se satisfacen estas condiciones, se electrizan perfectamente por frotamiento los metales. Para demostrarlo, se pone á una barra de laton un mango de vidrio (fig. 396), se la frota con una tela de seda ó de tafetan engomado, y aproximándola en seguida al péndulo eléctrico se nota atraccion que demuestra que está electrizado el metal. Teniendo á este en la mano, se desarrolla tambien electricidad; pero se pierde inmediatamente en el suelo.

Antiguamente se daba á los cuerpos aisladores el nombre de cuerpos *idio-eléctricos* (propios para la electricidad), porque se creia que eran los únicos á propósito para ser electrizados por frotamiento; y á los buenos conductores el nombre de cuerpos *aneléctricos* (privados de electricidad). Ahora, que se sabe que todos los cuerpos se electrizan por frotamiento, se han abandonado estas denominaciones.

576. **Distincion de dos especies de electricidad.** — Se ha visto (573) que, cuando se presenta al péndulo eléctrico un tubo de vidrio frotado con un pedazo de paño, hay primero atraccion, y repulsion luego despues del contacto. Produciéndose los mismos efectos con una barra de lacre frotada de igual manera, parece que la electricidad desarrollada en el vidrio ha de ser idéntica á la de la resina; pero la observacion revela lo contrario. En efecto, electrizadas, conforme dejamos dicho, las barras de vidrio y de resina, si mientras es repelido el péndulo eléctrico por el vidrio se acerca la resina, es atraida vivamente la esfera de saúco; y tambien, si al péndulo rechazado por la resina despues del contacto se presenta el tubo de vidrio, hay igualmente una fuerte atraccion; es decir, que un cuerpo repelido por la electricidad del vidrio es atraido por la de la resina, y recíprocamente, un cuerpo rechazado por esta es atraido por aquella.

Fundándose el físico francés Dufay en los hechos que acabamos de esponer, admitió, en 1734, la existencia de dos electricidades de distinta naturaleza: la una que se desarrolla en el vidrio cuando se le frota con lana, y la otra en la resina ó en el lacre frotándolos con paño ó una piel de gato. La primera ha recibido el nombre de *electricidad vítrea*, y la segunda el de *electricidad resinosa*.

577. **Teorías de Symmer y de Franklin.** — Para esplicar los efectos contrarios de la electricidad, segun sea vítrea ó resinosa, propuso el físico inglés Symmer la admision de dos *fluidos eléctricos*, obrando cada uno por repulsion sobre sí mismo y por atraccion sobre el otro. Segun dicho físico, existen estos fluidos en todos los cuerpos en el estado de combinacion, formando lo que se llama el *fluido neutro* ó el *fluido neutral*. Diferentes causas, y sobre todo, el frotamiento y las acciones químicas, pueden separarlos, apareciendo entonces los fenómenos eléctricos; pero tienden sobre manera á reunirse estos fluidos para constituir de nuevo el fluido neutro.

Desígnanse los dos fluidos eléctricos con las calificaciones de *vítreo* y de *resinoso*, ó con las de *positivo* y de *negativo*, tomadas estas últimas de la teoría de Franklin. Este físico solo suponia un fluido que obraba por repulsion sobre sus propias moléculas y por atraccion sobre las de la materia, y admitia que todos los cuerpos contienen, en el estado latente, una cantidad determinada de este fluido: cuando aumenta, estan electrizados *positivamente* los cuerpos y poseen las propiedades de la electricidad vítrea; y cuando disminuye, lo estan *negativamente* y ofrecen las propiedades de la electricidad resinosa. Las denominaciones de *electricidad positiva* ó de *fluido positivo* equivalen á la de *electricidad vítrea*; y las de *electricidad negativa* ó de *fluido negativo* á la de *electricidad resinosa*. Represéntase la electricidad positiva por medio del signo + (*mas*), y la negativa por el — (*menos*), fundándose en que, así como en álgebra sumando $+a$ con $-a$ se tiene cero, del mismo modo, dando á un cuerpo que posea ya una ciérta cantidad de electricidad positiva una cantidad igual de electricidad negativa, se obtiene el estado neutro, es decir, cero electricidad [1].

La teoría de Symmer sobre los dos fluidos eléctricos se presta con gran sencillez á la esplicacion de los fenómenos; por eso es la que generalmente se admite, á lo menos en Francia; pero no se eche en olvido que es una mera hipótesis; y téngase tambien presente cuán vaga es esa denominacion de *fluido* aplicada á las causas del calórico, de la luz, del magnetismo y de la electricidad. En efecto, ¿qué es un fluido? ¿Cuál es su naturaleza? Ningun físico contesta á estas preguntas. Debemos limitarnos, pues, á mirar la hipótesis de los dos fluidos eléctricos, como que espresa dos estados en los cuales la electricidad se presenta bajo el aspecto de dos fuerzas iguales y contrarias que tienden á equilibrarse. «Es muy probable, dice M. de La-Rive en su gran *Tratado de electricidad*, que la electricidad, en vez de consistir en

---

[1] Aqui añadirémos la palabra *libre* para que califique al cero de electricidad.
(N. de J. P.)

uno ó en dos fluidos especiales, no sea mas que el resultado de una modificacion particular en el estado de los cuerpos, modificacion que probablemente depende de la accion mútua que ejercen entre sí las partículas ponderables de la materia y el fluido sutil que las envuelve por todas partes, que se designa con el nombre de *éter*, y cuyas ondulaciones constituyen la luz y el calor.» Mas lejos añade el mismo físico: «Todos los fenómenos de las electricidades positiva y negativa pueden probablemente ser esplicados por la accion y reaccion de una fuerza capaz de manifestarse, á grados diferentes, en las diferentes sustancias, mas sencillamente que por la hipótesis de los fluidos imponderables. Las dos fuerzas opuestas de la electricidad se asemejan de hecho á la accion y á la reaccion, en que ellas van siempre acompañadas.»

578. **Acciones de los cuerpos electrizados unos sobre otros.** — Admitida la hipótesis de las dos especies de electricidad, se reasumen los efectos de atraccion y de repulsion que ofrecen los cuerpos electrizados (573) en el enunciado del principio siguiente: que sirve de base á la teoría de todos los fenómenos de la electricidad estática.

Dos cuerpos cargados de la misma electricidad se repelen, y de electricidad contraria se atraen; pero estas atracciones y repulsiones no se efectúan sino en virtud de la accion de las dos electricidades entre sí, y no por su accion sobre las moléculas de la materia.

579. **Ley de la electrizacion por el frotamiento.** — Cuando se frotan entre sí dos cuerpos de cualquiera naturaleza, se descompone el fluido neutro de cada uno de ellos, y siempre toma *el uno el fluido positivo y el otro el negativo.*

Para demostrarlo, se comunica al péndulo eléctrico una electricidad conocida, y se le presentan por separado los dos cuerpos frotados, que deben estar aislados en el caso de que sean buenos conductores; el uno atrae la esfera de médula de saúco, y el otro la repele, lo cual demuestra que estan cargados de electricidad contraria. Lo estan, además, en cantidad igual, porque, presentándolos al péndulo mientras se hallan en contacto, no hay atraccion, ni repulsion, pues se equilibran las dos electricidades. Se hacen de ordinario estos esperimentos con dos discos de vidrio frotados entre sí y separados bruscamente.

La electricidad que desarrolla el frotamiento en un cuerpo varía con la naturaleza de este, pues el vidrio en su estado natural y el vidrio deslustrado, frotados con lana, se electrizan, el primero positivamente y el segundo negativamente. Tambien depende de la naturaleza del cuerpo frotante, pues las sustancias que ponemos á continuacion se electrizan positivamente cuando estan frotadas por las que les siguen, y negativamente cuando lo son por las que las preceden, á saber. la piel de gato, el vidrio en su estado natural, la lana, la pluma, la madera, el papel, la seda, la goma laca y el vidrio deslustrado.

La especie de electricidad por frotacion depende tambien del grado de pulimento, del sentido de las fricciones y de la temperatura. En

efecto, si se frotan entre sí dos discos de vidrio desigualmente pulimentados, el que lo está mas toma la electricidad positiva y el otro la negativa. Frotando en cruz dos cintas de seda blanca, cortadas de la misma pieza, la que se frota trasversalmente se electriza positivamente, y la otra al contrario. Frotando entre sí dos cuerpos de la misma sustancia, de igual pulimento, pero de diferente temperatura, el de la mas elevada adquiere el fluido negativo. En general, los cuerpos cuyas partículas pueden moverse con mas facilidad, se electrizan de un modo negativo.

580. **Desarrollo de la electricidad por presion y por esfoliacion.** — Æpinus fué el primero en comprobar el desarrollo de la electricidad por presion; y luego demostró Libes que, oprimiendo ligeramente sobre un disco de madera cubierto de tafetan engomado un disco de metal aislado por medio de un mango de vidrio, este disco se electriza negativamente. Haüy hizo ver en seguida que el espato de Islandia toma la electricidad positiva oprimiéndolo un momento entre los dedos, y que dicho cristal conserva el estado eléctrico durante muchos dias. Reconoció la misma propiedad en muchas especies minerales; pero M. Becquerel descubrió que pertenece á todos los cuerpos, aun á los conductores, con tal que esten aislados. El corcho y el cautchouc, apretados el uno contra el otro, toman el primero la electricidad positiva y el segundo la negativa. Un disco de corcho, oprimido sobre una naranja, se lleva consigo una considerable cantidad de fluido positivo, cuando se interrumpe rápidamente el contacto; pero si se efectúa con lentitud la separacion, es muy débil la cantidad de fluido, porque, separados por la presion los dos fluidos, han tenido tiempo de recomponerse en parte en el momento en que cesa. Por eso es nulo el efecto cuando son buenas conductoras las dos sustancias apretadas.

Tambien ha observado M. Becquerel que la *esfoliacion*, esto es, la division natural de los minerales cristalizados, puede ser un manantial de electricidad. Esfoliando rápidamente la mica en la oscuridad, se nota un débil resplandor fosfórico. Para cerciorarse M. Becquerel de que la electricidad era la causa de este fenómeno, fijó un mango de vidrio á cada lámina antes de su separacion; desprendiólas en seguida rápidamente, y presentándolas al péndulo eléctrico ó á un electróscopo de panes de oro (593), encontró que poseen una electricidad contraria.

El talco hojoso y todas las sustancias cristalizadas, poco conductoras, se electrizan tambien por la esfoliacion. En general, siempre que se separan dos moléculas, toma una de ellas electricidad distinta de la de la otra, como no sea buen conductor el cuerpo á que pertenezcan, porque entonces no puede ser bastante rápida la separacion para oponerse á la recomposicion de las dos electricidades. A este fenómeno debemos referir la luz que despide el azúcar cuando se tritura en la oscuridad.

CAPITULO II.

MEDIDA DE LAS FUERZAS ELECTRICAS.

581. Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas.—Las acciones mútuas que ejercen los cuerpos electrizados entre sí se hallan sometidas á las dos leyes siguientes:

1.ª *Las repulsiones y atracciones entre dos cuerpos electrizados estan en razon inversa del cuadrado de la distancia;*

2.ª *Permaneciendo constante la distancia, estas mismas fuerzas estan en razon compuesta de las cantidades de electricidad que poseen los dos cuerpos.*

Primera ley. — Estas dos leyes han sido demostradas por Coulomb, valiéndose de la balanza de torsion usada ya para demostrar las leyes de las atracciones y repulsiones magnéticas (569). La única modificacion que debe introducirse en la balanza consiste en que la aguja imantada, suspendida del alambre, está reemplazada por una barra de goma laca que termina en un pequeño disco de oropel *n* (fig. 397), y en que, en vez de la aguja imantada vertical, se sustituye una barrita de vidrio *i*, terminada por una esfera de cobre *m*. La fig. 397 presenta tambien algunas otras modificaciones con relacion á la 394, pero son arbitrarias; pues en vez de ser rectangular la caja, es cilíndrica, el cuadrante se encuentra en el contorno, y no en el fondo, y por fin, se compone el micrómetro de un pequeño disco graduado *e*, móvil independientemente del tubo *d* y de un indice *a* fijo, que sirve para marcar los grados que gira el disco *e*. En su centro hay un boton que gira con él, y cuyo pié abraza la estremidad del alambre que lleva la aguja *on*.

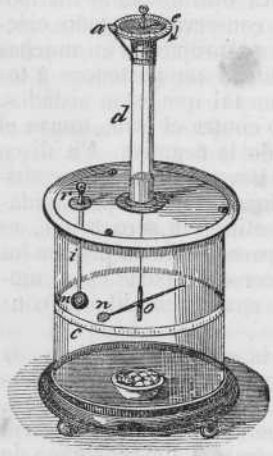


Fig. 397 (a = 58).

Para demostrar la primera ley, se seca el aire del aparato para que sea menor la pérdida de electricidad, por medio de una cápsula con cal viva que se deja muchos dias dentro del mismo. Completamente seco el aire, y correspondiendo el cero del micrómetro á la señal *a*, se dá vuelta al tubo móvil *d*, hasta que la aguja *on* marque el cero del círculo graduado *c*, que es la posicion de la esfera *m* cuando se halla dentro de la caja. Sacando entonces dicha esfera, y cogiéndola por su tubo aislador *i*, se la electriza, poniéndola en contacto con un manantial de electricidad, con la máquina eléctrica, por ejemplo; y luego se la introduce de nuevo en el aparato por la abertura *r* del platillo que le cubre. Al instante es atraido el disco *n*, se electriza luego en contacto con la esfera y es repelido, y despues de algunas

oscilaciones se para, cuando la torsion del alambre equilibra la fuerza repulsiva que se ejerce entre el disco y la esfera. Supongamos que la torsion de la aguja sobre el cuadrante *c* valga 20 grados, como la torsion del alambre es proporcional á la fuerza de torsion (70, 2.°), podemos considerar este número 20 como representante de la repulsion eléctrica á la distancia á que se encuentra la aguja. Para medir esta fuerza á una distancia menor, se da vuelta al disco *e* en el sentido de la flecha, hasta que la distancia del disco *n* á la esfera *m* no sea mas que de 10 grados, es decir, dos veces menor. Hay que correr 70 grados para que llegue á este punto la aguja. Se ha torcido, pues, el alambre en su estremidad superior, 70 grados en el sentido de la flecha y 10 grados en sentido contrario en su parte inferior. De consiguiente, se suman las dos torsiones para dar una total de 80 grados, es decir, cuádruple de la que corresponde á una distancia doble; por otra parte, siendo siempre la fuerza de torsion igual y contraria á la repulsion, es preciso que se haga esta á su vez cuatro veces mayor para una distancia dos veces menor. Compruébase tambien que, para una distancia tres veces mas pequeña, es nueve veces mas considerable la repulsion, quedando así demostrada la ley de las repulsiones.

Del mismo modo se puede demostrar la ley de las atracciones, pero deben darse electricidades contrarias á la esfera y al disco.

Segunda ley. — Para demostrar que las fuerzas eléctricas son proporcionales á las cantidades de electricidad de los cuerpos, se electriza tambien la esfera de cobre *m*, y luego, observando la repulsion de la aguja *on*, se quita la esfera *m* y se la hace tocar una segunda esfera de cobre del mismo diámetro, en el estado neutro, y aislada por un mango de vidrio. Cede entonces la esfera *m* la mitad de su electricidad á la otra, supuesto que son iguales las superficies de ambas esferas (584). Introduciendo de nuevo la primera en el aparato, se nota que la repulsion no vale ya mas que la mitad de lo que antes valía; y si otra vez se quita á *m* la mitad de la electricidad que le queda, la repulsion no es mas que el cuarto de la repulsion primitiva, y así sucesivamente, con lo cual queda demostrada la ley.

En estos esperimentos sirve de intervalo de los cuerpos eléctricos el arco que mide la torsion, es decir, que se toman los arcos por sus cuerdas, lo cual no es mas que una aproximacion; pero el error no influye de un modo sensible en los resultados, por ser bastante pequeños los arcos para poder ser sustituidos por sus cuerdas.

* 582. **Objeciones á las leyes de Coulomb.** — M. Harris, en Inglaterra, ha hecho, hace ya algunos años, numerosas esperiencias para verificar las leyes de Coulomb. El sabio inglés ha hecho uso de un aparato que tiene relacion con la balanza de Coulomb, pero del cual difiere en que la aguja móvil, en vez de estar suspendida de un solo hilo, está suspendida, segun lo habia hecho ya Gauss en su *magnetómetro*, por dos hilitos elementales de seda, paralelos, muy aproximados entre sí, y á igual distancia del centro de gravedad de la aguja; de donde proviene el nombre de *balanza bifiliar* dado á este aparato. Resulta de este modo de suspension, que cuando la aguja móvil es repelida ó atraida, no pudiendo conservar los dos hilos la posicion vertical, se inclinan mas ó menos segun la intensidad de la fuerza que obra sobre la aguja, y que esta se eleva, por consiguiente, hasta que el equilibrio se establezca entre la gravedad que tiende á bajarla y la fuerza eléctrica que tiende á volverla hacer subir por efecto de la desviacion de los hilos. Pero M. Harris

ha observado que las oscilaciones de la aguja son entonces isócronas, y que la fuerza que la mantiene á una cierta distancia angular de su posicion de equilibrio, es proporcional á esta distancia.

M. Harris ha esperimentado tambien, con una simple balanza ordinaria, muy sensible, haciendo equilibrio, mediante pesos colocados en uno de los platillos, á las atracciones eléctricas que se ejercian sobre un disco dispuesto en el otro platillo.

Pero esperimentando con estos dos aparatos, M. Harris ha encontrado que la primera ley de Coulomb, la de la relacion inversa del cuadrado de la distancia, no se verifica cuando los dos cuerpos estan cargados de desigual cantidad de electricidad; cuando la tension es muy débil, y finalmente, cuando la distancia angular de los dos cuerpos es menor que 8 á 10 grados. M. Harris ha observado tambien que, en las mismas circunstancias, la segunda ley de Coulomb, la relativa á las cantidades de electricidad, tampoco se verifica.

En la obra anteriormente citada, M. de La Rive observa que estas escepciones á las leyes de Coulomb no son mas que aparentes; que ellas dependen de la influencia que los dos cuerpos electrizados se ejercen recíprocamente, influencia que tiende á descomponer el fluido neutro (592), pero que cesa de ser apreciable desde el momento en que los dos cuerpos estan bastante distantes; que, por último, las leyes de Coulomb no son rigurosamente aplicables mas que á puntos matemáticos, y que, por consiguiente, solo pueden verificarse con cuerpos de pequeñísimas dimensiones.

Esto es lo que confirman las esperiencias de M. Marié Davy, quien, habiendo repetido las de M. Harris, ha reconocido que la ley de las distancias se verifica muy aproximadamente para dos esferas iguales, distantes de mas de 9 á 10 veces su radio.

583. La electricidad marcha á la superficie de los cuerpos. —Cuando un cuerpo aislado, de forma cualquiera, se electriza, ya positiva, ya negativamente, se dirige el fluido eléctrico á la superficie del cuerpo, en donde se forma una capa muy ténue. Esta acumulacion de la electricidad en la superficie se demuestra por los esperimentos que siguen, debidos á Coulomb los dos primeros:

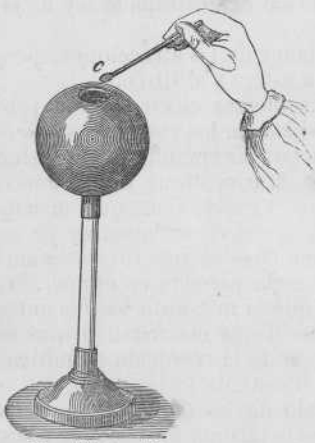


Fig. 398 (a = 68).

1.° Se toma una esfera hueca de laton, aislada sobre un pié de vidrio, y con una abertura circular en su parte superior (fig. 398). Electrizada por su contacto con un manantial eléctrico, se la toca sucesivamente dentro y fuera, con un *plano de prueba*, que así se llama una barrita de goma laca, terminada por un disco metálico que sirve para recoger la electricidad. Tocando esteriormente, con el plano de prueba, la esfera electrizada, recogia Coulomb parte de la electricidad, porque, presentando dicho plano á la aguja *on* de la balanza de torsion (fig. 397), se notaba una atraccion. Tocando la superficie interna, no observaba Coulomb vestigio alguno de electrizacion, deduciendo de aquí que solo habia electricidad libre en la superficie esterior de la esfera.

Con todo, no es, al parecer, rigurosa esta consecuencia, porque habiendo repetido recientemente M. Bourbouze el esperimento anterior, haciendo comunicar cada una de las dos caras de la esfera hueca con un electrómetro de panes de oro (593), encontró que ambos estaban cargados de la misma electricidad y en cantidad igual, lo cual prueba que no solo va este fluido á la superficie esterna, sino tambien

á la interna. Tambien se da esplicacion de la electricidad que posee el plano de prueba, despues de haber tocado el interior de la esfera, diciendo que proviene de la barrita de goma laca, en la cual el fluido neutro seria descompuesto por la influencia de la electricidad que se encuentra sobre los bordes de la abertura de la esfera hueca.

2.° Sobre una esfera de cobre, aislada por un pié de vidrio, se aplican dos hemisferios huecos, de cobre tambien, del mismo diámetro que ella, y que pueden cubrirla exactamente y separarse á voluntad por medio de mangos de vidrio. Electrizada la esfera, se aplican

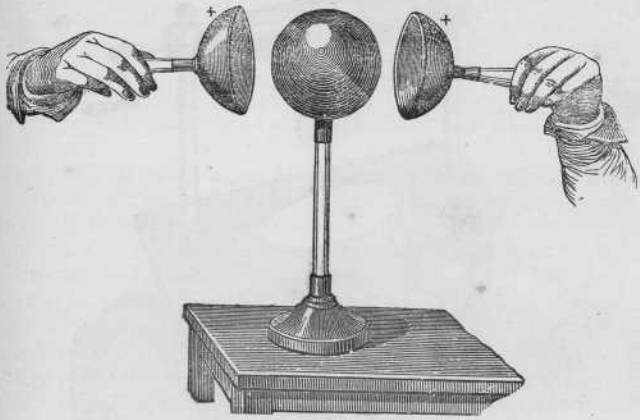


Fig. 399.

encima los dos hemisferios que se tienen cogidos por los mangos de vidrio, y luego se los retira á un tiempo bruscamente (fig. 399). Obsérvase que quedan ambos electrizados, pero que no conserva huella alguna de electricidad la esfera, de manera que todo el fluido se encontraba en la superficie, supuesto que se lo llevaron por completo las dos cubiertas.

3.° Puédese comprobar que se dirige la electricidad á la superficie de los cuerpos, por medio del aparato representado en la fig. 400. Consiste en un cilindro de cobre aislado, en el cual se ve una lámina metálica muy flexible, que puede arrollarse ó desarrollarse á voluntad, haciendo girar al cilindro por medio de un manubrio. Por fin, sobre una esfera de metal, en comunicacion con el cilindro, hay un pequeño electrómetro compuesto de un cuadrante de marfil, y en el centro una varilla ligera terminada en una esferita de médula de saúco. Cuando se comunica electricidad al cilindro, se ve que diverge el pequeño electrómetro en virtud de una repulsion eléctrica. Dando vuelta entonces al cilindro, de modo que se desarrolle la lámina metálica que lo cubre, disminuye la divergencia, la cual aumenta al arrollarla. Dedúcese de esto que, no variando la cantidad total de electricidad que posee un cuerpo, la repulsion que ejerce la

electricidad en cada punto de la superficie, es tanto menor, cuanto mayor es esta, quedando así demostrado que la electricidad se dirige á la superficie.

4.° Una cuarta esperiencia, debida á M. Faraday, consiste en fijar sobre un aro metálico aislado una bolsita cónica de muselina, bas-

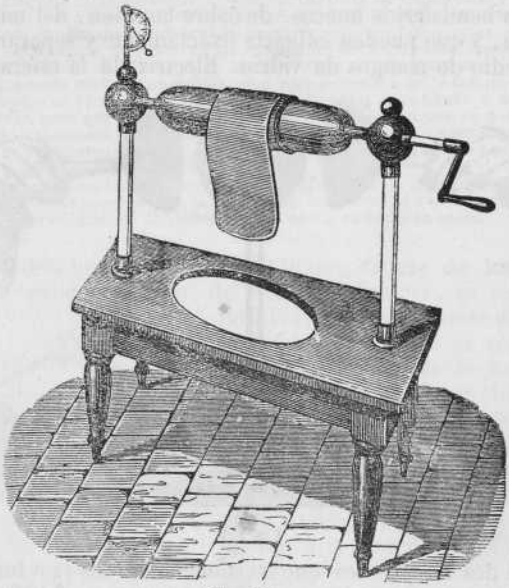


Fig. 400.

tante parecida á las que se usan para coger mariposas (fig. 401). Mediante dos hebritas de seda sujetas á los dos lados del vértice del cono, se la puede volver á voluntad. Entendido esto, se electriza la muselina tocándola con un cuerpo electrizado, y se encuentra, con el auxilio de un plano de prueba, que su superficie esterior es la única electrizada; luego, tirando de la hebra de seda interior, se vuelve la bolsita, de modo que su superficie interna quede esterna, y recíprocamente; pero entonces se reconoce que todavía es la superficie esterna la que está solamente electrizada.

5.° Finalmente, la esperiencia manifiesta que una esfera maciza de metal no toma mas electricidad que una esfera de madera del mismo diámetro, recubierta con una lámina muy delgada de metal.

Considérase la propiedad que tiene la electricidad de acumularse en la superficie de los cuerpos, como una consecuencia de la fuerza repulsiva que cada fluido ejerce sobre sí mismo. En efecto, sometiendo al cálculo la hipótesis de los dos fluidos, y admitiendo que se atraen mútuamente en razon inversa del cuadrado de la distancia, y que re-

chazan sus propias moléculas, siguiendo la misma ley, llegó Poisson á la misma consecuencia que Coulomb sobre la distribucion de la electricidad en los cuerpos. Supónese, pues, que la electricidad libre se halla como acumulada, bajo la forma de una capa súmamente ténue, en la superficie de los cuerpos electrizados, de la cual tiende sin cesar á escaparse, no estando retenida mas que por la resistencia que le opone la débil conductibilidad del aire [1].

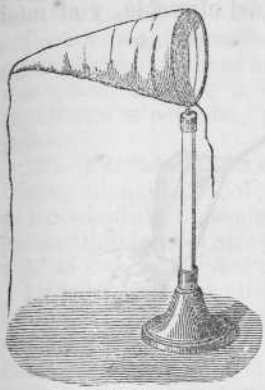


Fig. 401.

El esfuerzo de la electricidad para escaparse de los cuerpos se llama *tension*. Pronto verémos las causas que la hacen variar.

584. **Influencia de la forma de los cuerpos en la acumulacion de la electricidad.** — En una esfera metálica, el espesor de la capa eléctrica es igual en todos los puntos de la superficie, como así debe ser, atendida la forma simétrica del cuerpo. Se averigua esto por medio del plano de prueba y de la balanza de torsion (fig. 397). Electrízase al efecto una esfera aislada, igual á la de la fig. 399, y tocándola sucesivamente en diversos puntos con el plano de prueba, se presenta este cada vez á la aguja; y constantemente se observa la misma tension, con lo cual se ve que en todas partes ha recogido el plano de prueba la misma cantidad de electricidad.

Si el cuerpo es un elipsoide prolongado (fig. 402), ya no es uniforme el espesor de la capa eléctrica; pues obedeciendo el fluido á su propia repulsion, se acumula hácia las partes mas agudas, en las cuales adquiere así la electricidad un máximum de espesor. Para de-

---

(1) «Segun M. Faraday, la tendencia que tiene la electricidad á marcharse á la superficie de los cuerpos es mas aparente que real, y las esperiencias que manifiestan que solo en la superfieie hay electricidad libre, se esplican fácilmente de otro modo. Segun su teoría, alguna carga eléctrica no puede manifestarse en el interior de un cuerpo á causa de las direcciones opuestas de las electricidades en cada una de las partículas interiores, de lo cual resulta un efecto nulo; mientras que la induccion (590) ejercida por los cuerpos esteriores hace sensible la electricidad en la superficie. Segun esta manera de ver, la electricidad debe manifestarse tan solo en la superficie de una cubierta conductriz, cualquiera que sea la conductibilidad ó la facultad aisladora del cuerpo colocado en el interior. Esto es lo que M. Faraday ha demostrado electrizando fuertemente la esencia de trementina colocada en una vasija de metal; solo habia electricidad sensible en el esterior de la vasija. El ha construido tambien una cavidad cúbica, de un metro de lado, cuyas paredes de madera estaban recubiertas esteriormente de láminas de plomo; él la aisló, despues de haber colocado en ella electróscopos y otros objetos, y electrizó el aire interior con una poderosa máquina. Alguna señal de electricidad no se le manifestó en el interior, mientras que grandes chispas y penachos luminosos salian en todos sentidos de la superficie esterior. Estas esperiencias, completando las de Coulomb, en las cuales no se trataba mas que de los cuerpos conductores, hacen poco probable la esplicacion que de ellas se daba, en atencion á que en ellas se tomaba por base la propagacion de la electricidad en la masa conductriz, de donde resultaba que esta electricidad se marchaba toda á la superficie. Supuesto, pues, que el fenómeno se verifica igualmente con los cuerpos aisladores colocados interiormente, semejante esplicacion no puede ser sostenida.»

(De La Rive; *Tratado de electricidad*, t. I, p. 143.)

mostrarlo, se tocan diferentes puntos del elipsoide con el plano de prueba, y llevando este á la balanza de Coulomb, se nota el máximum de torsion cuando se toca la estremidad *a* del elipsoide, y el míni-

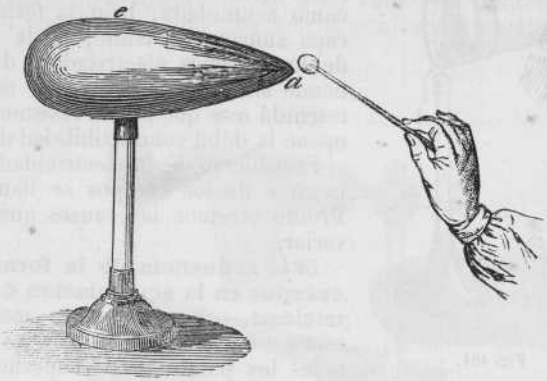


Fig. 402 (a=55).

mum al contacto de la region media *e*. Laplace encontró, por el cálculo, que la tension en cada punto es proporcional al cuadrado del espesor de la capa eléctrica.

585. **Poder de las puntas.** — Denomínase *poder de las puntas*, en los cuerpos conductores, la propiedad que poseen de dejar escapar el fluido eléctrico. Esta propiedad, descubierta por Franklin, se esplica por la ley de la distribucion de este fluido en la superficie de los cuerpos. En efecto, acumulándose la electricidad (584) hácia las partes agudas, crece el espesor eléctrico cerca de las puntas, y aumentando á la par la tension, supera muy pronto la resistencia del aire, y pasa á la atmósfera. Acercando la mano á la punta, parece que salga de esta un ligero soplo, y en la oscuridad se nota sobre la punta un penacho luminoso.

586. **Comunicacion y distribucion de la electricidad sobre los cuerpos en contacto.** — Cuando se ponen en contacto dos cuerpos conductores, electrizado el uno y en el estado natural el otro, se divide la electricidad entre los dos en una relacion que depende de la de su superficie; y cuando se los separa, ha ganado el uno y perdido el otro electricidad en todos sus puntos. Si no son conductores, solo ganan ó pierden en los puntos de contacto.

Por medio del plano de prueba y de la balanza de torsion, hizo Coulomb muchos esperimentos sobre la distribucion de la electricidad en la superficie de los cuerpos en contacto. Con esferas metálicas aisladas, puestas en contacto y electrizadas en tal estado, encontró que se distribuye diversamente el fluido eléctrico en sus superficies, siguiendo la relacion de los diámetros. Siendo estos iguales, es nulo el espesor eléctrico en el punto de contacto, no se hace sensible hasta

20 grados de este punto, crece rápidamente de 20 á 30 grados, con mas lentitud de 60 á 90, y apenas varía de 90 á 180 grados

Cuando son desiguales los diámetros, en la relacion de 2 á 1, el espesor eléctrico, que es aun nulo en el punto de contacto, es primero mas considerable en la esfera mayor, pero aumenta luego con mas rapidez en la pequeña, y en ella á 180 grados se nota el mayor espesor.

587. **Pérdida de la electricidad en el aire.** — Los cuerpos eléctricos, aunque aislados, pierden siempre mas ó menos rápidamente su electricidad. Depende esta pérdida de dos causas, que son: 1.ª la conductibilidad del aire y de los vapores que envuelven á los cuerpos, y 2.ª la conductibilidad de los aisladores que les sirven de pies.

La pérdida por el aire varía con la tension eléctrica, con la renovacion del aire y con su estado higrométrico. El aire seco conduce mal la electricidad, pero el húmedo es buen conductor, y tanto mas, cuanto mas abunda el vapor. Coulomb demostró que, *en un aire tranquilo y en un estado higrométrico constante, la pérdida en un tiempo muy corto es proporcional á la tension*; ley análoga á la de Newton sobre el enfriamiento (353).

Coulomb esperimentaba en un aire húmedo; pero en los gases perfectamente desecados, M. Matteucci ha encontrado que la pérdida de la electricidad no sigue la ley de Coulomb, y que, en ciertos límites de tension, la pérdida es independiente de la cantidad de electricidad y proporcional al tiempo, es decir, que en tiempos iguales las pérdidas sucesivas son iguales.

Segun el mismo físico, á temperatura y presion iguales, la pérdida es la misma en el aire, en el hidrógeno y en el ácido carbónico, cuando estos gases estan completamente desecados; con cuerpos fuertemente electrizados, la pérdida es mayor cuando estan electrizados negativamente, que cuando lo estan positivamente; en los gases secos, á presion constante, la pérdida aumenta con la temperatura; finalmente, siempre en gases secos, la pérdida es independiente de la naturaleza del cuerpo electrizado, es decir, que ella es la misma, sea el cuerpo bueno ó mal conductor.

En cuanto á la pérdida por los montantes, no solo no aislan estos por completo, sino que Coulomb encontró que causan una gran merma de fluido en los cuerpos fuertemente electrizados. Disminuye gradualmente esta pérdida, y llega á ser constante cuando es muy débil la tension eléctrica. Hasta puede despreciarse entonces, dando suficiente longitud á los aisladores; longitud que, segun Coulomb, debe aumentar proporcionalmente al cuadrado de la tension eléctrica del cuerpo aislado. La goma laca aisla entonces por completo; mas no así el vidrio, que hay que secarle con cuidado por ser higrométrico.

588. **Pérdida de la electricidad en el vacío.** — Retenida la electricidad en la superficie de los cuerpos por la mala conductibilidad del aire, aumenta la pérdida cuando se halla este enrarecido, disipándose por completo aquel fluido en el vacío, donde es nula la resistencia. Tal es, por lo menos, la consecuencia á que conduce la teo-

ría matemática que esplica el equilibrio de la electricidad sobre la superficie de los cuerpos; pero Hawksbee, Gray, M. Harris y M. Becquerel han demostrado que podian conservarse tensiones eléctricas débiles en el vacío. El último físico llegó á observar que, en el vacío á un milímetro (178), conservaba todavía á los quince dias electricidad un cuerpo; y es probable que, si se encontrase este en un vacío perfecto, lejos de toda materia que pudiese ejercer en él una accion por influencia (589), conservaria indefinidamente cierta tension eléctrica.

CAPITULO III.

ACCION DE LOS CUERPOS ELECTRIZADOS SOBRE LOS CUERPOS EN ESTADO NEUTRO; MAQUINAS ELECTRICAS.

589. **Electrizacion por influencia ó por induccion.** —Un cuerpo electrizado obra sobre otro en el estado neutro, de la misma manera que el iman sobre el hierro dulce (549); es decir, que, descomponiendo al fluido neutro, atrae la electricidad de nombre contrario á

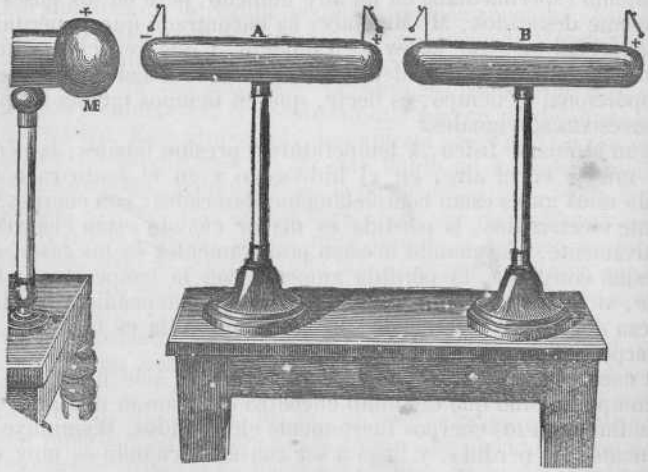


Fig. 403 (a=54).

la que posee, y repele la del mismo nombre. Para espresar este efecto, que es una consecuencia de la mútua accion de las dos electricidades, se dice que el cuerpo que primero se hallaba en el estado neutro, se encuentra ahora electrizado *por influencia ó por induccion.*

Demuéstrase la electrizacion por influencia por medio de un cilindro de laton A, aislado sobre un pie de vidrio, y llevando en sus estremidades dos pendulitos eléctricos formados por esferas de médula de saúco, suspendidas de hilos de cáñamo que son conductores (figu-

ra 403). Colocando este cilindro á algunos centímetros de uno de los conductores M de la máquina eléctrica, esta, que, segun pronto verémos, está cargada de fluido positivo, atrae al negativo y repele al positivo; de suerte que distribuyéndose entonces los fluidos conforme lo indican los signos + y —, son desviados ambos péndulos.

Para conocer la especie de electricidad de que estan cargadas las estremidades del cilindro, se frota una barra de lacre, y aproximándola al péndulo que se halla mas cerca de la máquina eléctrica, se observa una repulsion que indica que dicho péndulo tiene la misma electricidad que la resina, es decir, negativa. Presentando de igual manera al segundo péndulo un tubo de vidrio frotado, hay tambien repulsion, y por lo tanto, debe estar electrizado positivamente el péndulo. De consiguiente, un cuerpo electrizado por influencia, posee á la vez, en dos regiones opuestas, las dos especies de electricidad en el estado libre. Entre estas partes electrizadas en sentido contrario hay necesariamente una zona en el estado neutro, conforme puede comprobarse disponiendo muchos pendulitos con esfera de médula de saúco á lo largo del cilindro, pues decrece rápidamente su divergencia alejándose de las estremidades, y llega á ser nula en cierto punto, que es el punto neutro. Jamás se halla este en medio del cilindro, pues su posicion depende de la carga eléctrica y de la distancia del cilindro al cuerpo que actúa sobre él por influencia, y así es que está siempre mas cerca de la estremidad mas inmediata á dicho cuerpo.

Un cuerpo electrizado por influencia obra á su vez sobre los cuerpos cercanos para separar sus dos fluidos, como se ve en la disposicion relativa de los signos + y — sobre el que le sigue.

Todo cuerpo electrizado por influencia presenta estos dos principios: 1.° Luego que cesa la influencia, se recomponen los dos fluidos, y no le queda al cuerpo indicio alguno de electricidad. Compruébase este principio con los cilindros de la figura 403, porque caen los péndulos apenas se los aleja del manantial eléctrico, ó apenas se reduce á este al estado neutro tocándolo con el dedo. 2.° Cuando está electrizado por influencia un cuerpo conductor, si se le toca *en cualquier punto* con una barrita metálica ó con el dedo, siempre se escapa al suelo el fluido del mismo nombre que el del manantial eléctrico, quedando retenido el de nombre contrario por la atraccion de el del manantial. Por ejemplo, en los cilindros anteriores queda el fluido negativo, tanto si se los toca por la estremidad positiva, como por la negativa, ó por medio.

Por un efecto de electrizacion por influencia no puede cargarse una máquina eléctrica, si se encuentra cerca una punta metálica en comunicacion con el suelo; pues, obrando el fluido positivo de la máquina por influencia sobre la punta, pasa por esta (585) una corriente contínua de fluido negativo que neutraliza la electricidad de la máquina.

* 590. **Teoría de M. Faraday sobre la electrizacion por influencia.**—La teoría de la electrizacion por influencia, tal cual acabamos de esponerla, es la admitida

hasta aquí por todos los físicos; pero los recientes trabajos de Faraday sobre la polaridad eléctrica tienden á modificarla y acaso á destruirla enteramente. En efecto, hasta ahora no se habia tomado en consideracion, en los fenómenos citados, el medio que separa el cuerpo electrizado de aquel en el cual se deja sentir la influencia. Los nuevos esperimentos de M. Faraday conducen mas bien á admitir que por el intermedio mismo de este medio se operan todos los fenomenos por influencia, y no por una accion á distancia, ó por lo menos á una distancia que no esceda del intervalo entre dos moléculas adyacentes. Admite M. Faraday que se produce entonces en el medio intermedio una série de capas moleculares alternativamente positivas y negativas, constituyendo lo que él llama la *polarizacion*

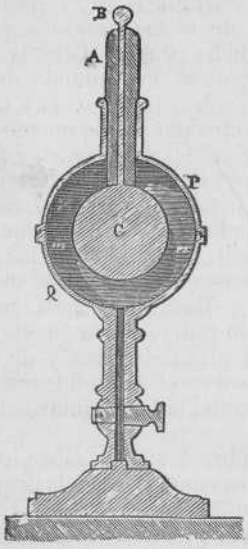


Fig. 404.

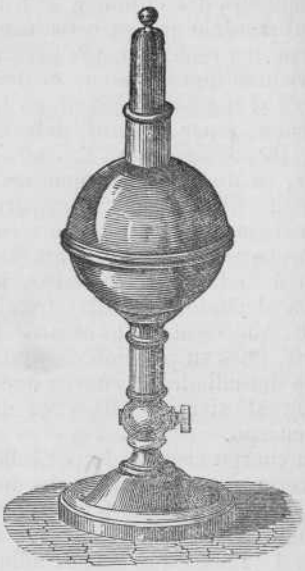


Fig. 405.

de dicho medio. Dependeria, pues, en la nueva teoria, de la polarizacion de las moléculas del aire ó de otro medio, la accion que al parecer ejercen á distancia los cuerpos electrizados sobre los que se hallan en el estado neutro, mientras que, en la teoria hasta hoy dia admitida, solo desempeña el aire un papel pasivo, pues solo por su no conductibilidad se opone á la recomposicion de las electricidades contrarias. En una palabra, tiende la nueva teoria á suprimir las acciones á distancia, reemplazándolas por la accion continua y constante de un medio, de una materia intermedia propia para trasmitir la accion de uno á otro cuerpo (¹).

(¹) «La teoria de M. Faraday, dice M. de La Rive, aun cuando tiene necesidad de ser todavia estudiada, merece, sin embargo, llamar ya la atencion severa de los físicos. Ella parece descansar sobre un principio justo, el de que las acciones eléctricas no se manifiestan jamás sino por el intermedio de las partículas materiales; ella tiende á operar una semejanza notable entre las fuerzas eléctricas y las demás fuerzas de la naturaleza. En fin; de las esperiencias de M. Faraday resulta ya un punto importante adquirido para la ciencia, á saber, el hecho de la polarizacion molecular en los cuerpos aisladores, modo probable de la propagacion eléctrica en los cuerpos conductores igualmente.»

Sin embargo, muchas objeciones se han presentado á la teoria de M. Faraday, de las que una de las mas fuertes es la accion á distancia que se ejerce en el vacio entre los cuerpos electrizados, á menos que se admita que, aun en el vacio mas perfecto que se puede obtener, quedan todavia bastantes moléculas materiales para que pueda producirse la polarizacion. Además, M. Mateucci ha hecho recientes investigaciones sobre la propagacion de la electricidad en los cuerpos aisladores, que le han conducido á conclusiones diferentes de las de M. Faraday.

Llamando *poder inductor* á la propiedad que tienen los cuerpos de trasmitir al traves de su masa la influencia eléctrica, M. Faraday encuentra que todos los cuerpos aisladores no tienen el mismo poder inductor. Para comparar los poderes inductores de las diferentes sustancias, hizo uso del aparato representado en la figura 405, y del que la figura 404 representa un corte vertical. Este aparato se compone de una cubierta esférica PQ, formada de dos hemisferios de laton, que se separan como los hemisferios de Magdeburgo (fig. 93), y, como ellos, se ajustan por sus bordes de manera que cierren herméticamente. En el interior de esta cubierta hay una esfera de laton C, de un diámetro menor que el de la cubierta, y comunicando con una esferita esterior B, mediante una varilla metálica, pero aislada de la cubierta PQ por una gruesa capa de goma laca A. En cuanto al intervalo *mn*, él está destinado á recibir la sustancia cuyo poder inductor se trata de medir. Finalmente, el pie del aparato tiene un taladro con su llave, que puede atornillarse sobre la máquina neumática cuando se quiere quitar ó enrarecer el aire comprendido en el espacio *mn*.

Entendido esto, se tienen dos aparatos semejantes al que acabamos de describir, idénticos entre sí, y no conteniendo ambos desde luego mas que aire en el intervalo *mn*; luego, comunicando las cubiertas PQ con el suelo, se pone la esferita B de uno de los aparatos en comunicacion con un manantial de electricidad. La esfera C se carga entonces, como la armadura interior de una botella de Leyden, representando la capa de aire *mn* la lámina aisladora que separa las dos armaduras. Una vez cargado el aparato, se mide la tension de la electricidad que ha quedado libre sobre la esfera C, tocando con un plano de prueba la esferita B, y llevándole á la balanza de torsion. En el esperimento de M. Faraday, ha obtenido así este físico una torsion de 250°, que representaba la tension sobre la esfera C. Poniendo, finalmente, la esferita B del aparato cargado de esta manera, con la esferita B del segundo aparato, no cargado todavía, se encuentra, mediante el plano de prueba y la balanza de torsion, que la tension sobre las dos esferas C es sensiblemente 125, es decir, que la electricidad se ha distribuido igualmente sobre los dos aparatos; lo cual se podia prever de antemano, puesto que ellos son idénticos y ambos contienen aire en el intervalo *mn*.

Hecha esta primera esperiencia, se la repite, pero llenando preliminarmente el intervalo *mn*, en el segundo aparato, de la sustancia cuyo poder inductor se quiere estudiar, por ejemplo, de goma laca. Luego, habiendo cargado el otro aparato, aquel en el cual el intervalo *mn* siempre está lleno de aire, se mide la tension sobre la esfera C; supongamos que sea 290, número encontrado por M. Faraday. Pero si se hace comunicar actualmente la esferita B del aparato en que está la goma laca con la esferita B del aparato cargado, ya no se encuentra, como en el caso anterior, que cada aparato posea la mitad de 290, ó 145. En efecto, el aparato con aire solo acusa una tension de 114, y el de la goma laca una tension de 113. El aparato con aire, que tenia 290 y solo tiene 114, ha perdido, pues, 176; por consiguiente, deberia encontrarse sobre el aparato con goma la a 176 en vez de 113. Puesto que solo se encuentra 113, esto manifiesta que una mayor cantidad de electricidad ha sido neutralizada al traves de la capa de goma laca, que al traves de la de aire, de igual espesor en el primer esperimento; de donde se concluye que el poder inductor de la goma laca es mayor que el del aire.

Esperimentando como se acaba de decir, se encuentra que, representando por 1 el poder inductor del aire, los poderes de las sustancias siguientes son:

Aire.	1.	Cera amarilla.	1,86
Flint.	1.76	Vidrio	1,90
Resina.	1.77	Goma laca.	2.
Pez.	1,80	Azufre.	2,24

Cuando hablemos de la induccion producida por la corriente de la pila, harémos conocer las esperiencias de M. Mateucci, segun las cuales el desarrollo de la induccion de la corriente seria independiente de la naturaleza del cuerpo aislado interpuesto entre el inductor y el inducido, lo cual no está acorde con los resultados obtenidos anteriormente por M. Faraday para la induccion de la electricidad estática.

En cuanto á los gases, ha encontrado Faraday que todos tienen sensiblemente el mismo poder inductor, y que este poder no es modificado por la temperatura ni presion del gas.

Segun la capacidad inductriz propia que poseen los cuerpos aisladores, M. Faraday ha dado á estos cuerpos el nombre de *dieléctricos*, por oposicion á los cuerpos conductores que no gozan de la misma propiedad. El mismo físico, que ha hecho un profundo estudio de la propiedad que gozan los dieléctricos en la induccion, ha llegado á estos dos resultados:

1.° *Que no hay induccion al traves de los cuerpos conductores cuando ellos estan en comunicacion con el suelo;*

2.° *Que la induccion de un cuerpo sobre otro puede ejercerse en linea curva, cuando entre los dos cuerpos hay interpuesto un dieléctrico.*

No solamente no son aceptados estos principios por todos los físicos, sino que es menester reconocer que las esperiencias que á ellos han conducido á M. Faraday pueden ser interpretadas de otra manera que lo ha hecho este físico; sobre todo, la que tiene por objeto demostrar que no puede ejercerse la induccion al traves de los cuerpos conductores. No entrarémos en mas detalles sobre este objeto, limitándonos á enviar al lector al *Tratado de electricidad* de M. de La Rive, t. I, pág. 129 á 149.

591. **Comunicacion de la electricidad á distancia.** — En el esperimento representado en la figura 403, tienden á reunirse las electricidades contrarias del conductor M y del cilindro A, quedando mantenidas en la superficie de estos dos cuerpos solo por la resistencia del aire; pero, si esta disminuye ó se aumenta la tension, supera la fuerza atractiva de ambas electricidades al obstáculo que las separa, y se recomponen entonces al traves del aire, dando orígen á una chispa mas ó menos viva, acompañada de un ruido seco. Encontrándose así neutralizada la electricidad negativa del cilindro por la positiva que le cedió la máquina, no queda sobre aquel mas que fluido positivo que conserva, aunque cese la influencia.

El mismo fenómeno tiene lugar presentando el dedo á un cuerpo muy electrizado, pues este descompone por influencia la electricidad natural de la mano, atrae con chispa al fluido contrario, y rechaza al suelo al otro fluido.

La distancia esplosiva varía segun la tension del fluido eléctrico, la forma de los cuerpos, su poder conductor y la mayor ó menor resistencia de los medios envolventes.

Todo cuanto precede se aplica á la electrizacion por influencia de los cuerpos buenos conductores, pues los malos dificilmente se electrizan por influencia; pero una vez electrizados, persiste el fluido mucho mas tiempo despues de la causa que le ha producido.

592. **Movimientos de los cuerpos electrizados.** — La teoría de la electrizacion por influencia esplica los movimientos de atraccion y de repulsion que entre sí ofrecen los cuerpos electrizados. En efecto, dado un cuerpo fijo M (fig. 406), que supondrémos electrizado positivamente, y otro móvil N, situado á corta distancia del primero, se pueden considerar tres casos:

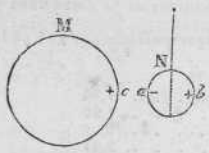


Fig. 406.

1.° *El cuerpo móvil se halla en el estado natural y es buen conductor.* — Obrando en este caso el cuerpo M por influencia sobre el fluido neutro de N, atrae al negativo y repele al positivo; de suerte que el máximum de tension de ambos fluidos está respectivamente en los puntos *a* y *b*. Como las atracciones y repulsiones eléctricas se ejercen en razon inversa del cuadrado de la distancia (581), es mayor la atraccion entre los puntos *a* y *c*, que la repulsion entre los *b* y *c*, y el cuerpo móvil se acerca al fijo por efecto de una resultante igual al esceso de la fuerza atractiva sobre la repulsiva.

2.° *El cuerpo móvil está electrizado y es conductor.* — Si el cuerpo móvil está cargado de electricidad contraria á la del M, hay siempre atraccion; y si la electricidad es del mismo nombre, hay repulsion á cierta distancia, pero mas cerca puede haber atraccion sin necesidad de contacto. Obsérvese, para esplicar esta anomalía, que además del fluido libre que contiene ya el cuerpo móvil, lleva tambien fluido natural, y que, descompuesto este por la influencia del positivo de M, recibe el hemisferio *b* nueva cantidad de fluido positivo, mientras que

el *a* solo se carga del negativo; hay, pues, como en el caso anterior, atraccion y repulsion. La segunda fuerza supera en un principio á la primera, porque la cantidad de fluido positivo en N es mayor que la del negativo; pero, disminuyendo el intervalo *ac*, crece la fuerza atractiva con mas rapidez que la repulsiva, hasta que llega á ser superior á esta.

3.° *El cuerpo móvil es mal conductor.* —Si el cuerpo móvil es mal conductor y está electrizado, es repelido ó atraido, segun se halle ó no cargado de la misma electricidad que el cuerpo fijo. Si se halla en el estado natural, como un manantial poderoso de electricidad y de accion prolongada, puede siempre, aun en los cuerpos peores conductores, descomponer mas ó menos el fluido natural, este lo es, en efecto, bajo la influencia del cuerpo M, si se encuentra este último suficientemente electrizado, y entonces hay atraccion.

593. **Electróscopo de panes de oro.** — Llámanse *electróscopos* ó *electrómetros* unos aparatitos que sirven para reconocer si un cuerpo está electrizado, y cuál es la naturaleza de su electricidad. El péndulo eléctrico ya descrito (572) es un electróscopo. Se han ideado muchos aparatos de esta especie; mas por ahora solo describirémos el electróscopo de panes de oro, si bien luego indicarémos otro mas sensible, ó sea el *electrómetro condensador* de Volta (fig. 431).

Fig. 407 (a=21).

El *electrómetro de panes de oro* ó *electrómetro de Bennet*, consiste en un frasco B de vidrio (fig. 407), que se apoya sobre un platillo de cobre, y cuyo gollete está cerrado por un tapon cubierto de un barniz aislador, así como toda la parte superior del mismo frasco. Por el tapon pasa un grueso alambre de cobre, terminado esteriormente en una esfera C del mismo metal, é interiormente por dos hojitas de oro batido sumamente ligeras.

Cuando se acerca á este aparato un cuerpo cargado de una electricidad cualquiera, negativa, por ejemplo, como lo indica el dibujo, obrando por influencia sobre el fluido neutro de la esfera y del vástago, es atraido á la primera el fluido positivo y repelido el negativo hácia las hojitas de oro. Cargadas estas así de la misma electricidad, se rechazan, revelando de este modo que el cuerpo A se halla electrizado.

Si se ignora la especie de electricidad del cuerpo examinado, es fácil reconocerla, tocando la esfera C con el dedo, mientras el instrumento se halla bajo la influencia del cuerpo A, pues la electricidad del mismo nombre que la de este se escapa al suelo, y la esfera y el vástago quedan cargados de la contraria (589). Caen primero las ho-

jitas de oro, pero retirando el dedo y luego el cuerpo A, vuelven á divergir. Si se desea saber entonces la especie de electricidad que conserva el aparato, se acerca lentamente á la esfera C una barra de vidrio frotada con lana, y si aumenta la divergencia de las hojitas, es señal de que la electricidad del electróscopo es repelida á la parte inferior, y de consiguiente, es de la misma especie que el vidrio, esto es, positiva. Si disminuye la divergencia, depende de que la electricidad del aparato es atraida por la del vidrio, y por lo tanto, de nombre contrario, ó sea negativa.

MAQUINAS ELECTRICAS.

594. **Electróforo.** — Llámanse *máquinas eléctricas* á los aparatos que dan un desarrollo mas ó menos abundante de electricidad estática.

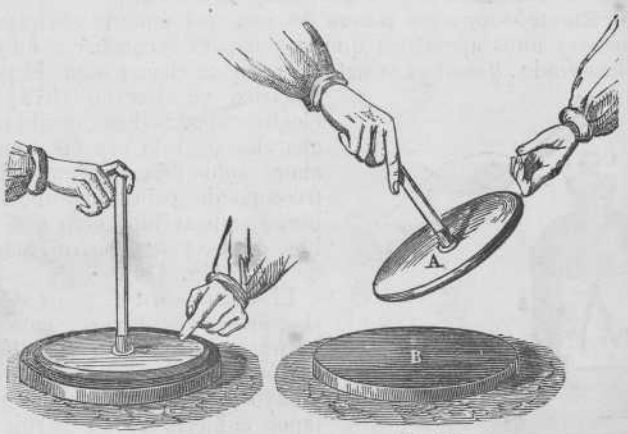


Fig. 408. Fig. 409.

La máquina eléctrica mas sencilla es el *electróforo*. Este aparato, inventado por Volta, se compone de una torta resinosa B (fig. 409), fundida en una caja de madera, y de un disco de madera tambien A, cubierto por papel de estaño y con un mango aislador de vidrio. Para obtener electricidad por medio de este aparato, se principia secando á un calor moderado la torta resinosa y el disco de madera, y luego se sacude fuertemente la resina con una piel de gato que la electriza negativamente. Aplicando entonces el disco de madera cubierto de estaño sobre la resina (fig. 408), esta, que es muy mala conductora, conserva su electricidad negativa, y, por su influencia sobre el disco, atrae el fluido positivo hácia la cara que está en contacto con ella, repeliendo á la otra el negativo. Tocando, pues, la lámina de estaño con el dedo, se quita el fluido negativo, y queda electrizado positivamente el disco. En efecto, separándole con una mano por el mango de vidrio, y presentándole la otra mano (fig. 409), salta una viva chispa

que proviene de la recomposicion del fluido positivo del disco con el negativo de la mano.

Electrizada la torta resinosa en un aire seco, puede conservar durante meses enteros su electricidad, obteniéndose en todo este tiempo tantas chispas como se quiera, sin necesidad de frotarlo de nuevo con la piel de gato, con tal que se cuide cada vez de tocar primero el disco cubierto de estaño, mientras se halla en contacto con la resina, y luego otra vez cuando se le tiene por el mango.

Sirve en química el electróforo para hacer detonar, en el endiómetro, las mezclas gaseosas por medio de la chispa eléctrica (625).

595. **Máquina eléctrica de Ramsden.**—Debemos la primera máquina eléctrica á Otto de Guéricke, que es tambien el inventor de

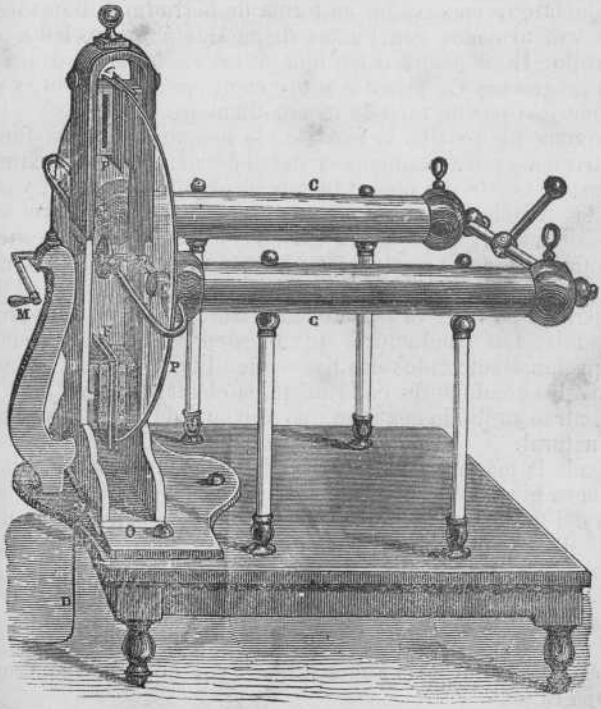


Fig. 410 (a=1m,70).

la máquina neumática. Consistia en una esfera de azufre fija á un eje que se hacia girar con una mano, apoyando la otra en la esfera para que sirviese de frotador. Sustituyóse muy pronto á la esfera de azufre un cilindro de resina que reemplazó Hawkesbee por otro de vidrio, pero continuaba siempre la mano sirviendo de frotador. El físico aleman Winkler fué el primero que, hácia 1740, usó una almohadilla de

crin cubierta de seda, como frotador; y en la misma época, Bose, profesor en el ducado de Wurtemberg, recogió, en un tubo de hoja de lata aislado, la electricidad que se desprendia por el frotamiento. Por fin, en 1766, sustituyó Ramsden, en Lóndres, al cilindro de vidrio un platillo circular de la propia sustancia frotado por cuatro almohadillas. Desde entonces tomó la máquina eléctrica la forma que generalmente se le da hoy dia.

Entre dos piés de madera (fig. 410) hay un platillo circular P de vidrio, fijo por su centro á un eje que se hace girar por medio de un manubrio. Este platillo se halla oprimido, en la direccion de su diámetro vertical, entre cuatro *frotadores* ó *almohadillas* F, de cuero ó de seda. En el sentido de su diámetro horizontal pasa por entre dos tubos de laton, encorvados en forma de herradura, llamados *peines*, porque van armados con puntas dispuestas á ambos lados enfrente del platillo. Estos peines estan fijos á los *conductores*, ó sea á unos tubos mas gruesos C, aislados sobre cuatro piés de vidrio, y comunicando entre sí por un tubo de menor diámetro.

Es sumamente sencilla la teoría de la máquina eléctrica fundada en la electrizacion por frotamiento y por influencia. En su movimiento de rotacion, se electrizan positivamente el platillo de vidrio, y negativamente las almohadillas; pero como estas comunican con el suelo por los pies de madera á que estan clavadas, pierden su electricidad al mismo tiempo que se produce [1]. La positiva del platillo obra por influencia sobre los conductores, y atrae la negativa que, al desprenderse por las puntas, va á combinarse con la positiva del vidrio, neutralizándola. Los conductores que pierden así su electricidad negativa, quedan electrizados positivamente. Por lo tanto, nada cede el platillo á los conductores en la máquina eléctrica; pues muy al contrario, atrae su fluido negativo que proviene de la descomposicion del fluido natural.

Cargada la máquina, se saca con la mano una fuerte chispa, que se renueva girando el disco, pues como es el resultado de la combinacion del fluido negativo de la mano con el positivo de la máquina, tiende esta, á cada chispa, á recobrar el estado neutro, pero en el acto mismo la electriza de nuevo la influencia del disco.

596. **Cuidados que hay que tener en las máquinas eléctricas; almohadillas de Steiner.** — Para dar á una máquina eléctrica toda la actividad de que es susceptible, hay que secar con cuidado los pies, el platillo y las almohadillas, con un calor moderado y con un trapo caliente.

Merecen una atencion particular las almohadillas, así por su disposicion, como por su buen estado de conservacion. Las de mas uso son de cuero delgado, rellenas de crin y cubiertas de *oro musivo*, que es una materia pulverulenta, compuesta de bisulfuro de estaño, y que aumenta mucho el desarrollo de la electricidad, probablemente por

---

[1] A causa de neutralizarse con la positiva del depósito comun. *(N de J. P.)*

una descomposicion química, como lo indica el olor sulfuroso que despiden las almohadillas durante el rozamiento.

De algunos años á esta parte, M. Perrault, llamado Steiner, en Francfort-sur-le-Mein, ha vuelto á poner en uso unos antiguos frotadores, ideados, al parecer, por Van-Marum, en 1788, y que dan á las máquinas una tension eléctrica muy superior á la que se obtiene con las almohadillas de crin. Estos frotadores, representados en la figura anterior, consisten en una placa de madera bien plana y oprimida contra el platillo por un doble resorte, ó mejor aun por dos tornillos de presion que se regulan á voluntad. Dicha tabla de madera está cubierta, en toda su estension, de cuatro pedazos de un tejido de lana tan grueso como el de las mantas de Palencia. Sobre el primer pedazo se aplica una hoja de papel de estaño, que se repliega por debajo para pasar por entre el primero y segundo pedazo del tejido, luego entre el segundo y tercero, y así sucesivamente hasta llegar á la tablita, donde se pone en comunicacion con un papel dorado pegado detrás de la misma, y comunicando con el suelo por papel de estaño y cadenas metálicas, fijas á los pies que sostienen á las almohadillas.

Entendido esto, se recubre el todo de una tela clara, de algodon, sujeta á los contornos de la tablita. Estando ligeramente impregnada de sebo esta tela de algodon, se la recubre de una amalgama de estaño, zinc, bismuto y mercurio, amalgama de la cual M. Steiner no ha dado las proporciones. Sobre la tela de algodon se aplica en seguida un pedazo de tafetan grueso, cosido al algodon por arriba, abajo y lateralmente, pero solo por un lado; por el otro se prolonga en sentido de la rotacion del platillo, 6 centímetros próximamente, de modo que lo recubra parcialmente. Finalmente, se pone sobre el tafetan una capita de sebo, luego una capa de la misma amalgama que se puso sobre el algodon. Esta capa de amalgama, aplicada sobre el tafetan, es la que frota contra el platillo y lo electriza positivamente, mientras que la amalgama, electrizándose negativamente, trasmite su electricidad á la amalgama del algodon, luego al papel de estaño, y por último, al depósito comun.

M. Steiner ha observado que el color del tafetan no deja de tener influencia sobre el desarrollo de electricidad. El tafetan amarillo es el que mejor la desarrolla; sigue despues el verde, el azul, el rojo y el blanco; en seguida el pardo y el violeta, y por último, el negro, que no produce nada.

Con los frotadores que acabamos de describir, se obtiene, sobre todo en tiempo seco, un desarrollo notable de electricidad. Con máquinas cuyos platillos midan 80 centímetros de diámetro, parten constantemente grandes chispas desde las almohadillas á los peines, siguiendo el contorno del platillo, lo cual proviene probablemente de la arista viva de este y del oro musivo que queda adherido á la misma arista. El único inconveniente de los frotadores que acabamos de describir, consiste en que se engrasa muy pronto el tafetan, de modo que hay que renovarlo, porque, de lo contrario, se debilita muchísimo el efecto.

A fin de evitar la pérdida de electricidad del platillo por el aire, se fijan á veces en los pies de madera dos cuartos de círculo de tafetan engomado, que envuelven al vidrio, sin tocarle, el uno de *a* á P, y el otro en la parte opuesta. No los representamos en nuestro dibujo.

La máquina eléctrica de Ramsden (fig. 410) da necesariamente electricidad positiva, pero puede conseguirse tambien que la dé negativa. Aíslanse al efecto los cuatro pies de la mesa sobre gruesos puntos de apoyo de vidrio ó de resina, y se pone luego en comunicacion el conductor C con el suelo. Haciendo girar en seguida el platillo, se pierde en el suelo la electricidad positiva del conductor, mientras que la negativa de las almohadillas se difunde por los pies que sostienen al platillo, y por la mesa. Aproximando entonces á estos la mano, y sobre todo á las tiras de estaño O, se sacan chispas, que con una gran máquina causan una impresion mucho mas viva que la de la chispa de los conductores.

597. Tension máxima; electrómetro de cuadrante. — Aun cuando se observen todas las condiciones que acabamos de hacer conocer, tiene un límite del que no puede pasar la tension de la máquina eléctrica, sea cual fuere la velocidad de rotacion del platillo y el tiempo que se le haga girar. Este límite, que tiene lugar cuando la suma de las pérdidas es igual á la produccion, depende de tres causas, que son: 1.ª la pérdida por el aire y por el vapor de agua que este contiene, la cual es proporcional á la tension (587); 2.ª la pérdida por los pies, y 3.ª la recomposicion de las dos electricidades de las almohadillas y del vidrio.

Fig. 411.

Ya hemos estudiado las dos primeras causas (587), y para darse cuenta de la tercera, basta observar que, creciendo la tension eléctrica con la velocidad de rotacion, llega un momento en que supera á la resistencia que ofrece la no conductibilidad del vidrio. A partir desde este instante, se recompone parte de las dos electricidades desarrolladas en el vidrio y en las almohadillas, y permanece constante la tension; de modo que siempre acaba por ser independiente de la velocidad de rotacion.

Mídese la tension de la electricidad en las máquinas eléctricas con el *electrómetro de cuadrante* ó *electrómetro de Henley*, que es un pendulito eléctrico compuesto de un vástago de madera que lleva un cuadrante de marfil *c* (fig. 411), el cual tiene en su centro un pequeño eje, á cuyo alrededor gira una aguja de ballena, terminada en una esfera de médula de saúco *a*. Atornillado el instrumento en uno de los conductores, segun se ve en el dibujo, á medida que se carga la máquina, diverge la aguja, que cesa de subir luego que se llega al máximum de tension. Si no se dan ya entonces mas vueltas al platillo, cae rápidamente la aguja en el aire húmedo, pero con lentitud en el seco, lo cual revela que es débil la pérdida.

598. **Conductores secundarios.** — Llámanse *conductores secundarios* unos gruesos cilindros de cobre, de hoja de lata ó de madera cubierta de estaño, que se aislan por medio de pies de vidrio, ó suspendiéndolos de cordones de seda, y que se ponen en seguida en comunicacion con los conductores C de la máquina eléctrica (fig. 410). Estando así aumentada la superficie sobre la cual se acumula la electricidad, no crece la tension; pero sí la cantidad de fluido que se recoge en igualdad de tension proporcionalmente á la superficie. En efecto, cuando se descarga entonces la máquina, haciéndola comunicar con el suelo, se sacan de ella chispas mucho mas intensas, y que producen un vivísimo resplandor en el aire.

599. **Máquina eléctrica de Nairne.** — Con la máquina eléctrica descrita solo se recoge electricidad positiva; pero Nairne ideó, en

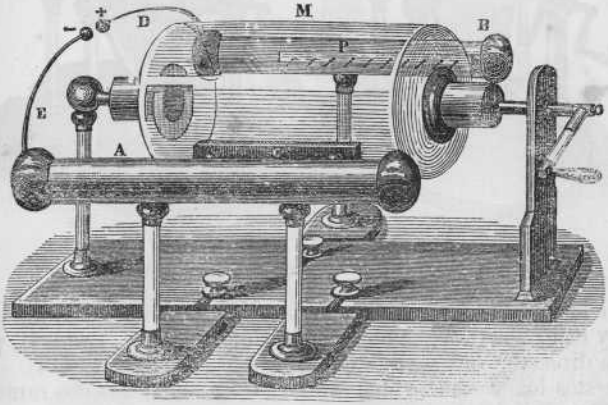


Fig. 412 (a=70).

Inglaterra, con objeto de electrizar á los enfermos, otra que lleva su nombre, y por medio de la cual se recogen á la vez las dos electricidades. Esta máquina (fig. 412) se compone de dos conductores aislados, y que no comunican entre sí; lleva el uno un frotador C de cuero relleno de crin, y el otro un peine P con muchas puntas, y entre los dos conductores hay un cilindro de vidrio M que se hace girar con un manubrio, tocando por un lado con el frotador, y pasando por el otro muy cerca de las puntas.

Cuando da vueltas el cilindro, se electrizan negativamente el frotador C y el conductor A, y positivamente el vidrio; y como pasa este rasando las puntas del conductor B, descompone su fluido natural, atrae el negativo y se queda B electrizado con el positivo. Dos varillas curvas D y E terminan por dos esferas de cobre bastante aproximadas para que parta constantemente de ellas una série de chispas que provienen de la recomposicion de las dos electricidades de los conductores.

600. **Máquina de Van-Marum.** — Van-Marum construyó una máquina eléctrica, por medio de la cual se obtiene á voluntad cualquiera de las dos electricidades. Esta máquina (fig. 413 y 414) se compone de una rueda de vidrio P, que gira entre cuatro almohadillas *c*, fijas en unas esferas de cobre aisladas sobre pies de vidrio. Delante de la rueda hay un arco de cobre *a*, de dos ramas, sostenido por el pie que lleva el árbol de la rueda, y dispuesto en la posicion vertical (fig. 413), ó en la horizontal (fig. 414). Por último, en el otro lado

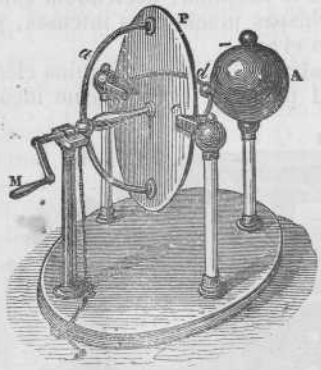


Fig. 413.

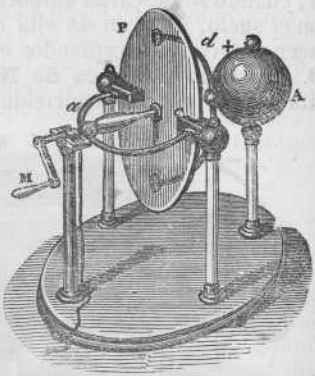


Fig. 414.

de la rueda hay una gran esfera de laton A, aislada sobre un pie de vidrio, y con un arco *d*, semejante al primero, y que, como él, puede tomar la direccion horizontal (fig. 413), ó la vertical (fig. 414).

Dispuestos los arcos *a* y *d* como en la fig. 413, las dos ramas del último tocan las almohadillas, pero las del primero se acercan mucho á la rueda de vidrio sin tocarla. De consiguiente, si por medio del manubrio M se hace girar la rueda, las almohadillas que se electrizan negativamente, ceden su electricidad al arco *d* y á la esfera A, que se encuentra entonces cargada de electricidad negativa; pues la positiva del platillo P obra por influencia sobre el arco *a*, y atrae del suelo fluido negativo que la neutraliza.

Por el contrario, si las ramas *a* y *d* están dispuestas como en la figura 414, comunicando entonces las almohadillas con el suelo por el arco *a*, pierden toda su electricidad, mientras que la rueda que posee fluido positivo y que obra por influencia sobre el arco *d* y la esfera A, atrae la electricidad negativa de estos, quedándose en tal caso con la positiva la esfera A.

601 **Máquina hidro-eléctrica de Armstrong.** — La *máquina hidro-eléctrica* desarrolla electricidad, merced al desprendimiento de vapor acuoso, por pequeños orificios. Inventóla el físico inglés M. Armstrong, á consecuencia del descubrimiento de un nuevo hecho observado en 1840, cerca de Newcastle, en una caldera de má-

quina de vapor. Habiéndose soltado la válvula de seguridad, iba el fogonero á coger la palanca de la válvula con una mano, teniendo la otra cerca de la columna de vapor de agua, cuando esperimentó en el acto mismo una fuerte conmocion, y percibió una viva chispa entre la palanca y su mano.

Informado de este fenómeno, M. Armstrong lo reprodujo en otras calderas, y reconoció que el vapor desprendido estaba cargado de electricidad positiva. Haciendo esperimentos en una locomotora que

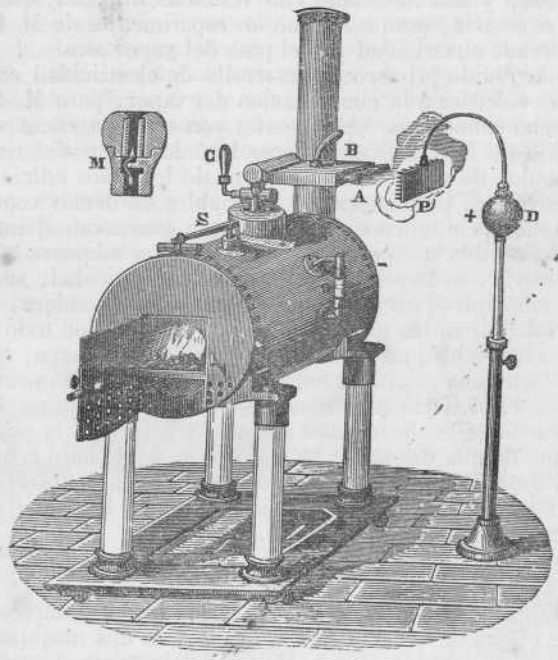


Fig. 415 (a = 2m).

habia aislado, observó que se electrizaba negativamente cuando se sustraia por puntas metálicas, al vapor que se escapaba á la atmósfera, su electricidad positiva, y así obtuvo chispas muy considerables. Entonces fué cuando hizo construir la máquina representada en la figura 415.

Es una caldera de palastro, de fogon interior, y aislada sobre cuatro pies de vidrio. Tiene cerca de $1^m,50$ de longitud y $0^m,60$ de diámetro. Un tubo de cristal O, situado verticalmente á la derecha de la caldera, y que comunica con ella por sus dos estremidades, indica el nivel del agua en el interior. Un pequeño manómetro de aire comprimido, no representado en el dibujo, marca la presion. Hay sobre la caldera una llave C, que se abre cuando ha adquirido suficiente

tension el vapor, y encima de la misma se ve un depósito B, en el cual circulan los tubos que dan paso al vapor. Estos tubos terminan en otros adicionales A, de forma particular, representados á la izquierda del grabado, en mayor escala, por la seccion M. El interior de dichos tubos adicionales es de madera dura y contorneada en sentido de la flecha, á fin de que sea mayor el rozamiento. Por fin, la caja B está llena de agua que enfria los tubos de salida. Antes de llegar el vapor á los tubos adicionales, esperimenta así un principio de condensacion, y sale mezclado con vesículas de agua, que es una condicion necesaria, porque, segun los esperimentos de M. Faraday, no se desprende electricidad por el paso del vapor *seco*.

Habíase atribuido primero el desarrollo de electricidad en la máquina hidro-eléctrica á la condensacion del vapor; pero M. Faraday, que ha hecho numerosos esperimentos con ella, ha encontrado que el desarrollo de la electricidad depende únicamente del rozamiento de los glóbulos de agua con las paredes de los tubos adicionales de salida. En efecto, permaneciendo invariables las demás condiciones, pero variando los cilindritos de madera que guarnecen el interior de los tubos A, cambia la especie de electricidad que adquiere la caldera. Si son de marfil, no hay indicio alguno de electricidad, sucediendo otro tanto si se introduce una sustancia grasa en la caldera, pues entonces se inhabilitan las guarniciones que se usan. Con todo, solo se desprende electricidad en el caso de que sea pura el agua, quedando entonces electrizada negativamente la caldera y positivamente el vapor. Inverso es el efecto si se añade esencia de trementina, es decir, que el vapor toma la electricidad negativa y la caldera la positiva. La introduccion de una disolucion salina ó de un ácido hace cesar al instante todo desprendimiento de electricidad. Tambien observó M. Faraday efectos análogos con una corriente de aire húmedo; pero con una de seco no se nota ningun efecto.

DIVERSOS ESPERIMENTOS CON LA MAQUINA ELECTRICA.

602. **Chispa, banquillo aislador.** — Uno de los primeros fenómenos que se observan cuando se esperimenta con una máquina eléctrica, es la viva chispa que se saca de los conductores al aproximar la mano. Ya se ha visto (591) que la causa de este fenómeno es la accion por influencia que ejerce el fluido positivo de la máquina sobre el fluido neutro de la mano. Descompuesto este, la atraccion entre el fluido positivo de la máquina y el negativo de la mano acaba por vencer la resistencia del aire, y llegado este momento se recomponen los dos fluidos con ruido y luz, apareciendo entonces la chispa viva, instantánea y en zigzag, como el relámpago que precede al ruido del rayo. Esta chispa va acompañada de un pinchazo bastante intenso, sobre todo en las máquinas que son muy poderosas.

Preséntase la chispa eléctrica bajo un aspecto notable, y que sorprende á los que ven este esperimento por vez primera, cuando se la hace saltar del cuerpo humano. Colócase, al efecto, la persona que se ha de electrizar sobre un taburete de pies de vidrio, llamado *banquillo*

aislador, y así aislada, pone una mano sobre uno de los conductores de la máquina eléctrica. Como el cuerpo humano es buen conductor de la electricidad, á medida que se carga la máquina se distribuye el fluido por el cuerpo de la persona aislada, al mismo tiempo que por los conductores, de suerte que, tocando dicha persona con las manos en la cara ó en los vestidos, se sacan chispas cual de la propia máquina. Mientras no se acerca la mano á la persona aislada, no esperimenta esta conmocion alguna por electrizada que esté; solo se erizan sus cabellos y se dirigen hácia los cuerpos que se les presentan, notando además como un ligero soplo en las manos y la cara.

Se puede electrizar tambien á un sugeto aislado sobre el banquillo de pies de vidrio, frotándole con una piel de gato, pues atrae entonces al péndulo eléctrico, y se sacan de él chispas con la mano. Si la persona que frota se ha subido á otro banquillo aislador, se electrizan ambos esperimentadores, pero el uno positiva, y negativamente el otro.

El físico francés Dufay fué el primero que, en 1734, sacó una chispa del cuerpo humano.

603. **Campanario eléctrico; aparato para el granizo.** — El *campanario eléctrico* es un aparatito compuesto de tres timbres ó campanitas, suspendidos de una varilla horizontal que comunica con la máquina eléctrica (fig. 416). Las campanitas A y B penden de cadenas metálicas que establecen la comunicacion con la varilla, mientras que la campanita central cuelga de un hilo de seda que la aisla de la máquina; pero comunica con el suelo por medio de una cadena metálica. Por fin, entre el timbre del centro y los otros dos, hay dos esferitas de cobre suspendidas de hilos de seda. Ahora bien; electrizándose positivamente los timbres A y B cuando se carga la máquina, atraen las esferas de cobre, y las repelen luego despues del contacto. Encontrándose entonces estas eléctrizadas positivamente, se dirigen hácia el timbre C, el cual, aunque en comunicacion con el suelo, está cargado de electricidad negativa por efecto de la influencia de los otros dos. Inmediatamente despues del contacto, son rechazadas las esferas hácia A y B, ejecutando así un movimiento de vaiven rápido, y produciendo choques sucesivos que hacen resonar los tres timbres mientras está cargada la máquina.

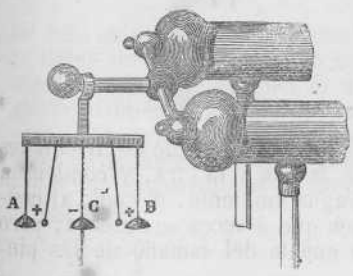


Fig. 416.

Para esplicar de qué manera puede adquirir á menudo el granizo un volúmen muy considerable antes de caer, ideó Volta un aparato fundado, como el anterior, en las atracciones y repulsiones eléctricas. Consiste en una campana de vidrio, situada sobre un platillo de laton en el cual se ponen bolitas de médula de saúco (fig. 417). Pasa á

rozamiento suave por el cuello de la campana una varilla de laton, terminada en su parte inferior con una esfera del mismo metal, y comunicando por la superior con la máquina eléctrica. Luego que esta se carga, se electriza la esfera del aparato, atrae las bolitas de saúco y las repele en seguida; de suerte que se agitan con gran velocidad, marchando del platillo á la esfera y de la esfera al platillo, y cediendo á este último la electricidad que habian recibido de la primera. Fundándose en este esperimento, admitia Volta que, cuando los granos

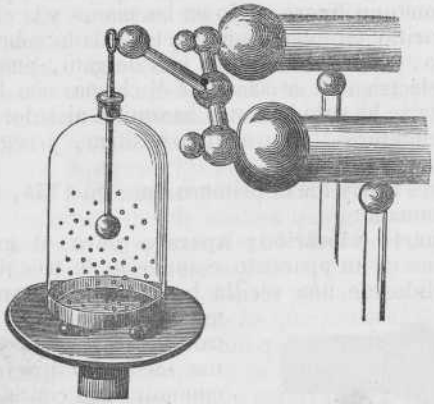


Fig. 417.

de pedrisco se encuentran entre dos nubes cargadas de electricidades contrarias, van así sucesivamente de la una á la otra, y condensan entonces en su superficie al vapor de agua ambiente, el cual, al congelarse, les hace adquirir el volúmen que á veces se observa; pero esta teoría, que no basta para darse cuenta del tamaño de las piedras, ya no es hoy dia admitida.

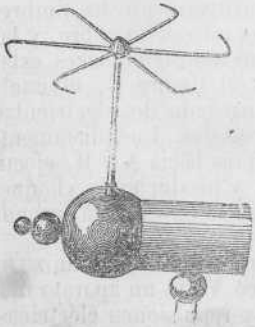


Fig. 418.

604. **Molinete eléctrico, insuflacion.** —Llámase *molinete eléctrico* un aparatito compuesto de cinco ó seis radios metálicos encorvados todos en el mismo sentido, terminados en punta, y fijos en una chapa comun, móvil sobre un eje (fig. 418). Colocado en la máquina eléctrica este aparato, luego de cargada aquella, toman los radios y la chapa un rápido movimiento de rotacion en la direccion opuesta á las puntas. Este movimiento no es un efecto de reaccion comparable con el del molinete hidráulico (85), conforme han admitido muchos físicos, sino de repulsion entre la electridad de las puntas y la que co-

municanal aire. Acumulándose el fluido eléctrico hácia las puntas, se escapa al aire, y como este se encuentra cargado de la misma electricidad que aquellas, las rechaza al mismo tiempo que es á su vez repelido por ellas. Reconócese, en efecto, que el molinete no entra en movimiento en el vacío, y si se le acerca la mano mientras gira en el aire, se siente un ligero soplo, debido á la separacion que adquiere el aire electrizado.

Cuando sale así la electricidad por una punta, es repelido con bastante fuerza el aire electrizado, para dar orígen á una corriente, que

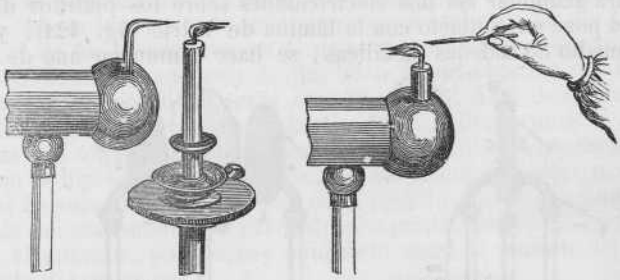


Fig. 419. Fig. 420.

no solo es sensible en la mano, sino que sopla y hasta puede apagar la llama de una vela, por lo menos si es muy poderosa la máquina eléctrica. La fig. 419 indica de qué manera se ejecuta este esperimento. Obtiénese tambien el mismo efecto, colocando la vela sobre uno de los conductores, y presentándole una punta metálica que se tiene en la mano (fig. 420). Proviene la corriente, en este último caso, del fluido contrario que se desprende de la punta por la influencia de la máquina.

CAPITULO IV.

EFECTOS PRODUCIDOS POR LA ACUMULACION DE LAS DOS ELECTRICIDADES.

605. **Electricidad disimulada, condensador.** — Desígnase con el nombre de *electricidad disimulada* ó de *electricidad latente*, el estado de neutralizacion que ofrecen los dos fluidos eléctricos cuando, colocados en presencia el uno del otro, en la superficie de dos cuerpos conductores, estan separados por una lámina delgada no conductora. Por efecto mismo de esta neutralizacion, puede llegar á ser entonces muy considerable la carga eléctrica, y esceder en mucho á la que se efectuaria en un solo cuerpo.

Los aparatos con que se acumula así la electricidad, se llaman *condensadores*. Conócense varios, fundados todos en el principio de la

electrizacion por influencia, y compuestos esencialmente de dos cuerpos conductores separados por otro que no lo es. Describirémos primero el *condensador de Æpinus*.

Consta este aparato de dos platillos circulares de laton A y C, y de una lámina de vidrio B, que los separa (fig. 422). Estos platillos, cada uno de los cuales lleva un pendulito eléctrico *a* y *b*, estan aislados sobre pies de vidrio que pueden correr por una ranura sobre una plancha de madera que sostiene todo el aparato, á fin de que sea posible acercarlos ó alejarlos á voluntad.

Para acumular las dos electricidades sobre los platillos de laton, se los pone en contacto con la lámina de vidrio (fig. 421); y luego, por medio de cadenas metálicas, se hace comunicar uno de los dos,

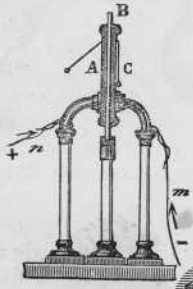


Fig. 421.

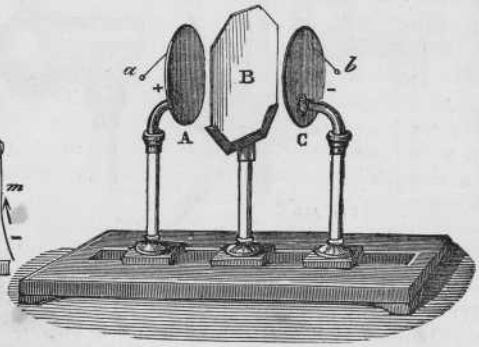


Fig. 422 (a = 51).

A, por ejemplo, con la máquina eléctrica, y el otro con el suelo. Electrízase entonces positivamente el disco A, como la máquina, y si estuviese solo, tomaria, en igualdad de superficie, la misma cantidad de electricidad, salvo la influencia de la forma; pero la presencia del disco C cambia completamente el fenómeno, de modo que él es la causa de la acumulacion de ambas electricidades. En efecto, obrando por influencia el fluido positivo del disco A, al traves del vidrio, sobre el platillo C, atrae al fluido negativo y repele al suelo el positivo. A su vez el fluido negativo del disco C reacciona sobre el positivo del A, pero solo en parte, atendido el intervalo que los separa. La tension eléctrica en el disco A no equilibra, pues, la tension de la máquina, resultando de aquí que esta da al platillo una nueva cantidad de fluido positivo, el cual obra como la primera vez sobre el disco C, y así sucesivamente hasta un límite que vamos á dar á conocer.

606. Límite de la acumulacion de la electricidad en el condensador. — Hay un límite en la acumulacion de las dos electricidades en los platillos del condensador. En efecto, si pudiese ser nulo el grosor de la lámina aisladora que los separa, es evidente que la electricidad del platillo A atraeria sobre el C una cantidad igual de

electricidad contraria; pero como jamás sucede esto, y además las atracciones eléctricas estan en razon inversa del cuadrado de la distancia (581), síguese de aquí que la cantidad de fluido negativo que se acumula en C, es menor que la del positivo de A. Por lo tanto, si representamos por 100 la carga eléctrica que tomaria el platillo A, si estuviese solo, es decir, si estuviese apartado del C, este último, en presencia de A, no puede tomar mas que una cantidad de electricidad menor que 100, por ejemplo, 98. En esta hipótesis, si 100 de fluido positivo en A neutralizan 98 de negativo en C, 1 de fluido positivo en el primero no neutraliza mas que $^{98}/_{100}$ del negativo del segundo. Ahora bien, siendo todo simétrico á ambos lados de la lámina B, 1 de fluido negativo en C debe neutralizar igualmente $^{98}/_{100}$ de positivo en A. De consiguiente, los 98 de fluido negativo que estan en el platillo C, neutralizan en el otro $^{98}/_{100} \times 98$, ó 96 de fluido positivo. La cantidad de este no neutralizado en A llega, pues, á 4, es decir, las $^{4}/_{100}$ ó $^{1}/_{25}$ de la carga total de dicho platillo. Cuando sea la carga, en la hipótesis citada, 25 veces la del manantial eléctrico, en igualdad de superficies, la tension en el platillo A será precisamente igual á la del manantial, y á partir de este punto, no puede cargarse ya mas el aparato, porque hay equilibrio entre la tension del platillo A y la del manantial.

La cantidad de electricidad que puede acumularse en cada cara del condensador es, en igualdad de circunstancias, proporcional á la tension del manantial y á la superficie de los platillos, pero decrece cuando aumenta el espesor de la lámina aisladora. De consiguiente, cuanto mas delgada sea esta lámina, tanto mas podrá aumentar la carga del condensador. Con todo, hay un límite en el espesor de esta lámina, porque si es demasiado delgada, no puede resistir la tension con que procuran reunirse los dos fluidos disimulados, y se agujerea.

607. Descarga lenta y descarga instantánea. — Cuando está cargado el condensador, es decir, cuando se hallan acumuladas en las dos caras las electricidades contrarias, se interrumpen las comunicaciones con la máquina eléctrica y con el suelo, quitando las dos cadenas metálicas. Por lo dicho mas arriba, solo parte de la electricidad del platillo A está entonces disimulada, mientras que lo está por completo la del C. En efecto, el péndulo A es el único que diverge (fig. 421), encontrándose vertical el C; pero si se alejan los platillos (fig. 422), divergen en tal caso ambos péndulos, porque no se disimulan ya las dos electricidades.

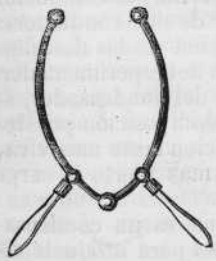


Fig. 423 (a=41).

Estando en contacto los platillos con la lámina aisladora (fig. 421), y separadas las cadenas, se puede descargar el condensador, esto es, volverlo al estado neutro, de dos modos, á saber: por medio de una descarga lenta, ó de una instantánea. Para descargarlo lentamente, se toca primero con el dedo

el platillo A, ó sea el que contiene un esceso de electricidad; todo el fluido positivo no disimulado por el negativo del disco C se marcha al suelo, y como el disco C solo disimula una cantidad de electricidad menor que la suya, él es quien, despues del contacto, posee carga mas considerable; y por lo mismo se ve que cae el péndulo A divergiendo el C. Si actualmente se toca el disco C, vuelve á caer su péndulo, mientras que diverge de nuevo el A, y así sucesivamente, como se continúe tocando de un modo alternativo los dos discos. La descarga se efectúa así con muchísima lentitud, y si el aire está seco, no es completa hasta despues de algunas horas. Si se tocase primero el platillo C, que es el menos electrizado, no se le quitaria electricidad, pues toda la que posee está disimulada por el disco A.

Cuando se desea descargar instantáneamente el condensador, se hacen comunicar los dos platillos por medio del *escitador*, que tal es el nombre que recibe un sistema de dos arcos de laton, terminados por esferas del mismo metal y reunidos por una charnela. Cuando estos arcos llevan mangos aisladores de vidrio (fig. 423), se designa el aparato con el nombre de *escitador de mangos de vidrio;* y si faltan los mangos (fig. 426), se le llama *escitador simple*. Para hacer uso del escitador, se aplica una de sus esferas sobre uno de los platillos del condensador, y se aproxima la otra al segundo platillo, observándose entonces que salta inmediatamente una fuerte chispa, que proviene de la recomposicion de las electricidades contrarias acumuladas en las dos caras del condensador. Con todo, no es completa la recomposicion, porque aun pueden ir sacándose una segunda, una tercera y aun mayor número de chispas, pero cada vez mas y mas débiles. Dedúcese de aquí que, cuando comunican entre sí los dos platillos, no pueden reunirse en totalidad las dos electricidades. Pronto se verá (610) que este fenómeno depende de que los dos fluidos acumulados, en virtud de una accion de influencia, se adhieren á las caras de la lámina de vidrio que los separa, atendida su accion recíproca. Cuando se descarga el condensador con el escitador, aunque sea el simple, cogido con la mano, no se esperimenta conmocion alguna, porque el fluido eléctrico elige siempre de dos conductores el mejor, y por lo tanto, se opera la recomposicion de las dos electricidades por el arco metálico y no por el cuerpo del esperimentador. Pero si tocando con una mano una de las caras del condensador, se acerca la otra á la segunda cara, se opera la recomposicion por los brazos y el cuerpo, esperimentándose una conmocion tanto mas viva, cuanto mayor es la superficie del condensador y mas fuerte la carga eléctrica.

608. **Cuadro fulminante.** — El *cuadro fulminante* es un condensador mas sencillo que el de Æpinus, y mas propio para producir vivas chispas y fuertes conmociones. Se compone de una lámina de vidrio rodeada por un marco de madera; en sus dos caras estan pegadas dos hojas de estaño, enfrente la una de la otra, dejando entre sus bordes y el marco un intervalo de unos seis centímetros. No comunican entre sí las dos hojas de estaño, pero sí una de ellas con el

marco por medio de una tira de estaño que se repliega en A (fig. 424), de modo que toque el pulgar de la persona que tiene en la mano el aparato. Para cargar el cuadro fulminante, se presenta á la máquina eléctrica la hoja de estaño aislada, es decir, la que no comunica con el marco de madera, y como la otra está en comunicacion con el suelo por la mano, se comportan absolutamente las dos como los platillos del condensador de Æpinus, acumulándose en ambas grandes cantidades de electricidades contrarias.

Descárgase este aparato, como el condensador (607), con el escitador simple; pues teniendo aquel con la mano, se aplica una de las esferas de este en la estremidad A de la tira de estaño que pertenece

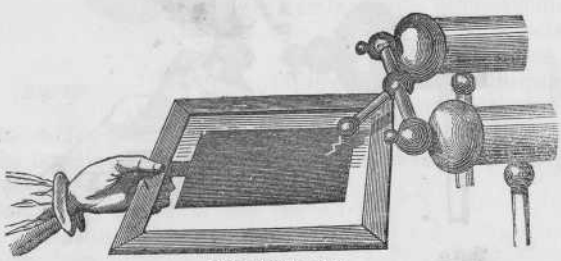


Fig. 424 (l = 42).

á la hoja inferior, y luego, encorvando el escitador, se acerca la otra esfera á la hoja superior. Salta entonces con detonacion una viva chispa, que es el resultado de la recomposicion de las dos electricidades, pero sin que el esperimentador sienta la menor conmocion, porque se opera la recomposicion por completo en el arco metálico. Si, al contrario, teniendo siempre el aparato del mismo modo, se toca primero la hoja aislada, se recibe una conmocion muy fuerte, pues se efectúa la recomposicion por los brazos y el cuerpo.

609. **Botella de Leyden.** — La *botella de Leyden*, así llamada del nombre de la ciudad en que fué inventada, debe su orígen al holandés Musschenbroeck (aunque dicen otros que á su discípulo Cuneus), quien la descubrió por casualidad en 1746. Habiendo fijado una varilla metálica en el tapon de una botella llena de agua, la presentó á la máquina eléctrica con la idea de electrizar el líquido. La mano que sostenia la botella hacia veces de uno de los platillos del condensador, mientras que el agua interior representaba el otro; y de consiguiente se acumuló fluido positivo en la pared interior, y negativo en la porcion de la esterior en contacto con la mano. En efecto, habiendo acercado una mano á la varilla metálica, mientras que con la otra continuaba teniendo cogida la botella, recibió Musschenbroeck en las brazos y en el pecho una conmocion tan fuerte, que poco despues escribia á Réaumur que no repetiria el esperimento aun cuando le regalaran todo el reino de Francia.

Entre tanto, conocido el esperimento, se apresuraron á repetirlo en todas partes los físicos; y el abate Nollet, profesor de física en Paris,

fué el primero que reemplazó el agua de la botella por pedazos de papel de estaño, de cobre, de plata ó de oro. Ya un físico inglés habia observado que, cubriendo el esterior de la botella con una lámina de estaño, eran mucho mas vivas las conmociones. La botella de Leyden fué tomando poco á poco la forma que hoy se le da; pero aun se ignoraba su teoría, hasta que Franklin la espuso, haciendo ver que la botella, lo mismo que el aparato anterior, era un verdadero condensador.

Representada la botella en la fig. 425, en el momento de cargarla, se compone de un frasco de vidrio delgado, cuyas dimensiones varían

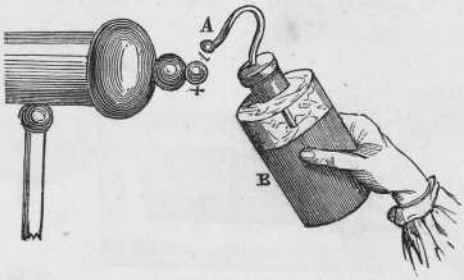


Fig. 425 (a = 25).

segun la cantidad de fluido que se desea acumular. Todo su interior está lleno de hojas de cobre ó de panes de oro. En la pared esterior se halla pegada una lámina de estaño B que cubre tambien el fondo, pero que debe dejar á descubierto el vidrio hasta una distancia bastante grande del cuello. Adáptase á la boca un tapon de corcho, por el cual pasa, á frotamiento duro, una varilla de cobre encorvada en forma de gancho y terminada en un boton A; en el interior comunica esta varilla con las hojas de oro ó de cobre que llenan la botella, y que se designan con el nombre de *armadura interior*, en contraposicion con el de *armadura esterior* que recibe la lámina de estaño B.

Cárgase la botella de Leyden, como el condensador de Æpinus y el cuadro fulminante, haciendo comunicar una de las armaduras con el suelo y la otra con un manantial eléctrico; para lo cual se la coge con la mano por la armadura esterior, y se presenta la interior á la máquina eléctrica, pues se acumula entonces el fluido positivo en los panes de oro, y el negativo en el estaño. Lo contrario sucederia si, teniendo la botella por el gancho, se presentase la armadura esterior á la máquina. Por lo demás, la teoría de la botella de Leyden es exactamente la misma que la del condensador; y así, todo cuanto se ha dicho de este (606), se aplica á la botella, sustituyendo sus dos armaduras los platillos A y C de la figura 422.

Se descarga lenta ó instantáneamente de la misma manera que el condensador. Para descargarla instantáneamente, se la coge con la mano (fig. 426), y se ponen en comunicacion las dos armaduras por medio del escitador simple, cuidando de tocar *primero* la armadura

que se coge con la mano, pues de lo contrario se recibe la conmocion. Para descargarla lentamente, se la aisla sobre una torta resinosa, y se toca alternativamente con la mano ó con una varilla metálica la armadura interior, luego la esterior, y así sucesivamente, sacando en cada contacto una chispita.

Fig. 426.

Para que sea mas sensible la descarga lenta, se dispone el aparato (fig. 427) de modo que lleve la varilla un pequeño timbre, y cerca de la botella hay otra varilla metálica con otro timbre semejante al primero, y con un péndulo eléctrico formado por una esfera de cobre suspendida de un hilo de seda. Como no está fija la botella en la tablita *m*, se la coge con la mano por la armadura esterior, se la carga en la máquina eléctrica, y se la coloca de nuevo sobre la tablita. Como contiene entonces la armadura interior un esceso de electricidad positiva no neutralizada, es atraido el péndulo y va á chocar contra el timbre de la botella; repelido al instante, va á dar contra el segundo timbre y le cede su electricidad; pero vuelto al estado neutro, es atraido de nuevo por el timbre primero, y así sucesivamente durante muchas horas, si el aire está seco y es algo grande la botella.

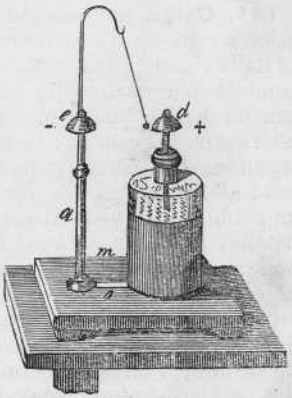


Fig. 427.

610. Botella de armaduras movibles. — La *botella de armaduras movibles* sirve para demostrar que en la botella de Leyden, y en todos los condensadores en general, no residen únicamente en las armaduras las dos electricidades disimuladas, sino principalmente en la cara del vidrio que las separa. Esta botella, cuyas diferentes piezas pueden separarse, se compone de una gran vasija cónica de vidrio B (figura 428), de una armadura esterior C de hoja de lata, y de otra interior D de la misma materia. Estas piezas, introducidas las unas en las otras, como se ve en la figura A, constituyen una botella de Leyden completa. Despues de haberla electrizado, como la botella ordinaria, y aislado sobre una torta resinosa (fig. A), se quita con la mano la armadura interior, luego el vaso de vidrio, y por fin la armadura esterior. Es evidente que recobran así el estado natural las dos armaduras; sin embargo, si volviendo á poner la armadura C sobre la resina, se coloca dentro el vaso de vidrio y en este la armadura D, se

reconstituye una botella de Leyden que da una chispa casi tan grande como si no se hubiesen descargado las dos armaduras. Dedúcese de todo esto que, obedeciendo las dos electricidades disimuladas á su

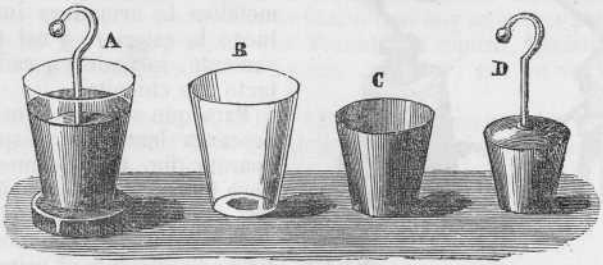


Fig. 428 (a = 35).

recíproca atraccion, abandonan en gran parte las dos armaduras para dirigirse á las dos caras del vidrio.

611. **Carga por cascada.** — Llámase *carga por cascada* la carga eléctrica que se trasmite sucesivamente de una botella á otra, cuando se hallan dispuestas en el órden siguiente: la primera se halla suspendida por su gancho del conductor de la máquina eléctrica; el gancho de la segunda pasa por un anillo metálico fijo en la armadura esterior de la primera; la tercera se adapta de la misma manera á la segunda, y así sucesivamente, en número de cinco ó seis, comunicando la armadura esterior de la última con el suelo por medio de un alambre. En vista de esta disposicion, apenas se carga la primera botella, reacciona sobre el fluido neutro de la segunda y lo descompone; efectúa esta lo mismo con el fluido neutro de la tercera, y así en las demás; de suerte que todas estas botellas adquieren en sus armaduras interiores el mismo fluido que en las máquinas, y en las esteriores el fluido contrario. Una vez cargadas estas botellas, se las puede descargar sucesivamente una tras otra, por medio del escitador, ó bien simultáneamente, haciendo comunicar la armadura interior de la primera con la esterior de la última.

612. **Bocales y baterías eléctricas.** — Un *bocal* es una gran botella de Leyden, de cuello bastante ancho para que pueda pegarse en su pared interna una hoja de estaño que sirve de armadura interior. La varilla que atraviesa al tapon es recta, y termina inferiormente en una cadena metálica que la pone en comunicacion con la hoja de estaño que constituye la armadura interior.

Una *batería* es una reunion de muchos bocales colocados en una caja de madera (fig. 429), y que comunican entre sí por medio de varillas metálicas, y esteriormente por una hoja de estaño que tapiza el fondo de la caja y se encuentra en contacto con las armaduras esteriores de los bocales. Esta misma hoja de estaño se prolonga lateralmente hasta encontrar las dos asas metálicas de la caja. Cárgase la

batería (fig. 429), haciendo comunicar las armaduras interiores con la máquina eléctrica y las esteriores con el suelo por la madera misma de la caja y de la mesa en que descansa la batería, ó mejor, por una cadena metálica fija á una de las asas de la caja. Un electrómetro de cuadrante, unido á uno de los bocales, sirve para indicar la carga de la batería. A pesar de la gran cantidad de electricidad acumulada

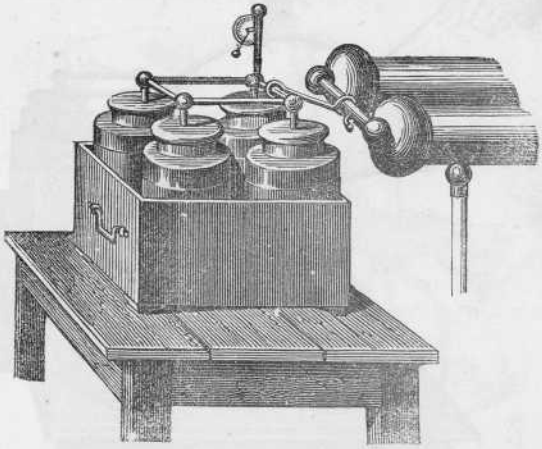


Fig. 429.

en el aparato, diverge con mucha lentitud y solo un corto número de grados el electrómetro; lo cual no debe sorprender, porque depende la divergencia de la diferencia de tension entre las dos armaduras. Por punto general, suele haber cuatro, seis ú ocho bocales; pero cuantos mas hay, mas tiempo se tarda en cargarlas, si bien son mas poderosos sus efectos.

Cuando se quiere descargar una batería, se hacen comunicar entre sí las dos armaduras por medio del escitador, cuidando de tocar primero la armadura esterna. Debe recurrirse al escitador con mangos de vidrio, y tomar todas las debidas precauciones para evitar la conmocion, porque una fuerte batería puede ocasionar graves accidentes, y hasta la muerte.

Si se desea hacer pasar la chispa por un animal ó por cualquiera objeto, se hace uso del *escitador universal* dibujado en primer término de la fig. 430. Consiste en una cajita de madera con dos columnas de vidrio, en las cuales se fijan, por medio de charnelas, unas varillas de cobre. Entre estas columnas se ve un sosten de madera que lleva un platillo para colocar el objeto ó el animal que va á servir para el esperimento. Dirigidas hácia este objeto las varillas de cobre, se hace comunicar una de ellas con la armadura esterior de la batería, y la otra con una de las esferas del escitador de mangos de vidrio. Aproxi-

mando entonces la otra esfera de este á la armadura interior, salta una chispa entre las dos, y otra entre las ramas del escitador univer-

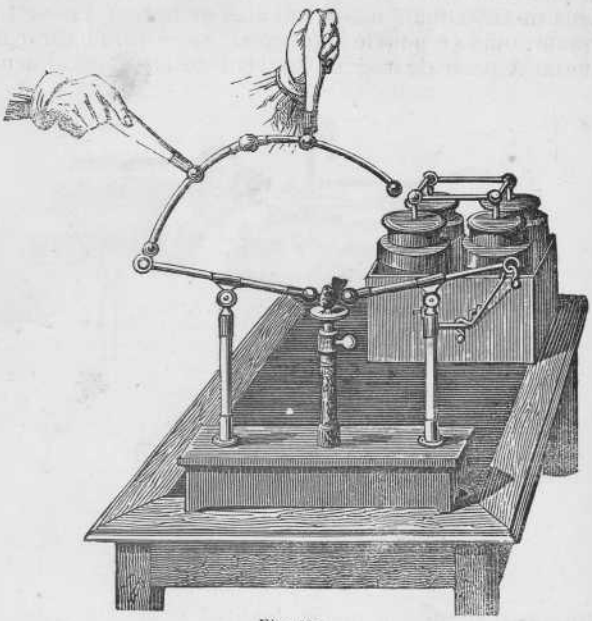


Fig. 430.

sal, siendo esta última la que hiere al objeto ú animal colocado en el platillo.

613. **Electrómetro condensador de Volta.** — El *electrómetro condensador*, inventado por Volta, no es mas que el electrómetro de panes de oro descrito ya (593), y hecho mas sensible por la adicion de dos discos condensadores. La varilla de laton que lleva los panes de oro no termina superiormente en una esfera de laton, sino en un disco del mismo metal, cubierto por una lámina de tafetan engomado A (fig. 431), algo mayor que el disco, y que sirve para aislarle de un segundo B semejante, pero con mango de vidrio, que se aplica encima.

Para hacer sensible por medio de este electrómetro cantidades muy remisas de electricidad, se hace comunicar el cuerpo electrizado con uno de los platillos, llamado por esto *platillo colector*, y el otro comunica con el suelo tocando con el dedo ligeramente mojado (fig. 432). Difundiéndose entonces la electricidad del cuerpo por el platillo colector, obra, al traves del tafetan, sobre el segundo platillo y la mano, para rechazar al suelo la electricidad del mismo nombre y atraer la contraria. Se acumulan, pues, los dos fluidos de ambos platillos, ab-

solutamente como en el condensador de Æpinus (605), pero sin divergencia de los panes de oro, pues se hallan disimuladas las dos electricidades. Cargado así el aparato, se retira primero el dedo, luego el manantial eléctrico, sin que se observe aun divergencia alguna; pero al quitar el platillo superior (fig. 431), cesa la disimulacion, y distribuyéndose la electricidad del segundo platillo por igual en la varilla y en los panes de oro, divergen estos considerablemente.

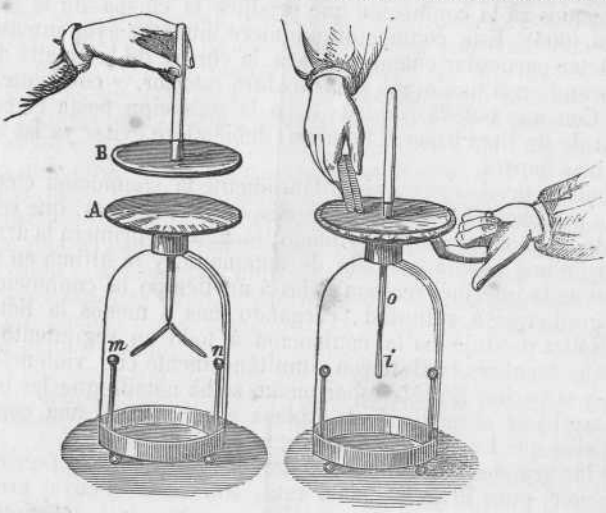


Fig. 431. Fig. 432 (a = 38).

Auméntase la divergencia adaptando al pie del aparato dos varillas de cobre terminadas por esferas del mismo metal *m* y *n*, porque, al electrizarse estas por la influencia de los panes de oro, reaccionan sobre ellos. Crece tambien la sensibilidad del aparato, suprimiendo la hoja de tafetan y separando los dos platillos tan solo por una capa muy ténue de barniz de goma laca que se estiende encima. Por fin, en vez de tomar como platillo colector el superior, segun lo indica nuestro grabado, es preferible elegir el inferior, porque siempre se carga mas el que comunica con el manantial. Lo mismo que todos los aparatos eléctricos, hay que secar con cuidado, y aun calentar, el electrómetro condensador, antes de ponerse á esperimentar con él.

DIVERSOS EFECTOS DE LA ELECTRICIDAD ESTATICA.

614. **Efectos fisiológicos.** — Los efectos de la electricidad estática se dividen en fisiológicos, luminosos, caloríficos, mecánicos y químicos.

Los *efectos fisiológicos* son aquellos que produce la electricidad en los seres vivos, ó tambien recientemente privados de vida. Consisten,

en los primeros, en una violenta escitacion que ejerce el fluido eléctrico sobre la sensibilidad y la contractilidad de los tejidos orgánicos que atraviesa; y en los últimos, en contracciones musculares bruscas que simulan el retorno á la vida. Por de pronto, solo hablarémos de las acciones fisiológicas que ejerce la electricidad estática cuando es grande su tension, dejando para mas adelante las de la electricidad dinámica.

Conocemos ya la conmocion que produce la chispa de la máquina eléctrica (603). Esta conmocion adquiere mucha mayor intensidad y un carácter particular cuando se saca la chispa de la botella de Leyden, tocando con una mano su armadura esterior, y con la otra la interior. Con una botella pequeña llega la sensacion hasta el codo, y con una de un litro hasta el hombro; debiéndose evitar ya las conmociones mas fuertes.

La botella puede causar simultáneamente la conmocion eléctrica á muchas personas, bastando que *formen cadena*, esto es, que se den la mano de un modo contínuo; y luego, tocando la primera la armadura esterior de una botella cargada de antemano, y la última en seguida el boton de la interior, reciben todas á un tiempo la conmocion, que puede graduarse á voluntad, cargando mas ó menos la botella. El abate Nollet produjo así la conmocion á todo un regimiento, y mil quinientos hombres la sintieron simultáneamente con violencia en los brazos y el pecho. En este esperimento se ha notado que las personas que estan hácia el medio de la cadena esperimentan una conmocion menos viva que las que estan próximas á la botella.

Con las grandes botellas y las baterías no se recibe impunemente la conmocion, pues Priestley mató ratas con baterías cuyas armaduras tenian cada una una superficie total de sesenta y tres decímetros cuadrados, y gatos con otras de tres y medio metros cuadrados.

615. **Efectos luminosos.** — La recomposicion de las dos electricidades á gran tension se efectúan siempre con un desprendimiento mas ó menos intenso de luz; y tal es lo que sucede cuando se sacan chispas de la máquina eléctrica, de la botella de Leyden y de las baterías. El brillo de la luz eléctrica es tanto mas vivo, cuanto mejores conductores son los cuerpos entre los cuales se verifica la esplosion; y su color varía, no solo con la naturaleza de estos cuerpos, sino tambien con la atmósfera ambiente y la presion.

La chispa que estalla entre dos pedazos de carbon es amarilla; verde entre dos esferas de cobre plateadas; y carmesí si son de madera ó de marfil. En el aire, á la presion ordinaria, es blanca y brillante la luz eléctrica; rojiza en un aire enrarecido, y violácea en el vacío, lo cual proviene de que, cuanto mas débil es la resistencia que se opone á la recomposicion de las dos electricidades, tanta menos tension adquiere la electricidad. En el oxígeno es blanca la chispa, lo mismo que en el aire, rojiza en el hidrógeno, verde en el vapor de mercurio, verde en el ácido carbónico, y en el nitrógeno azul ó púrpura y acompañada de un ruido particular. Crece, en general, el brillo de la chispa con la tension. Habiendo hecho ver M. Fusinieri que

sus placas. Esta pila produce, bajo un pequeño volúmen, efectos enérgicos, pero poco constantes.

En las diferentes pilas que acabamos de describir, se da á las placas de zinc mas espesor que á las de cobre, porque el ácido sulfúrico no ataca mas que al primer metal.

* 631. **Pilas secas.** — Las *pilas secas* son verdaderas pilas de columna, en las cuales las rodajas aciduladas estan sustituidas por una sustancia sólida higrométrica. Se conocen muchas; pero en la de Zamboni, que es la mas usada, los cuerpos electro-motores son el estaño ó la plata y el bióxido de manganeso. Para construir esta pila, se toma un pliego de papel plateado ó estañado por una de sus caras, y en la otra se fija por medio de un cuerpo graso bióxido de manganeso bien lavado. Despues de superpuestos siete ú ocho pliegos de estos, se los corta con un sacabocados, en discos de unos 25 milímetros de diámetro, y se superponen estos discos en el mismo órden, de modo que la plata ó el estaño de cada disco esté en contacto con la manganesa del siguiente. Apilados así de 1200 á 1800 pares, termina la pila en cada estremo en un disco de cobre, y se aprieta con fuerza todo el sistema con hilos de seda, á fin de que se establezcan mejor los contactos. Entonces corresponde el polo positivo al disco de cobre en contacto con el manganeso, y al del otro estremo, es decir, al polo plata ó estaño, el polo negativo.

Las pilas secas son notables por la duracion de su accion, la cual puede prolongarse muchos años; pero su energía depende mucho de la temperatura y del estado higrométrico del aire. Es mayor en verano que en invierno, y la accion de un fuerte calor puede revivarla cuando parece que ya está agotada. Una pila de Zamboni, de 2000 pares, no da conmocion ni chispa, pero puede cargar la botella de Leyden y los demas condensadores; mas para esto se requiere cierto tiempo, porque la electricidad se mueve con mucha lentitud en su interior. Atribúyese generalmente el desarrollo de la electricidad en estas pilas á una accion química que depende de la descomposicion de las materias orgánicas que impregnan al papel.

* 632. **Electrómetro de Bohnenberger.** — Bohnenberger ha construido un electrómetro de pila seca súmamente sensible. Es un electrómetro condensador (fig. 432), cuya varilla no lleva mas que una sola lámina de oro suspendida á igual distancia de los polos contrarios de dos pilas secas, situadas verticalmente en el interior de la campana sobre el platillo que sirve de base al aparato. Luego que el pan de oro posee electricidad libre, es atraido por una de las pilas y repelido por la otra, y su electricidad es evidentemente contraria á la del polo hácia el cual se dirige.

* 633. **Aparatos de rotacion.** — Constrúyense, con el nombre de *juegos de sortija*, unos aparatitos de rotacion contínua, cuyo movimiento persiste durante muchos años (fig. 448). Dos columnas de cobre, *a* y *b*, sustentadas por un zócalo de madera, comunican por su base, la una con el polo positivo, y la otra con el negativo de una enérgica pila seca, situada horizontalmente debajo del zócalo. Esta

pila se compone de ordinario de otras seis pilas mas pequeñas, que comunican entre sí y forman un total de 1800 pares.

Sobre un eje *c*, situado á igual distancia de *a* y *b*, hay una chapa de marfil *i*, con la cual se enlazan cuatro travesaños que sostienen unas figuritas pintadas sobre un carton muy ligero. Dichos travesaños llevan unas prolongaciones de oropel fijos por goma laca que los aisla; atraidas estas primero por la electricidad de las esferas de las

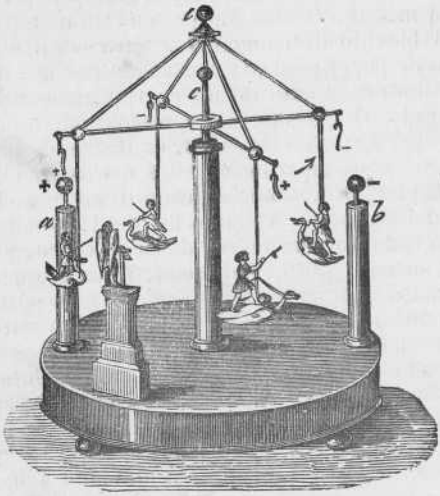


Fig 448.

columnas, las tocan y se cargan de la misma electricidad que ellas; repelidas entonces, principian á girar, y las dos positivas, por ejemplo, rechazadas por la columna *a*, se encuentran atraidas por la *b*, á la cual van á tocar para ser de nuevo repelidas, y así sucesivamente, siguiéndose de aquí un movimiento contínuo que se prolonga todo el tiempo que está funcionando la pila, es decir, durante muchos años.

PILAS CON DOS LIQUIDOS.

634. Corrientes constantes. — Las diversas pilas, de columna, de artesa, de Wollaston ó de Münch, anteriormente descritas, y que tienen todas por carácter componerse de dos metales y de un solo líquido, ofrecen el grave inconveniente de dar corrientes cuya intensidad decrece con mucha rapidez.

Las causas de este fenómeno son: 1.° la debilitacion de las acciones químicas por efecto de la neutralizacion del ácido sulfúrico á medida que va combinándose con el zinc; 2.° las *corrientes secundarias*, esto es, unas corrientes que se producen en las pilas, en sentido contrario al de la corriente principal, y que dependen de la

LIBRO DÉCIMO.

ELECTRICIDAD DINAMICA.

CAPITULO PRIMERO.

PILA VOLTAICA; SUS MODIFICACIONES.

622. Esperimento y teoría de Galvani. — A Galvani, profesor de anatomía en Bolonia, se debe el esperimento fundamental que hizo descubrir la electricidad dinámica (572), ó el *galvanismo*, ramo nuevo de la física, tan notable por las numerosas aplicaciones que ha recibido de medio siglo á esta parte.

Hacia ya muchos años que Galvani estudiaba la influencia de la electricidad sobre la irritabilidad nerviosa de los animales, y particularmente de la rana, cuando tuvo ocasion, en 1786, de observar que

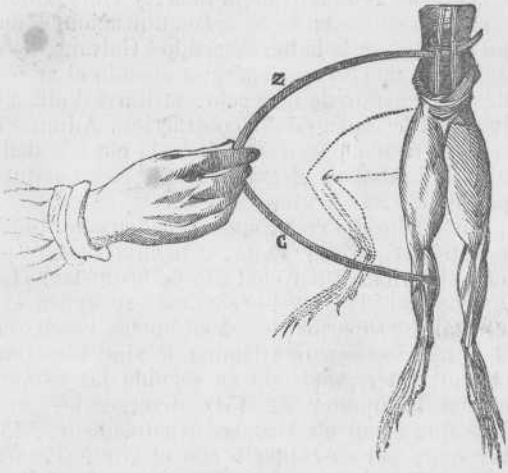


Fig. 443.

estando los nervios lumbares de una rana muerta en comunicacion, por un circuito metálico, con los músculos crurales, se contrajeron estos con gran energía.

Para repetir el esperimento de Galvani, se desuella una rana viva cortándola debajo de los miembros anteriores (fig. 443), y puestos á descubierto los nervios lumbares situados en ambos lados de la columna vertebral, bajo la forma de filamentos blancos, se toma un

conductor metálico formado de dos arcos, zinc y cobre, é introduciendo uno de ellos entre los nervios y la columna vertebral, se hace que toque el otro los músculos de uno de los muslos ó de las piernas. A cada contacto se repliegan y se agitan los músculos, y parece que recobre la vida para saltar esa mitad de rana.

Galvani, que habia observado ya, desde 1780, que la electricidad de las máquinas eléctricas producia en las ranas muertas conmociones análogas, atribuyó el fenómeno que acabamos de describir á la existencia de una electricidad inherente al animal, y mirando el músculo como una botella de Leyden, y al nervio como un simple conductor, admitió que, en el momento de la contraccion, el fluido positivo circulaba desde el nervio al músculo al traves del circuito metálico, y desde el músculo al nervio en el cuerpo de la rana.

Muchas personas de autoridad, y sobre todo los fisiólogos, adoptaron la teoría de Galvani con el nombre de *electricidad animal* ó de *fluido galvánico*. No por eso dejó de encontrar oposicion; y quien con mas viveza se la hizo fué Volta, profesor de física en Pavía, conocido ya por la invencion del electróforo, del electrómetro condensador y del eudiómetro.

623. **Esperimento de Volta.** — Galvani se habia fijado esclusivamente en los nervios y músculos de la rana; y Volta estudió con suma detencion los metales que establecen la comunicacion. Fundándose en la observacion, que no se le habia escapado á Galvani, de que la contraccion muscular es mucho mas enérgica cuando el arco se compone de dos metales que cuando de uno solo, atribuyó Volta á los metales el papel activo en el fenómeno de la contraccion. Admitió que por el simple efecto de su contacto se desarrollaba la electricidad, y que las partes animales se limitaban al papel de simples conductoras, y al mismo tiempo de electróscopo muy sensible.

En efecto, por medio del electrómetro condensador que acababa de inventar, demostró al parecer Volta, con numerosos esperimentos, el desarrollo de electricidad por contacto de los metales. Citarémos el siguiente, que con facilidad puede repetirse : se aplica el dedo mojado sobre el platillo superior del electrómetro condensador (613); luego se toca el inferior con una lámina de zinc bien limpia que se coge con la mano; interrumpiendo en seguida las comunicaciones, y quitando el platillo superior (fig. 431), divergen los panes de oro, comprobándose que estan electrizadas negativamente, lo cual conduce á admitir que, por su contacto con el zinc, se cargó de electricidad positiva este metal, y de negativa el cobre. Por lo demás, en este esperimento no puede atribuirse la electricidad al roce ni á la presion, porque si se toca el platillo del condensador, que es de cobre, con una lámina del mismo metal, no se obtiene indicio alguno de electricidad.

Empeñóse entonces una memorable discusion entre Volta y Galvani. Este último, que sostenia con profunda conviccion su teoría de la electricidad animal, hizo ver que no era indispensable la presencia de dos metales para la produccion del fenómeno, y que se obtienen con-

tracciones colocando sobre un baño de mercurio muy puro una rana muerta y recien preparada. Por fin, demostró que aproximando los nervios lumbares á los músculos crurales, se produce, en el momento del contacto, una viva contraccion [1]. En este último esperimento ya no desempeñaba papel alguno ningun metal, y parecia triunfante la teoría de Galvani; pero Volta la combatió entonces dando mas estension á su teoría del contacto, y sentando como principio general que *dos sustancias heterogéneas cualesquiera, puestas en contacto, se constituyen siempre, la una en el estado de electricidad positiva, y la otra en el de negativa.*

Sin embargo, aun hizo Galvani un postrer esperimento, en el cual era imposible admitir un efecto de contacto, supuesto que solo se tocaban sustancias homogéneas. Colocó sobre un disco de vidrio un muslo de rana con su nervio lumbar, y al lado otro muslo dispuesto del mismo modo; aplicado el nervio del segundo sobre el del primero, en términos de que en el punto de contacto no hubiese mas que sustancia nerviosa, hizo tocar los dos muslos, y obtuvo una fuerte contraccion. Galvani habia conseguido, pues, demostrar la existencia de la electricidad animal, puesta modernamente en evidencia por M. Matteucci con el nombre de *corriente propia* de la rana.

624. Teoría de Volta. — Volta, físico ante todo, y no considerando mas que las condiciones físicas del problema, rechazó la teoría de la electricidad animal, y admitió esclusivamente la del contacto, que puede formularse en los dos principios siguientes:

1.° El contacto de dos cuerpos heterogéneos da siempre orígen á una fuerza que Volta designó con el nombre de *fuerza electro-motriz*, y que tiene por carácter, no solo descomponer parte de su electricidad natural, sino tambien oponerse á la recomposicion de las electricidades contrarias acumuladas en los dos cuerpos en contacto.

2.° Cuando dos sustancias heterogéneas estan en contacto, la diferencia algébrica de su estado eléctrico es constante para los mismos cuerpos, sean cuales fueren las condiciones en que se encuentren, é igual á la fuerza electro-motriz. Es decir, que si se quita á los dos cuerpos, ó bien si se les comunica una cantidad cualquiera de electricidad, no se modifica la diferencia de su estado eléctrico relativo; en el primer caso, la fuerza electro-motriz reproduce inmediatamente una cantidad de electricidad igual á la que se quitó, y en el segundo, el esceso de fluido adicionado se distribuye con igualdad en los dos cuerpos, resultando de aquí que no varía la diferencia de los dos estados eléctricos. Por ejemplo, si dos discos, zinc y cobre, puestos en contacto y aislados ambos, tienen $+1$ electricidad positiva el primero, y -1 negativa el segundo, y se comunica á este sistema una cantidad de fluido positivo 20, se tendrá en el zinc $20+1$, ó 21, y en el cobre $20-1$, ó 19. De modo que la diferen-

---

[1] Obsérvese, sin embargo, que la teoría de Galvani no está en oposicion con la teoría de Volta, y que solo el espíritu de rivalidad, útil en esta cuestion, pudo empeñar la discusion. *(N. de J. P.)*

cia que era 2 entre los estados eléctricos +1 y −1, es tambien 2 entre los 21 y 19.

Como la fuerza electro-motriz que admitia Volta no desarrollaba igual cantidad de fluido en contacto con todas las sustancias, dividió dicho físico los cuerpos en *buenos electro-motores* y en *débiles electro-motores*. En la primera clase estan los metales y el carbon bien calcinado, y en la segunda los líquidos, y en general, los cuerpos no metálicos. Los metales no son tampoco por igual buenos electro-motores, pues el zinc y el cobre, soldados entre sí, lo son en el mas alto grado. Por fin, la especie de electricidad desarrollada cambia con la naturaleza de las sustancias en contacto. El zinc, el hierro, el estaño, el plomo, el bismuto y el antimonio se electrizan positivamente en contacto con el cobre; y negativamente en el mismo caso el oro, la plata y el platino.

Fundándose Volta en la teoría del contacto, llegó á inventar el maravilloso aparato que ha inmortalizado su nombre. Sin embargo, á poco encontró tambien esta teoría, como la de Galvani, muchos oposicionistas; y así es que hoy se atribuye, sobre todo, á las acciones químicas, segun darémos á conocer mas adelante, el desarrollo de electricidad que Volta hacia provenir únicamente del contacto.

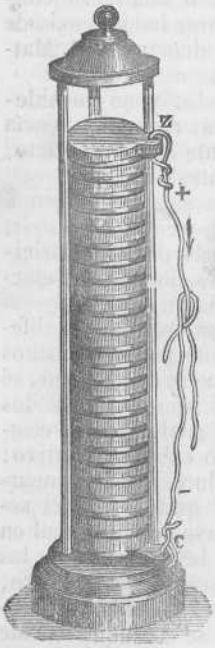


Fig. 444.

625. **Pila de Volta.** — Dáse el nombre general de *pila* á todos los aparatos que sirven para desarrollar electricidad dinámica. El primer aparato de este género, inventado por Volta en 1800, se compone de una série de discos puestos unos sobre otros en el órden siguiente: un disco de cobre, otro de zinc, una rodaja de paño empapada de agua acidulada, luego un disco de cobre, otro de zinc, una nueva rodaja de paño, y así sucesivamente en el mismo órden (fig. 444). De aquí la denominacion de *pila* que ha conservado, por mas que haya recibido este aparato disposiciones enteramente distintas. Suéldanse ordinariamente entre sí, de dos en dos, los discos de zinc y de cobre, de modo que forman *pares*, separados por las rodajas húmedas, y sostenidos verticalmente por tres cilindros macizos de vidrio. La forma de este aparato le ha valido el nombre de *pila de columna*.

La distribucion de la electricidad varía en esta pila, segun esté en comunicacion con el suelo por una de sus estremidades, ó se encuentre aislada, lo cual se obtiene colocándola en un platillo de vidrio ó de resina.

En el primer caso, demuestra la esperiencia que la estremidad en comunicacion con el suelo se halla en el estado natural, y que el

en la esplosion de la chispa eléctrica hay siempre trasporte de chispas materiales súmamente ténues, es de suponer que las modificaciones de la luz eléctrica dependan de la materia ponderable trasportada.

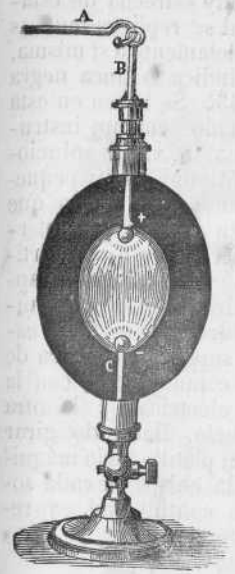


Fig. 433 (a = 60).

Estúdianse los efectos de la presion del aire sobre el brillo de la luz eléctrica por medio del *huevo eléctrico*, ó sea de un globo de vidrio sostenido por un pie de laton, y con dos varillas del mismo metal terminadas en esfera (fig. 433). La varilla inferior está fija, pero la superior corre frotando en una caja de cuero con objeto de acercarla ó alejarla á voluntad. Hecho el vacío en el globo por medio de la máquina neumática, en la cual se puede atornillar, se pone en comunicacion el vástago superior con una enérgica máquina eléctrica y el pie con el suelo. Cargando entonces la máquina, se observa de una á otra esfera una luz violácea, poco intensa y contínua, que resulta de la recomposicion del fluido positivo de la esfera superior con el negativo de la inferior. Si se deja entrar poco á poco el aire por medio de una llave adaptada al pie del aparato, aumenta la tension con la resistencia, y la luz, que se vuelve blanca y brillante, no aparece ya mas que bajo la forma de la chispa ordinaria.

616. Tubo centelleante, cuadro mágico, botella centelleante. —El *tubo centelleante* se compone de un tubo de vidrio, de un metro de longitud próximamente, que lleva pegadas una série de hojuelas de estaño, cortadas en forma de rombo y dispuestas en hélice á lo

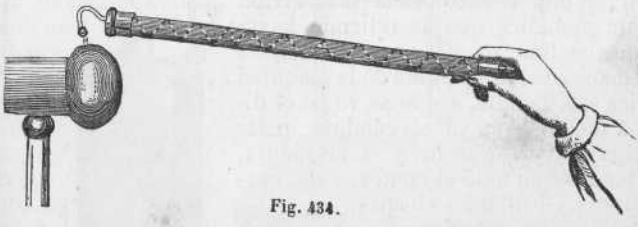


Fig. 434.

largo del tubo, de manera que solo queden entre ellas soluciones de continuidad muy pequeñas. En las estremidades hay dos casquillos de laton con gancho, que comunican con los dos estremos de la hélice. Si, teniendo cogido el tubo por una estremidad, se presenta la otra á la máquina eléctrica (fig. 434), saltan simultáneamente chispas en cada solucion de continuidad, produciendo una brillante línea luminosa, sobre todo en la oscuridad.

El *cuadro mágico*, fundado en el mismo principio que el tubo centelleante, se compone de una lámina de vidrio comun que lleva pegada una tira muy estrecha de estaño, la cual se repliega muchas veces paralelamente á sí misma, segun lo indica la línea negra de la fig. 435. Se hacen en esta tira de estaño, con un instrumento cortante, varias soluciones de continuidad muy pequeñas, dispuestas de modo que representen un objeto determinado, por ejemplo, un pórtico, una flor, etc., luego, fijando el cuadro entre dos columnas de vidrio, se pone la estremidad superior de la tira de estaño en comunicacion con la máquina eléctrica, y la otra con el suelo. Haciendo girar entonces el platillo de la máquina, salta la chispa en cada solucion de continuidad, y reproduce en señales de fuego el objeto figurado en el vidrio.

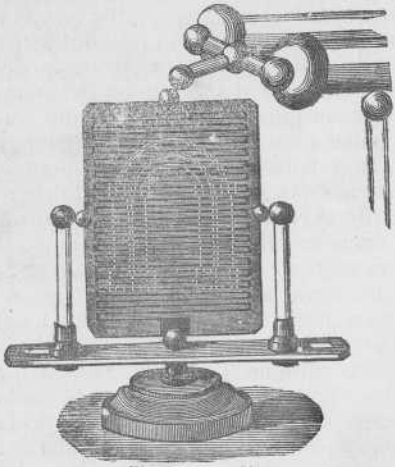


Fig. 435 (a=41).

La *botella centelleante* es una botella de Leyden cuya armadura esterior se compone de una capa de barniz sobre la cual se ha depositado un polvo metálico. Una tira de estaño, pegada en el borde inferior de la botella, está en comunicacion con el suelo por medio de una cadena de metal (figura 436), y otra tira colocada mas arriba lleva un apéndice que se estiende hasta unos dos centímetros del gancho, que está muy encorvado. Suspendida de la máquina eléctrica esta botella, segun se ve en el dibujo, á medida que va cargándose, parte la chispa entre el gancho y la armadura, observándose en todo el contorno del aparato largas y brillantes chispas.

Fig. 436.

617. **Efectos caloríficos.** — No solo es luminosa la chispa eléctrica, sino que además es un manantial muy intenso de calor. Inflama los líquidos combustibles, como el alcohol y el éter, cuando los atraviesa; obra del mismo modo sobre la pólvora, la resina pulverizada, y hasta funde los metales; mas para esto se requiere una pode-

rosa batería. Una botella de Leyden ordinaria basta para inflamar el alcohol ó el éter, por medio del aparatito de la figura 437. Es un pequeño frasco de vidrio, con el fondo atravesado por una varilla de cobre con boton, fija en un pie del mismo metal. Vertido el líquido en el frasco, de modo que el boton esté enteramente cubierto, se presenta á este el gancho de una botella de Leyden cargada, cuidando de hacer comunicar el pie de cobre con la armadura esterior por medio de un alambre. Desempeñando este y el pie del vaso el oficio de escitador, salta la chispa al traves del líquido y lo inflama. Con el éter sale perfectamente el esperimento; mas, para que suceda otro tanto con el alcohol, es preciso calentarlo primero.

Fig. 437.

Cuando se hace pasar la descarga de una batería al traves de un alambre de hierro ó de acero, se vuelve rojo blanco, y arde con una luz deslumbradora. Los alambres de platino, de oro y de plata se funden y volatilizan. Van-Marum, con una fuerte máquina de dos platillos y con una poderosa batería, fundió un alambre de hierro de 16 metros de longitud.

Si se somete á la descarga de una batería un pan de oro, aislado entre dos láminas de vidrio ó entre dos cintas de seda, se volatiliza el oro, dando por resíduo un polvo violáceo, que no es mas que oro súmamente dividido. Así se obtienen los *retratos eléctricos*.

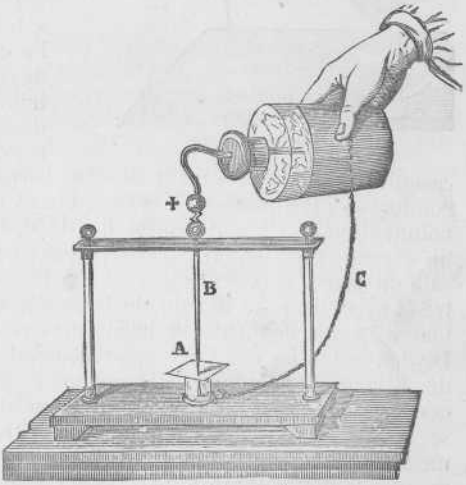


Fig. 438 (a = 23).

618. **Efectos mecánicos.** — Los efectos mecánicos consisten en desgarramientos, roturas y espansiones violentas, que resultan en los cuerpos poco conductores del paso de una descarga eléctrica. Perfóranse los vidrios, rómpense las maderas y las piedras, y se agitan con fuerza los gases y los líquidos. Demuéstranse los efectos mecánicos de la chispa eléctrica por medio de diferentes aparatos, que son:

el *taladra-cristal*, el *taladra-cartas*, el *termómetro de Kinnersley* y el *escitador universal*.

El taladra-cristal (fig. 438) se compone de dos columnas de vidrio que sostienen por medio de un eje horizontal un conductor B terminado en punta. La lámina de vidrio A que se va á agujerear se apoya sobre un cilindro aislador de vidrio, en el cual hay un segundo conductor terminado tambien en punta. Puesto este en comunicacion, por un alambre, con la armadura esterior de una gran botella de Leyden, se acerca el gancho de esta al boton en que remata el conductor B. Salta entonces la chispa entre los dos conductores, y queda perforado el vidrio. Con todo, no sale bien este esperimento con una botella de Leyden poco grande, como no sea bastante delgada la lámina de vidrio. El mismo aparato sirve perfectamente de taladra-cartas.

Fig. 439 (a = 28).

La conmocion y la espansion súbita que origina la chispa en los gases se demuestran por medio del termómetro de Kinnersley. Se compone este aparato de un gran tubo de vidrio masticado, por sus dos estremos, en casquillos de cobre que le cierran herméticamente y sostienen dos conductores terminados en esfera, fijo el uno y moviéndose el otro á voluntad en una caja de cuero (fig. 439). De la base del aparato parte un segundo tubo lateral, abierto por su parte superior. Destornillada la caja de cuero, se vierte agua en el tubo grande hasta que se encuentre el nivel un poco debajo de la esfera inferior; y atornillando entonces la caja de cuero, se hace pasar la descarga de una botella de Leyden entre las dos esferas, procediendo segun lo indica el grabado. El agua, repelida instantáneamente fuera del tubo grande, sube como cosa de unos dos centímetros en el pequeño; pero al instante se restablece el nivel, lo cual demuestra que no depende el fenómeno de una elevacion de temperatura, y que, por lo mismo, es errónea la denominacion de termómetro que se ha dado al aparato.

El escitador universal, descrito ya al hablar de las baterías (fig. 430), sirve tambien para obtener efectos mecánicos. Si se desea, por ejemplo, romper un pedazo de madera, se le coloca en el platillo en que está figurado un pajarillo, haciéndole tocar las dos esferas de los conductores. Al pasar la descarga salta hecho astillas.

619. Efectos químicos. — Los efectos químicos de la electricidad consisten en combinaciones y descomposiciones que determina la re-

composicion de los dos fluidos eléctricos en el cuerpo. Por ejemplo, cuando se mezclan dos gases en las proporciones que con corta diferencia se requieren para su combinacion, basta una sola chispa para determinarla; pero si la mezcla es diferente, exige la combinacion una larga série de chispas. Priestley fué el primero en reconocer que, cuando se hacen pasar durante largo tiempo chispas eléctricas al traves de una determinada cantidad de aire atmosférico, disminuye el volúmen de aire, y se enrojece la tintura de tornasol introducida en el frasco que lo contiene. Habiendo repetido con cuidado Cavendish este esperimento, encontró que se formaba, en presencia del agua ó de las bases, ácido nítrico resultante de la combinacion del oxígeno y del nitrógeno del aire.

Muchos gases se descomponen por la accion sucesiva de la chispa eléctrica. El hidrógeno carbonado, el ácido sulfhídrico y el amoniaco lo son completamente, y solo en parte el ácido carbónico, en oxígeno y en óxido de carbono. La chispa de las máquinas llega á descomponer los óxidos, el agua y las sales, si bien la electricidad estática dista mucho de ofrecer efectos químicos tan enérgicos y tan variados como la dinámica.

620 **Pistolete de Volta.** — El *pistolete de Volta* es un aparatito que sirve para demostrar los efectos químicos de la chispa eléctrica. Se compone de una vasija de hoja de lata (fig. 440), en la cual se

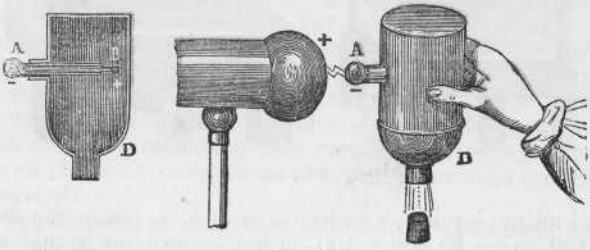


Fig. 440. Fig. 441 (a=11).

introduce una mezcla detonante formada de dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, cerrándola en seguida herméticamente con un tapon de corcho. En la pared lateral hay un tubo por el cual pasa una varilla metálica terminada por dos esferitas A y B, y masticada en un tubo de vidrio que la aisla del resto del instrumento.

Cogido este con la mano (fig. 441), se le acerca á la máquina eléctrica. El ctrizándose entonces negativamente por influencia el boton A, y positivamente el B, parte la chispa de entre el A y la máquina, y en el mismo instante salta otra entre B y la pared del vaso que comunica con el suelo por la mano. Esta última es la que determina la combinacion de los dos gases, combinacion que va acompañada de un vivo desprendimiento de calor (392), y por eso el vapor de agua que resulta adquiere una fuerza espansiva tal, que es lanzado e tapon con una detonacion análoga á la de un pistoletazo.

621. Eudiómetro. — Los *eudiómetros* que estan en uso en química para el análisis de los gases, son tambien aparatos fundados en los efectos químicos de la electricidad.

Se han introducido muchas modificaciones en este aparato; pero el mas sencillo es el de la fig. 442. Se compone de una probeta de cristal de paredes muy gruesas. Atraviesa la estremidad cerrada una varilla de hierro ó de laton, terminada por dos esferas *m* y *n*, esterior la una é interior la otra. Cerca de la interior *n* hay otra *a*, que lleva un alambre de hierro ó de laton, contorneado en hélice y prolongado hasta la estremidad abierta del eudiómetro.

Para hacer con este instrumento el análisis de un gas, del aire, por ejemplo, se le llena primero de agua, se le invierte luego así en una

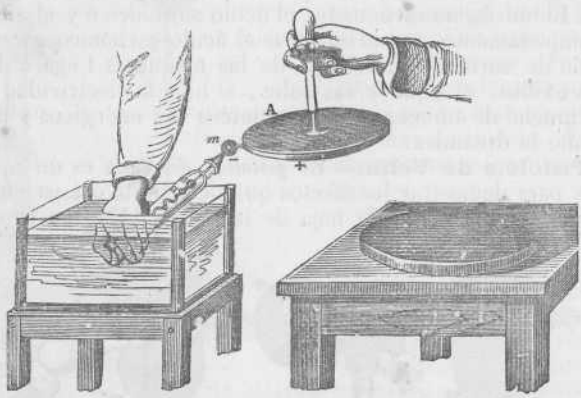


Fig. 442.

cuba del mismo líquido, y se hacen pasar á él, por medio de un embudo, 100 partes de aire y 100 de hidrógeno, que se miden con un tubo graduado. Ciérrase en seguida el eudiómetro con el pulgar, segun indica la figura, cuidando de ponerlo en comunicacion con el alambre en hélice que hay en el interior del eudiómetro. Si otra persona acerca entonces el platillo de un electróforo (594) á la esfera *m*, salta una chispa entre esta y el platillo A, y al mismo tiempo otra entre las dos esferas *n* y *a*. Esta última es la que determina con viva luz la combinacion del oxígeno y del hidrógeno del eudiómetro para formar agua. Midiendo entonces el gas que queda en el instrumento, despues de haberlo hecho pasar á un tubo graduado, se encuentra sensiblemente que su volúmen es 137; han desaparecido, pues, 63 partes de la mezcla; y como se sabe que el agua se compone de 2 volúmenes de hidrógeno y 1 de oxígeno, síguese que el tercio de 63, ó 21, es el volúmen de oxígeno contenido en 100 partes de aire.

resto de la pila no contiene mas que una especie de electricidad, que es positiva si termina en un disco de cobre la estremidad de la pila que comunica con el suelo, y negativa si es el de zinc. En cuanto á la tension, deberia crecer, en la teoría de Volta (624, 2.°), proporcionalmente al número de los pares; pero la esperiencia muestra que crece con menos rapidez.

De diverso modo se distribuye la electricidad en la pila aislada. Compruébase entonces, por medio del electrómetro, que la parte media se halla en el estado natural, que cada mitad de la pila está enteramente cargada, de electricidad positiva la una, y negativa la otra, y que la tension crece en ambos lados á partir desde el centro á las estremidades. La mitad que termina por zinc está cargada de electricidad positiva, y la otra de negativa. En la teoría química se verá cuál es la causa de esta distribucion de la electricidad en la pila.

En esta teoría, que es por punto general la única que hoy se admite, el agua acidulada de las rodajas es el manantial de electricidad, por obrar químicamente sobre el zinc. Electrízase entonces positivamente el agua acidulada y negativamente el zinc; este cede el fluido por su conductibilidad al cobre, lo cual esplica por qué el disco de cobre que termina la pila en su parte inferior (fig. 444) tiene electricidad negativa. La estremidad superior, que termina en un par de zinc y cobre, está todo electrizado positivamente por la rodaja acidulada que tiene debajo. Por lo demás, fácil es ver que el zinc superior es inútil, y que la pila podria terminar por arriba, lo mismo que por abajo, en un cobre.

En la teoría del contacto, lo que constituye un par de la pila es la reunion de un zinc y un cobre soldados el uno al otro; pero en la teoría química, lo que realmente debe entenderse por un par es el conjunto de un zinc y un cobre separados por una rodaja embebida de agua acidulada.

626. **Tension de la pila.** — La *tension* de una pila es la tendencia de la electricidad acumulada en las estremidades á desprenderse y á vencer los obstáculos que se oponen á su desprendimiento. No hay que confundir la tension de una pila con la *cantidad* de electricidad que puede desprender; pues la tension depende, sobre todo, del número de pares, mientras que la cantidad de fluido, en igualdad de circunstancias, crece con la superficie de los pares; y asi, cuanto mayor es esta superficie, mas considerable es, no variando la tension, la cantidad de electricidad que circula en la pila. Esta cantidad crece tambien con la conductibilidad del liquido interpuesto entre los pares; y la tension, al contrario, es independiente de la naturaleza de este líquido.

Como no haya un número considerable de pares, la tension en las estremidades de la pila es siempre mucho mas débil que en las máquinas eléctricas; y en efecto, no solo cada estremidad considerada aisladamente no da chispa, sino que no atrae los cuerpos ligeros; de modo que solo con el electrómetro condensador de panes de oro se

consigue hacer sensible la tension. Se hace comunicar, para esto, uno de los platillos del electrómetro con una de las estremidades de la pila, y el otro con la otra estremidad ó con el suelo. Cárgase entonces instantáneamente el aparato, é interrumpiendo las comunicaciones, se ve que divergen los panes de oro. Hasta puede cargarse una botella de Leyden cuando se hace comunicar la armadura interior con una de las estremidades de la pila, y la esterior con la otra, pero esta carga es mucho mas débil que la que da la máquina eléctrica.

627. **Polos, electrodos, corrientes.** — En una pila, se llama *polo positivo* la estremidad en donde tiende á acumularse el fluido positivo, y *polo negativo* aquella en que tiende á acumularse el negativo. El último zinc es el que tiende á ser el polo positivo, y el último cobre el polo negativo; pero como se ha visto anteriormente (625) que en la pila de columna se puede suprimir el último zinc sin cambiar en nada la distribucion de la electricidad, de modo que entonces cada polo corresponde á un cobre, y como sucederá otro tanto en las diversas pilas que darémos á conocer, resulta que habria confusion si se denominasen los polos por los nombres de los metales á que corresponden. En una palabra, no es la naturaleza de los metales que terminan la pila la que debe determinar tal ó cual polo, sino el órden en que estos metales estan dispuestos. Es decir, que el polo positivo está siempre á la estremidad hácia la cual miran los zinc de cada par, y el polo negativo á la estremidad á que miran los cobres [1].

Llámanse *electrodos ó reóforos* dos alambres fijos en los polos de la pila (fig. 444) y destinados á hacerlos comunicar entre sí, de suerte que las estremidades de estos alambres vengan á convertirse á su vez en polos.

Por fin, desígnase con el nombre de *corriente* la recomposicion de las electricidades contrarias que se opera desde uno á otro polo de una pila, cuando comunican entre sí por medio de los electrodos ó de cualquiera cuerpo conductor. Los efectos de las pilas demuestran que las corrientes son contínuas, lo cual prueba que á medida que se reunen las dos electricidades al traves del alambre conjuntivo, la fuerza electro-motriz, ó mejor la accion química, descompone una nueva cantidad de electricidad natural en la pila.

Admítese de ordinario en una corriente una direccion determinada, suponiendo que va del polo positivo al negativo en los electrodos, y de este á aquel en el interior de la pila; pero esto no es mas que un convenio, porque la recomposicion se verifica con igualdad del polo positivo al negativo y vice-versa. En todos los casos, no principia la corriente hasta el momento en que se ponen en comunicacion los dos polos por un cuerpo conductor, lo cual se espresa diciendo que la

---

[1] Todavia conviene manifestar si es la electricidad que conserva ó la que desprende un cuerpo la que sirve para darle nombre; pues si el zinc en las acciones químicas conserva la positiva, es claro que desprende la negativa; por la que conserva, se le puede llamar *positivo*, como se hizo en la clasificacion eléctrica de los cuerpos simples; por la que desprende, se le puede llamar *negativo*, como se hace hoy; sin que conozcamos la ventaja obtenida en la ciencia por semejante cambio de palabras (*N. de J. P.*)

corriente está cerrada. Todas las propiedades de la electricidad en el estado de tension cesan entonces, pero aparecen otras nuevas que caracterizan las corrientes, y que describirémos al hablar de los efectos de las pilas.

DIVERSAS MODIFICACIONES DE LA PILA.

628. **Pila de artesa.** —La pila de Volta ha recibido diversas disposiciones. La que acabamos de describir (625) ofrece el inconveniente de que las rodajas de paño, comprimidas por el peso de los discos, esprimen el líquido que las empapa, y por eso se adoptó muy luego la *pila de artesa*, que no es, por decirlo así, mas que una pila de columna horizontal. Se compone de una caja rectangular de

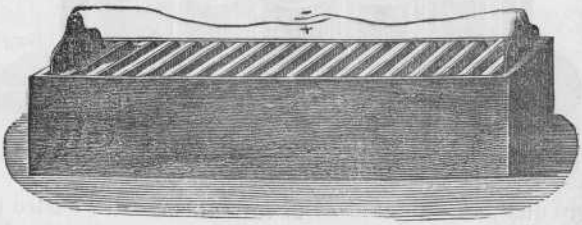


Fig. 445 (1=54).

madera, recubierta interiormente con una capa de mastic aislador (fig. 445): las placas de zinc y de cobre, soldadas entre sí de dos en dos, forman pares de tamaño igual á la seccion interior de la caja y fijos en el mastic; de modo que quedan entre los pares intervalos poco considerables, que constituyen celdillas ó compartimientos. Viértese en estas una mezcla de agua y ácido sulfúrico, que produce el mismo efecto que las rodajas de la pila de columna, y los dos polos comunican entre sí por medio de alambres sujetos á dos placas de cobre que se introducen en las dos últimas celdillas. La teoría de esta pila es idénticamente igual á la de la pila de columna.

629. **Pila de Vollaston.** —La *pila de Wollaston* ó *pila de bocales* es otra modificacion de la de Volta. Las placas zinc y cobre no estan soldadas mas que por sus bordes, ó bien por una parte de estos, terminando las placas de cobre por una lengüeta que se suelda con el zinc. Estas placas se hallan encorvadas de manera que se introducen verticalmente en bocales de vidrio llenos en parte de agua acidulada; pero el zinc y el cobre que entran en un mismo frasco pertenecen á pares diferentes (fig. 446). A partir de la izquierda del dibujo, una laminita de cobre *c* se suelda con una gruesa placa Z de zinc, y ambas constituyen el primer par. Una segunda lámina de cobre *a*, de la misma anchura que el zinc, lo envuelve sin tocarlo, y va á reunirse con una lengüeta de cobre *o*, soldada con un segundo zinc Z y formando con él el segundo par. El zinc de este se halla envuelto á su vez por una placa de cobre *dn*, que va á soldarse con un tercer zinc, y así sucesivamente se reunen todos los pares que se quieran. El pri-

mer cobre *c*, soldado con un zinc, representa el polo negativo, y el positivo corresponde al último cobre *em*, el cual, por no estar en contacto con ningun zinc, se limita á quitar al líquido el fluido positivo que le da el último par. Fijos todos los pares en un travesaño

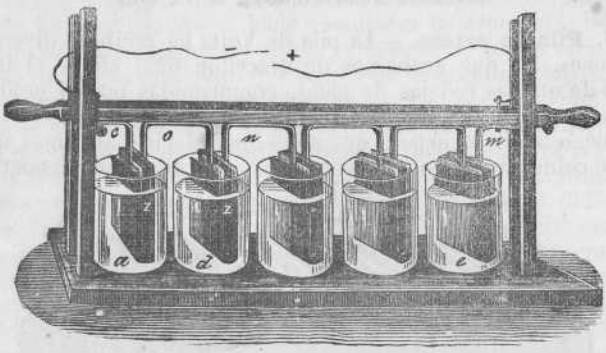


Fig. 446 (a=85).

de madera que puede subir ó bajar á voluntad entre cuatro pies, se le levanta cuando ya no se quiere que funcione mas la pila. De ordinario, va cargada el agua de los bocales con $^1/_{16}$ de ácido sulfúrico y $^1/_{20}$ de ácido nítrico; pero la pila funciona perfectamente, aunque solo se emplee agua con ácido sulfúrico.

630. **Pila de Munch.** — M. Münch, profesor de física en Estrasburgo, dió á la pila de Wollaston una disposicion mas sencilla,

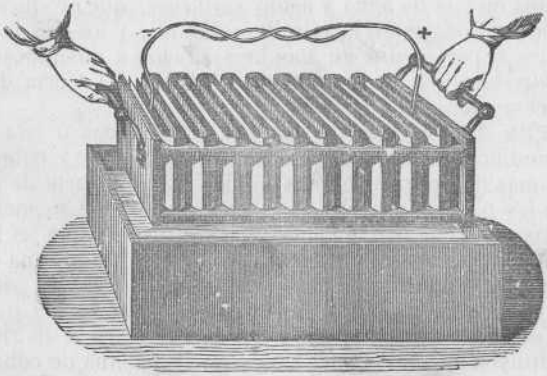


Fig. 447 (l=64).

haciendo introducir todos los pares en una misma capacidad de madera masticada interiormente. La figura 447 representa una pila de veinte pares, y manifiesta de qué manera están reunidas verticalmente

descomposicion que esta produce, del agua que hay entre los pares y del sulfato de zinc que tiene en disolucion. En esta doble descomposicion, se deposita, en el cobre de cada par, hidrógeno y hasta óxido de zinc, conforme se verá al hablar de la descomposicion del agua y de las sales por la pila (647 y 650). Estos depósitos originan en seguida otra corriente de direccion contraria á la primera, neutralizándola en parte.

Atendida la rapidez con que pierden su energía, apenas se usan hoy las pilas de un solo líquido, y son sustituidas generalmente por las de dos líquidos, llamadas *pilas de corrientes constanies*, porque sus efectos conservan por largo tiempo una intensidad sensiblemente uniforme. Se les han dado muchísimas formas, pero las mas usadas son la pila de Daniell, la de Grove y la de Bunsen.

En estas pilas se corrigen los defectos de las de un solo líquido, por medio de dos líquidos susceptibles de reaccionar el uno sobre el otro, y separados por un diafragma que deja pasar fácilmente la corriente, pero no permite que los líquidos se mezclen, por lo menos con rapidez; y por fin, se introducen los dos elementos de un mismo par, el uno en un líquido, y el segundo en el otro. La construccion de esta pila debe satisfacer las siguientes condiciones: 1.ª que, no siendo activo mas que uno de los elementos, no esperimente el otro ninguna accion química, funcionando solo como conductor; 2.ª que se elijan los dos líquidos de modo que la corriente que resulte de su accion mútua al traves del diafragma, tenga la misma direccion que la que origina la accion del ácido sobre el metal atacado.

635. **Pila de Daniell.** — Una de las primeras pilas de corriente constante que se construyó, es la del químico inglés Daniell, que la inventó en 1836. La fig. 449 representa un par de esta pila, cuya forma ha variado muchísimo. Un vaso V de vidrio está lleno de una disolucion saturada de sulfato de protóxido de cobre, en la cual se introduce un cilindro de cobre C con muchos orificios laterales y abierto por los dos estremos. En la parte superior de este cilindro lleva un reborde anular G, con agujeritos en su contorno inferior que penetran en la disolucion. Sirve este espacio ó esta cavidad para contener cristales de sulfato de protóxido de cobre, que se disuelven á medida que funciona el aparato. Por fin, en el interior del cilindro C hay una vasija porosa ó un diafragma P, de bizcocho de porcelana, llena de agua acidulada con ácido sulfúrico, ó de una disolucion de sal marina, en la cual se introduce un cilindro de zinc Z, abierto por las dos estremidades y amalgamado. En los cilindros zinc y cobre estan sujetas, por medio de tornillos de presion, dos láminas delgadas de cobre *p* y *n*, que forman los electrodos de la pila.

Fig. 449.

Mientras no comunican entre sí los dos electrodos, está la pila inactiva; pero apenas se establece la comunicacion, principia la accion química: el ácido sulfúrico ataca al zinc, produciendo así una primera corriente eléctrica; y además, descomponiéndose el agua, mientras su oxígeno se dirige al zinc, su hidrógeno, reaccionando sobre la disolucion de sulfato de protóxido de cobre, se apodera del oxígeno del óxido de la sal, para formar agua y revivificar el cobre, que forma, en las paredes del cilindro C, un depósito sin adherencia. La disolucion del sulfato de protóxido de cobre tiende entonces á empobrecerse rápidamente; pero disolviéndose progresivamente los cristales que hay en G, queda constante el grado de concentracion de la disolucion. En cuanto al ácido sulfúrico que ha quedado libre por la descomposicion del sulfato de protóxido de cobre, se dirige, al mismo tiempo que el oxígeno del agua, hácia el zinc, para trasformarle en sulfato; y como la cantidad de ácido que así queda en libertad en la disolucion del cobre es bastante regular, lo es tambien su accion sobre el zinc.

En resúmen, se ve que en la pila de Daniell la corriente resulta: 1.° *de la accion del agua acidulada sobre el zinc*, y 2.° *de la revivificacion del óxido de cobre por el hidrógeno;* y esta doble accion da orígen á dos corrientes en el mismo sentido, de las cuales la segunda se opone á todo depósito perjudicial en el cobre de los pares.

Con esta pila se obtienen efectos constantes durante muchas horas, y aun durante muchos dias, si se procura conservar la disolucion bien saturada y añadir de cuando en cuando cristales de sulfato de protóxido de cobre. Para reunir muchos pares, se unen, por medio de tornillos de presion, el polo zinc de un par con el polo cobre del siguiente, y así en los demás pares, conforme lo indica la fig. 453, aunque para otra especie de pila. En cuanto á la naturaleza de los polos, el electrodo fijo en el zinc es negativo, y el del cobre positivo, como en las pilas ya descritas.

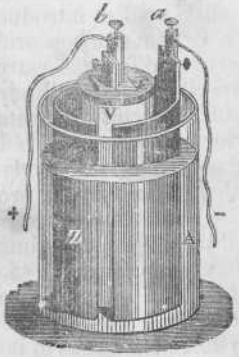


Fig. 450.

Fig. 451.

En vez de un vaso poroso de tierra, sirve tambien de diafragma de separacion de las dos disoluciones, la lona ó los intestinos de buey. El efecto es en un principio mas poderoso que con la porcelana; pero luego se debilita por mezclarse mas rápidamente las dos disoluciones. En general, deben ser permeables á la corriente los diafragmas, pero previniendo lo mas posible la mezcla de ambos líquidos.

636. Pila de Grove. — La fig. 450 representa un par de la pila de Grove, compuesto: 1.° de una vasija de vidrio A, llena en parte

de agua acidulada con ácido sulfúrico, 2.° de un cilindro de zinc Z abierto por los dos estremos y hendido en toda su longitud; 3.° de un vaso poroso V, de bizcocho de porcelana, y lleno de ácido nítrico comun, y 4.° de una lámina de platino P encorvada en S (fig. 451), y fija en una tapa *c* que se coloca sobre el vaso poroso. Una varilla metálica *b*, que comunica con la lámina de platino, lleva un alambre de cobre que sirve de electrodo positivo, mientras que otro alambre, fijo en el zinc, sirve de electrodo negativo.

Se usa poco esta pila á causa del precio del platino; pero este metal ofrece además el inconveniente de volverse quebradizo y de romperse al menor esfuerzo, cuando ha funcionado cierto tiempo la pila.

637. **Pila de Bunsen.** — La *pila de Bunsen*, conocida tambien con el nombre de *pila de carbon*, no es mas que la de Grove, con la lámina de platino sustituida por un cilindro de carbon, preparado calcinando en un molde de palastro una mezcla íntima de coke y de hulla grasa, bien pulverizada y reunida á fuerte presion [1].

Cada par de la pila de carbon se compone de cuatro piezas de forma cilíndrica que pueden colocarse con facilidad las unas dentro de

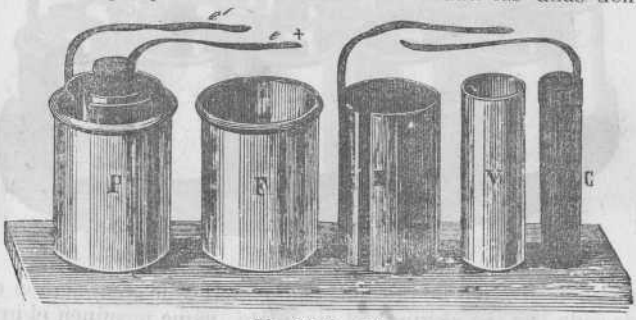


Fig. 452 (1=17).

las otras. Estas piezas son: 1.° un frasco F (fig. 452) vidriado ó de vidrio, lleno de una disolucion de 10 á 12 partes de agua por una de ácido sulfúrico; 2.° un cilindro hueco Z, de zinc amalgamado, que lleva una lámina delgada y estrecha de cobre que sirve de electrodo negativo; 3.° de un vaso poroso V, de bizcocho de porcelana, en el cual se pone ácido nítrico comun; y 4.° un cilindro C de carbon, preparado como antes hemos dicho, y buen conductor. En la parte superior del carbon hay un anillo de cobre que tiene una lámina del mismo metal, ó sea el electrodo positivo. Cuando se desea que funcione el aparato, se dispone cual se ve en la figura P, colocando el cilindro de zinc en la vasija de vidriado, y luego en este el vaso poroso y el carbon.

Mientras no comunican el zinc y el carbon está inactiva la pila; mas apenas se establece la comunicacion por un circuito conductor,

[1] Usase tambien, y aun con ventaja, del *carbon metálico* que se tiene en las fábricas del gas del alumbrado. *(N. de J. P.)*

principia la accion química. El zinc y el ácido sulfúrico descomponen al agua, con formacion de sulfato de zinc, y el hidrógeno libre va hácia el ácido nítrico del vaso poroso para descomponerlo y trasformarlo en ácido hipo-nítrico, que en parte se disuelve, desprendiéndose el resto. En estas diversas reacciones se producen dos corrientes, que provienen, la una de la descomposicion del agua, y la otra de la del ácido nítrico. Estas dos corrientes que van en un mismo sentido, se dirigen, por el conductor interpolar, del carbon al zinc; es decir, que el polo positivo corresponde al carbon, y el negativo al zinc.

Para formar un aparato compuesto ó una pila, se disponen lo pares conforme lo indica la figura 453. En los cilindros zinc y carbon estan fijas unas laminitas de cobre encorvadas, que se reunen

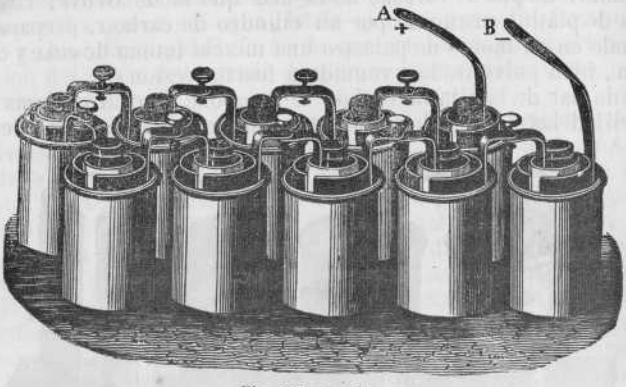


Fig. 453 (a = 17).

por medio de tornillos de presion, cuidando de que comuniquen el carbon de cada par con el zinc del siguiente, y que terminen el primero y último pares por dos electrodos A y B. M. Despretz, en sus recientes investigaciones, ha hecho ascender á 800 el número de los pares.

La pila de Bunsen es la mas enérgica de las de corriente constante, y la que mas se usa hoy dia. Sin embargo, la corriente se debilita con bastante rapidez á medida que el ácido sulfúrico se combina con el zinc. Esta pila tiene además el inconveniente de esparcir vapores nitrosos, muy incómodos cuando son algo numerosos los pares.

Para variar las superficies segun los efectos que hay que producir, construyó M. Deleuil pares de Bunsen de dos tamaños, que distinguirémos con las denominaciones de *grandes* y de *pequeños modelos*. En los primeros, el cilindro zinc tiene 22 centímetros de altura, y en los últimos, 14. M. Deleuil admite que, para los efectos que dependen de la superficie, un par grande modelo equivale á unos dos pares del pequeño. En adelante, cuando hablemos de un número de pares sin indicacion de modelo, nos referirémos al pequeño.

638. **Combinaciones diversas de los pares de una pila.** — Cuando se reunen muchos pares de Bunsen ó de Daniell para formar una pila galvánica (fig. 453), pue-

den estar combinados de diferentes modos. Por ejemplo, en el caso en que solo haya seis pares, pueden formarse las cuatro combinaciones siguientes: 1.ª una sola série longitudinal (fig. 454), en la que C representa el electrodo positivo y Z el negativo; 2.ª en dos séries paralelas de tres pares cada una (fig. 455), reuniéndose en C los electrodos positivos y en Z los negativos; 3.ª en tres séries paralelas de dos pares cada una (fig. 456), cuyos electrodos del mismo nombre van á concurrir todos tambien en uno solo, y 4.ª, por último, en seis séries de un solo par cada una (fig. 457), cuyas corrientes todas se reunen en C y en Z. Con doce pares podrian realizarse ocho combinaciones diferentes, y así sucesivamente á medida que aumenta el número de pares. Las combinaciones en séries longitudinales (figura 454), y las de dos ó tres séries paralelas (fig. 455 y 456), son las que con mas frecuencia se usan.

En estas diversas combinaciones, disminuir la longitud de las séries para aumentar su número en una razon inversa, equivale á disminuir el número de los pares y aumentar su

Fig. 454.

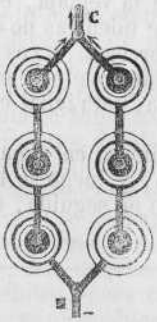


Fig. 455.

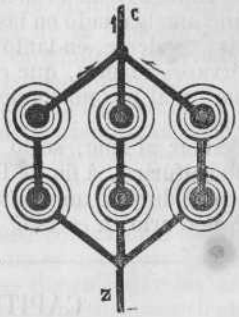


Fig. 456.

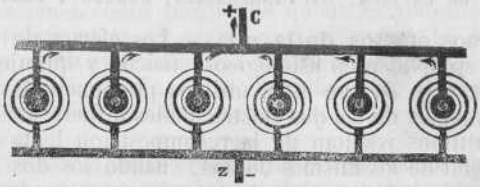


Fig. 457.

superficie, lo cual conduce, para un mismo número de pares, á efectos muy diferentes, conforme se verá al hablar de los efectos de la pila (640).

En las diversas combinaciones citadas, la resistencia que presenta la pila á la corriente decrece á medida que aumenta el número de las séries paralelas. En efecto, si se representa por 1 la resistencia de un solo par, la de la primera combinacion (fig. 454) es 6; en la segunda (fig. 455), es tres para cada série, y por lo mismo $\frac{3}{2}=1,5$ para las dos séries reunidas, pues en igualdad de resistencia se dobla la corriente; de igual manera, en la tercera combinacion (fig. 456), la resistencia para cada série es 2, y para las tres reunidas $\frac{2}{3}=0,666$; y por fin, en la cuarta (fig. 457) es $\frac{1}{6}=0,166$. Del mismo modo se calcularia la resistencia de un número cualquiera de pares dispuestos en séries paralelas. Por ejemplo, 24 pares en 3 séries paralelas de 8 dan la resistencia $\frac{8}{3}=2.666$. Como el cálculo de-

muestra que se obtiene el máximum de efecto de una pila cuando en esta la resistencia es igual á la que ofrece el circuito que ha de recorrer la corriente de uno á otro electrodo, deberá elegirse, entre las combinaciones posibles, aquella cuya resistencia se acerque mas á la del circuito dado.

* 639. **Propiedad del zinc amalgamado.** — M. de La Rive ha observado que el zinc perfectamente puro no es atacable por el ácido sulfúrico diluido en agua, pero que lo es cuando se lo pone en contacto con una lámina de platino ó de cobre introducida en la disolucion. El zinc comun, que no es puro, por el contrario, es vivamente atacado por el ácido diluido, pero amalgamado adquiere la propiedad del puro, y no es atacado sino cuando se halla en contacto con un alambre de cobre ó de platino introducido tambien en la disolucion, es decir, mientras forma parte de un par en actividad.

Esta propiedad depende, al parecer, del estado eléctrico que toma el zinc por su contacto con el mercurio. Ofrece la ventaja, en punto al uso del zinc amalgamado en las pilas, de que mientras no está cerrado el circuito, es decir, en tanto que no hay corriente, no es atacado el zinc. Obsérvase, además, que con el zinc amalgamado la corriente es mas regular, y al mismo tiempo mas intensa, para igual cantidad de metal disuelto.

* Para amalgamar al zinc, se lo introduce primero en agua acidulada con ácido sulfúrico, á fin de limpiarlo bien, y luego se lo introduce en mercurio durante un minuto. Retírasele en seguida, dejando que gotee el mercurio en esceso.

CAPITULO II.

EFECTOS DE LA PILA; GALVANOPLASTIA, DORADO Y PLATEADO.

640. **Diversos efectos de la pila.** — Los efectos de la electricidad dinámica se dividen en fisiológicos, físicos y químicos. Difieren de los de la estática, en que estos últimos provienen de una recomposicion instantánea de las dos electricidades á fuerte tension, mientras que los últimos resultan de la recomposicion lenta y á tension mucho mas débil de los mismos fluidos, cuando los dos polos de la pila estan reunidos por un circuito mas ó menos conductor. Por la continuidad de la fuerza que los produce, los efectos de las corrientes son mucho mas notables que los de las máquinas eléctricas.

Los efectos físicos, que se dividen en caloríficos y luminosos, dependen, sobre todo, de la cantidad de electricidad puesta en movimiento en la pila, y de consiguiente, de la superficie de los pares. Los efectos químicos, al contrario, lo mismo que los fisiológicos, dependen de la tension, y por lo tanto, del número de los pares (626). Todos estos efectos aumentan con la accion química del líquido de la pila.

641. **Efectos fisiológicos.** — Desígnanse con este nombre los efectos que produce la pila sobre los animales muertos ó vivos. Se ha visto que estos fueron los primeros que se observaron, supuesto que á

ellos se debe el descubrimiento de la electricidad dinámica por Galvani. Consisten en conmociones y en contracciones musculares muy enérgicas cuando son poderosas las pilas.

Cogiendo con las dos manos los electrodos de una fuerte pila, se siente una violenta conmocion comparable con la de la botella de Leyden, sobre todo si las manos estan mojadas con agua acidulada ó salada, que aumenta la conductibilidad. La conmocion es tanto mas intensa, cuanto mayor es el número de pares. Con una pila de Bunsen de 50 á 60 pares es fuerte la conmocion, y con una de 150 á 200 insufrible, y aun peligrosa si se prolonga. Déjase sentir menos hácia delante en los brazos que la de la botella de Leyden, y, trasmitida por una cadena de muchas personas, generalmente solo la sienten las mas próximas á los polos.

La conmocion de la pila, lo mismo que la de la botella de Leyden, depende de la recomposicion de las electricidades contrarias, pero con la diferencia de que la descarga de la segunda es instantánea, como la conmocion, mientras que, cargándose la primera luego de descargada, se suceden con rapidez las sacudidas. El efecto de la corriente voltáica sobre los animales varía con su direccion; pues, segun los esperimentos de M. Lehot y de M. Marianini, cuando la corriente se propaga siguiendo las ramificaciones de los nervios, produce una contraccion muscular en el momento en que principia, y otra al concluir; pero si se propaga en sentido contrario á las mismas, produce una sensacion mientras subsiste, y una contraccion al interrumpirse. Con todo, esta diferencia de efectos no se nota mas que con las corrientes débiles, pues con las intensas tienen lugar las contracciones y los dolores al establecerse y al interceptarse la corriente, sea cual fuere su direccion.

Las contracciones cesan luego que queda establecida invariablemente la corriente entre el nervio y el músculo, lo cual tiende á demostrar que se ha producido una modificacion instantánea que subsiste lo que la corriente. En efecto, manifiéstanse de nuevo las conmociones, si cambia esta de direccion, ó si la sustituye otra mas enérgica.

Por medio de la corriente recobraron la vida varios conejos asfixiados media hora antes; y una cabeza de ajusticiado esperimentó tan horribles contracciones, que huyeron despavoridos todos los espectadores. El tronco, sometido á la misma accion, se levantaba en parte; se agitaban las manos chocando los objetos cercanos, y los músculos pectorales imitaban el movimiento respiratorio. En fin, todos los actos de la vida se reproducian de un modo imperfecto, pero cesaban instantáneamente con la corriente.

642. **Efectos caloríficos.** — Una corriente voltáica que atraviesa un alambre metálico produce los mismos efectos que la descarga de una batería (617); caliéntase el alambre, se vuelve incandescente, se funde ó se volatiliza, segun sea mas ó menos largo y de mayor ó menor diámetro. Con una pila poderosa, todos los metales se funden, hasta el iridio y el platino, que resisten al fuego de forja mas intenso.

El carbon es el único cuerpo que por ahora no ha podido ser fundido por la pila; si bien M. Despretz, con una pila compuesta de 600 pares de Bunsen, reunidos en séries paralelas (638), dió á barritas de carbon muy puro una temperatura tal, que se encorvaron, reblandecieron, y hasta pudieron soldarse entre sí, todo lo cual indica un principio de fusion.

En los mismos esperimentos trasformó dicho físico el diamante en grafito, y obtuvo, mediante una accion algo prolongada, globulitos de carbon fundido. Consiguió fundir en algunos minutos 250 gramos de platino; y trabajando tan solo sobre unos pocos gramos, los volatilizó en parte.

Basta una pila de 30 á 40 pares de Bunsen para fundir y volatilizar con rapidez alambres finos de plomo, de estaño, de zinc, de cobre, de oro, de plata, de hierro y hasta de platino, con vivas chispas diversamente coloradas. El hierro y el platino arden con una luz de un blanco brillante; el plomo la da purpurina; blanca azulada el estaño y el oro; entre blanca y roja el zinc, y por fin, verde el cobre y la plata.

Haciendo pasar la corriente par alambres metálicos del mismo diámetro y de igual longitud, pero de diferente sustancia, comprobó Children que los de menor conductibilidad eléctrica son los que mas se calientan; de lo cual dedujo que los efectos caloríficos de la pila dependen de la resistencia que encuentra la corriente para atravesar al conductor que reune los polos.

Se ha observado ya (640) que los efectos caloríficos dependen mas de la cantidad del fluido eléctrico que circula en la corriente, que de la tension, ó en otros términos, mas de la superficie de los pares, que de su número. Consíguese, efectivamente, fundir un alambre fino de hierro con un solo par de Wollaston, cuyo zinc tenga 20 centímetros sobre 15.

Colocando en la corriente un alambre metálico aislado en un tubo de vidrio lleno de agua, que haga el oficio de calorímetro, encontró M. Ed. Becquerel que el desarrollo de calor por el paso de la electricidad al traves de los cuerpos sólidos, ofrece las leyes siguientes:

1.ª *La cantidad de calor desarrollada está en razon directa del cuadrado de la cantidad de electricidad que pasa en un tiempo dado;*

2.ª *Esta cantidad de calor se halla en razon directa de la resistencia del alambre al paso de la electricidad;*

3.ª *Sea cual fuere la longitud del alambre, con tal que sea constante su diámetro y que pase la misma cantidad de electricidad, la elevacion de temperatura es igual en toda la estension del alambre;*

4.ª *Para una misma cantidad de electricidad, la elevacion de temperatura en diferentes puntos del alambre está en razon inversa de la cuarta potencia del diámetro.*

Los efectos caloríficos de las corrientes son mas difíciles de observar en los líquidos, por poseer estos cuerpos mayor calórico específico que los sólidos, y por absorber los gases que se producen una gran cantidad de calórico latente. Por ejemplo, en la descomposicion

del agua se reconoce que la elevacion de temperatura es menor en el polo negativo, en donde el volúmen de hidrógeno que se desprende es duplo del de oxígeno que se recoge en el positivo, segun muy pronto se verá (647).

645. **Efectos luminosos.** —La pila eléctrica es, despues del sol, el manantial de luz mas intenso que se conoce. Sus efectos luminosos se manifiestan por medio de chispas ó por la incandescencia de las sustancias que reunen los dos polos.

Para obtener chispas, cuando es bastante poderosa la pila, se acercan los dos electrodos, dejando entre ellos un pequeño intervalo, y entonces se ve que saltan vivas chispas que pueden sucederse con bastante rapidez para producir una luz contínua. Con ocho ó diez pares de Bunsen se obtienen brillantes penachos luminosos, haciendo comunicar uno de los electrodos con una escofina, y paseando el otro sobre los dientes de la misma. Si en este esperimento se hace pasar la corriente por la bobina de un electro-iman (figura 498), adquieren las chispas una notable intensidad, efecto que esplicarémos al hablar de los fenómenos de induccion.

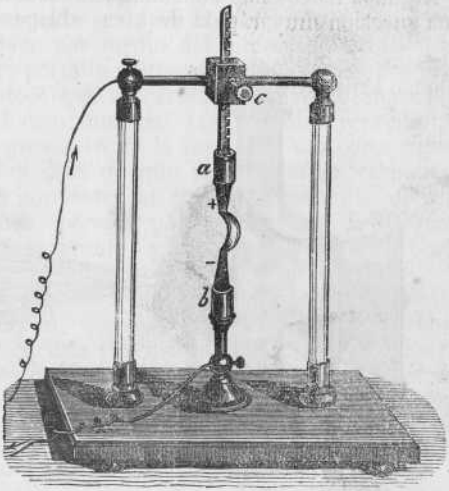


Fig. 458.

Por la incandescencia de los conductores que atraviesan, ofrecen tambien las corrientes singulares efectos luminosos. Un alambre de hierro ó de platino, que reune los dos polos de una fuerte pila, y que es bastante grueso para no fundirse, se vuelve incandescente y despide un vivísimo brillo mientras se halla en actividad la pila. Si á su vez está arrollado en espiral el alambre, aumenta el efecto luminoso.

Pero, sobre todo, haciendo comunicar los electrodos con dos conos de carbon de coke, bien calcinados (fig. 458), se obtiene un hermosísimo efecto de luz eléctrica. El carbon *b* está fijo, mientras el *a* puede subir ó bajar mas ó menos, por medio de una barra dentada y de un piñon que la mano hace girar mediante un boton *c*. Puestos primero en contacto los dos carbones, se hace pasar la corriente, y al instante el punto de contacto toma un brillo deslumbrador, que se estiende poco á poco á cierta distancia de las puntas de carbon. Entonces se puede levantar el superior sin que se interrumpa la corriente, pues recomponiéndose las dos electricidades en el intervalo que separa los

carbones, se halla ocupado este espacio por un arco luminoso sumamente brillante, llamado *arco voltáico*.

La longitud de este arco varía con la fuerza de la corriente, pudiendo llegar á unos 7 centímetros con una pila de 600 pares dispuestos en seis séries paralelas, de 100 cada una, cuando el carbon positivo está arriba; pues si se encuentra abajo, entonces es unos dos centímetros mas corto. Tambien puede producirse en los líquidos el arco voltáico; pero en tal caso es menos largo y de menor brillo.

El arco voltáico goza de la propiedad, cuando se le presenta un poderoso iman, de ser dirigido por este, lo cual es una consecuencia de la accion de los imanes sobre las corrientes (661).

Algunos físicos han considerado al arco voltáico como formado por una sucesion muy rápida de vivas chispas; mas, por lo general, se

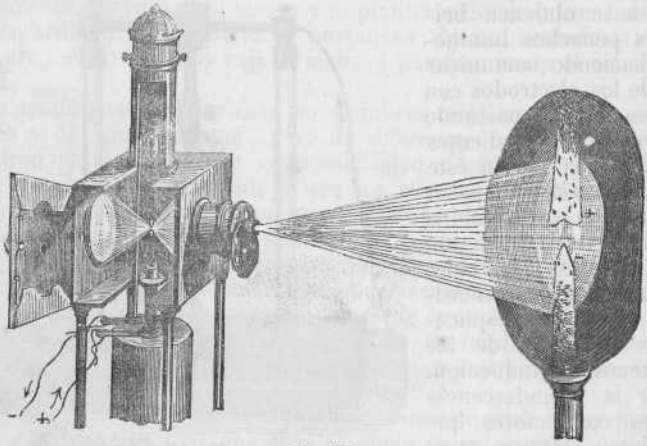


Fig. 459.

admite que depende de la corriente eléctrica, la cual va del polo positivo al negativo por medio de moléculas incandescentes, que son volatilizadas y trasportadas en el sentido de la corriente, es decir, del polo positivo al negativo. En efecto, cuanto mas fácilmente desagrega la corriente los electrodos, tanto mas se los puede separar sin interrumpirla. El carbon, que es una sustancia muy deleznable, es tambien el cuerpo que da un arco luminoso mas largo.

Davy fué el primero que en Londres hizo, en 1801, el esperimento de la luz eléctrica por medio de dos conos de carbon y de una pila de artesa de 2000 pares, cuyas placas tenian cerca de 11 centímetros de lado. Serviase aquel físico de carbon de madera ligera, apagado de antemano en el estado incandescente en un baño de mercurio, el cual, penetrando en los poros del carbon, aumentaba su conductibilidad. Como el carbon de madera arde con mucha vivacidad en el aire, se veia obligado á hacerlo en el vacío, y así se estuvo haciendo du-

rante largo tiempo, colocando los dos conos de carbon en un huevo eléctrico de llave (fig. 453). Hoy, que solo se usa en esta clase de esperimentos el carbon de coke, que proviene de los resíduos de las retortas de la fabricacion del gas del alumbrado, se evita la operacion del vacío, porque dicho carbon es duro, compacto, y puede ser cortado en barritas P y N (fig. 460) que arden muy lentamente en el aire. Cuando el esperimento se hace en el vacío, no hay combustion, pero continúan gastándose los carbones, lo cual demuestra que hay volatilizacion y trasporte de carbon del polo positivo al negativo.

* 644. **Esperimento de M. Foucault.**—Débese á M. Foucault un bonito esperimento, que consiste en proyectar la imágen de los conos de carbon (fig. 458) sobre una placa, en la cámara oscura, por medio de lentes, en el momento en que se produce la luz eléctrica (fig. 459). Este esperimento, que se hace por medio del microscopio foto-eléctrico, descrito ya (fig. 337), permite distinguir muy bien los dos carbones incandescentes, viéndose que el carbon positivo se ahueca y disminuye, mientras que el otro aumenta. Los glóbulos representados sobre los dos carbones provienen de la fusion de una corta cantidad de sílice contenida en el coke de que se forman los carbones. Cuando principia á pasar la corriente, el carbon negativo es el primero que se vuelve luminoso, pero el positivo es el de brillo mas intenso; por eso se gasta mas pronto, y ha de ser tambien un poco mas grueso.

* 645. **Regulador de la luz eléctrica.**—Cuando se quiere aplicar la luz eléctrica al alumbrado, conviene que conserve la continuidad de brillo que ofrecen los demás sistemas de alumbrado. No basta que la corriente de la pila sea constante, sino que además es preciso que el intervalo de los carbones permanezca sensiblemente invariable, lo cual exige que puedan acercarse á medida que se gasten. Muchos aparatos se han propuesto para conseguirlo, y entre ellos describirémos el de M. Deleuil.

Se compone este aparato de un trípode de fundicion (fig. 460), sobre el cual se fijan los dos carbones y el regulador que los mantiene á igual distancia. El carbon negativo N está sostenido por un eje metálico que pasa á frotamiento suave por un sosten D, pero que queda fijo luego de regulado. El positivo P sube sucesivamente por efecto mismo de la corriente, á medida que tiende á aumentar el intervalo de los carbones.

Se obtiene este resultado por medio de un regulador fijo debajo del trípode, y representado en corte en la fig. 461. Una palanca A, unida por un estremo á un resorte B, puede oscilar sobre un eje L, pero muy poco, pues por el otro estremo se halla entre las puntas de dos tornillos regulados, de modo que le permiten muy escaso movimiento. La palanca A tiende á girar en un sentido por efecto del resorte B, y en el otro por efecto de un *electro-iman* E: esta pieza, que describirémos mas adelante (fig. 498), consiste en un cilindro de hierro dulce, rodeado de un alambre de cobre cubierto de seda, por el cual pasa la corriente que va á los carbones. Este cilindro, así dis-

puesto, goza de la propiedad de convertirse en un poderoso iman, cuando la corriente pasa por el alambre, pero debilitándose con ella, y desapareciendo cuando cesa la misma. Por fin, una laminita de acero que hay en la estremidad B de la palanca, se apoya en I sobre dientecitos dispuestos á lo largo de la varilla K, que lleva el carbon positivo P, y trasmite á este el movimiento de la palanca.

Ahora bien, cuando pasa la corriente con toda su intensidad por el alambre del electro-iman, atrae este una armadura de hierro *m*, que lleva la palanca A, baja el brazo de esta que hay á la derecha del eje L, y arrastra la lámina I, la cual no hace descender la varilla K, en cuyos dientes engrana la parte curva de la lámina, pero

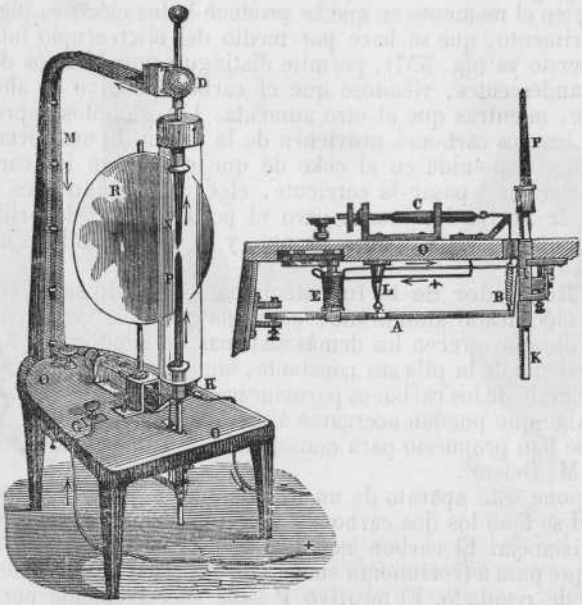


Fig. 460. Fig. 461.

solo durante el ascenso. Al contrario, si aumentando la distancia de los carbones se debilita la corriente, como el electro-iman no puede equilibrar ya al resorte B, el brazo de palanca que antes bajó, sube ahora, y con él la varilla K, un cuarto de milímetro por el intermedio de la lámina I. Aproximados los carbones, toma la corriente mas intensidad, y funciona de nuevo el electro-iman. Renovándose periódicamente la misma série de movimientos, luego que tiende á debilitarse la corriente, queda sensiblemente constante la intensidad. La pieza C regula al resorte B; las flechas indican el curso de la corriente; el tubo de vidrio cilíndrico que envuelve los carbones, los preserva

de las corrientes de aire que los enfriarian; y enfrente de los carbones hay un reflector metálico R que se quita á voluntad.

El aparato que acabamos de describir ha alumbrado, con 50 pares de Bunsen, sistema nuevo y gran modelo (638), los baños del Pont-Neuf durante parte del verano de 1850, y era tan intensa la luz, que un buzo podia recoger una moneda de 50 céntimos, de noche, en el fondo del Sena. Recientemente ha funcionado el mismo aparato cuatro meses consecutivos, para alumbrar de noche á los jornaleros que trabajaban en la construccion de las fuentes (docks) Napoleon. Dos aparatos, que funcionaban cada uno con 50 pares de Bunsen, gran modelo, bastaron para alumbrar á 800 trabajadores, y el gasto ascendió, por noche y por aparato, á 5 fr. de mercurio, 4 fr. 50 de zinc, 1 fr. 40 de barritas de carbon, 1 fr. 80 de ácido nítrico y 1 fr. 85 de ácido sulfúrico: total, 14 fr. 55.

M. Foucault, y en seguida M. Duboscq, han construido, para la luz eléctrica, reguladores con los dos carbones móviles, pues así se consigue dar gran fijeza al punto luminoso, lo cual es necesario cuando se quiere aplicar la luz eléctrica á los esperimentos de óptica.

646. **Propiedades é intensidad de la luz eléctrica.** — La luz eléctrica determina la combinacion de una mezcla de cloro y de hidrógeno, y actúa sobre el cloruro de plata lo mismo que la luz del sol.

Trasmitida al traves de un prisma, se descompone la luz eléctrica y da un espectro semejante al solar (460), lo cual demuestra que no es simple. Wollaston, y sobre todo Fraünhofer, han encontrado que el espectro de la luz eléctrica difiere del de las otras luces y del de la luz solar por la presencia de muchas rayas muy claras, de las que una, particularmente, que se encuentra en el verde, es de una claridad casi brillante, en comparacion del resto del espectro. M. Wheatstone observó que, sirviéndose para electrodos de diferentes metales, se modifica el espectro y las rayas; y M. Despretz ha demostrado que las rayas brillantes son fijas é independientes de la intensidad de la corriente.

M. Masson, que ha estudiado de nuevo la luz eléctrica con mucho detalle, esperimentando sobre la luz de la máquina eléctrica, sobre las del arco voltáico y del aparato de Ruhmkorff (697), ha encontrado, en el espectro eléctrico, los mismos colores que en el espectro solar, pero atravesados por bandas luminosas muy brillantes, de la misma tinta que el color en que estan situadas; en cuanto á la posicion de estas rayas y á su número, ellas no dependen de la intensidad de la chispa, sino de las sustancias entre las que se produce.

Con el carbon, las rayas son notables por su número y por su brillo; con el zinc, está caracterizado por una tinta verde-manzana muy desarrollada; con la plata se tiene un verde muy intenso; con el plomo, la tinta violeta es la que domina, y así sucesivamente con los diferentes metales.

Deseando averiguar M. Bunsen la intensidad de la luz eléctrica, trabajó con 48 pares, alejó los carbones 7 milímetros, y halló que equivalia á la de 572 bujías. Pero se hizo este esperimento con pares,

en los cuales era esterior el carbon é interior el zinc, y los efectos que producian eran mucho menores que los de aquellos en que el carbon es interior (637). De consiguiente, la luz de 48 de estos últimos pares equivale á mucho mas de 572 bujías.

Los señores Fizeau y Foucault, que trataron de comparar la luz eléctrica con la solar, no compararon las cantidades de luz emitidas por estos dos focos, sino sus efectos químicos sobre el ioduro de plata de las placas daguerrianas (483); de modo que los resultados no dan á conocer la intensidad óptica de la luz eléctrica, sino su intensidad química.

Representando por 1000 la intensidad de la luz solar al mediodia, encontraron los señores Fizeau y Foucault que la de 46 pares de Bunsen (carbon interior) estaba representada por 235, y la de 80 pares solo por 258. Resulta de estos números que la intensidad de la luz no crece de un modo notable con el número de los pares; pero le esperiencia revela que crece mucho con su superficie. En efecto, con tres séries de 48 pares cada una, reunidas paralelamente de modo que sus polos positivos concurran en uno solo, lo mismo que sus negativos, lo cual equivale á triplicar las superficies (638), subió la intensidad á 385, á la hora de funcionar la pila; de modo que es mas del tercio de la luz del sol.

M. Despretz, en sus numerosos esperimentos sobre la pila, hace observar que se debe poner particular esmero en preservarse de sus efectos luminosos, si son algo intensos. La luz de 100 pares puede, segun este físico, causar enfermedades muy dolorosas de los ojos; y con 600, un solo instante basta para que la luz produzca dolores muy violentos en la cabeza y los ojos, quedando tostada la cara como por los rayos del sol. Por eso es indispensable, durante tales esperimentos, llevar anteojos con los vidrios de un azul oscuro.

647. **Efectos químicos, descomposicion del agua, electrólitos.**—Se ha visto ya que los efectos químicos de la pila dependen mas bien del número de los pares que de su tamaño, porque en las descomposiciones químicas, ejerciéndose la accion de la corriente sobre sustancias poco conductoras, es necesario aumentar la tension, y de consiguiente, el número de los pares.

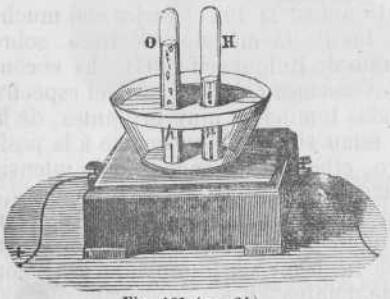


Fig. 462 (a=24).

La primera descomposicion operada por la pila fué la del agua, obtenida, en 1800, por los dos ingleses Carlisle y Nicolson, con una pila de columna; 4 ó 5 pares de Bunsen bastan para descomponer al agua con rapidez; pero esta debe contener en disolucion una sal ó un ácido que aumente su conductibilidad, pues si es pura, se produce

con muchísima lentitud la descomposicion. La fig. 462 representa el aparato que sirve para descomponer el agua por la pila, y recoger el oxígeno y el hidrógeno que se desprenden. Se compone de una vasija cónica de vidrio masticada en un pié de madera, y en su fondo se elevan dos alambres de platino *h* y *n*, que comunican con dos tornillos de presion, de laton, fijos en los lados del aparato y destinados á recibir los electrodos de la pila. Se llena la vasija de agua ligeramente acidulada; se aplican sobre los alambres de platino dos campanitas llenas de agua, y en seguida se establece la corriente. Al instante se descompone el agua en oxígeno y en hidrógeno, que se desprenden bajo la forma de burbujas en las campanas. Se observa entonces que la campana positiva se llena de oxígeno, y la negativa de hidrógeno; y además, el volúmen de este último gas es duplo del primero. Este esperimento da, pues, á la vez los análisis cualitativo y cuantitativo del agua.

Las sustancias que, como el agua, son descompuestas por la corriente, y cuyos elementos son completamente separados, han recibido de Faraday el nombre de *electrolitos*, y se ha llamado *electrolizacion* ó *electrolisis* al hecho mismo de la descomposicion por la corriente voltáica.

648. **Voltámetro, ley de Faraday.** — M. Faraday ha impuesto al aparato que acabamos de describir el nombre de *voltámetro*, porque lo ha aplicado á la medida de la intensidad de las corrientes poderosas, así como el galvanómetro sirve para medir la de las pequeñas. El uso del voltámetro está fundado en el siguiente principio, descubierto por M. Faraday, en las descomposiciones electro-químicas: *la cantidad, en peso, de los elementos separados, es proporcional á la cantidad de electricidad que pasa en la corriente.* Por lo tanto, en el anterior esperimento, el volúmen de los gases recogidos puede servir para medir la intensidad química de la corriente.

Con todo, obsérvese que la cantidad de gas que se produce por la descomposicion del agua depende, no solo de la intensidad de la corriente, sino tambien del grado de acidez del agua, de la naturaleza, del tamaño y de la distancia de los alambres ó de las láminas que se introducen en el líquido para trasmitirle la corriente. Debe procurarse, pues, usar siempre el mismo aparato, ó aparatos enteramente semejantes, pues de lo contrario no son comparables los resultados.

El voltámetro que acabamos de describir es un *voltámetro químico*, pero tambien se han ideado *voltámetros caloríficos* que miden la intensidad de las corrientes por la cantidad de calor que desprenden en los circuitos sólidos ó líquidos que recorren. Pero todos estos voltámetros, así químicos como caloríficos, distan mucho de ser instrumentos de precision. El mejor de todos los instrumentos propios para comparar la intensidad de las corrientes es el *galvanómetro* (657).

649. **Descomposicion de los óxidos metálicos y de los ácidos.** — Las corrientes ejercen sobre los óxidos metálicos la misma accion que sobre el agua, reduciéndolos todos, y marchándose el oxígeno al polo positivo, y el metal al negativo. Por medio de corrientes

muy poderosas descompuso Davy por vez primera, en 1807, la potasa y la sosa, colocándolas en la clase de los óxidos metálicos. Hasta entonces se habian resistido estos óxidos á todos los agentes químicos, y aun hoy dia tan solo la pila llega á descomponer algunos, como la barita, la estronciana y la cal.

Los oxácidos son descompuestos de la misma manera que los óxidos, marchándose siempre el oxígeno al polo positivo, y el radical al negativo. Lo propio les sucede á los hidrácidos, pero el radical va al positivo y el hidrógeno al negativo.

En general, los compuestos binarios se comportan de un modo análogo bajo la influencia de la pila, pues uno de los elementos se dirige al polo positivo y el otro al negativo. En las descomposiciones efectuadas así por la pila, los cuerpos simples que se dirigen hácia el polo positivo han recibido el nombre de cuerpos *electro-negativos*, porque se les considera como cargados naturalmente de electricidad negativa; y los que van al polo negativo han sido llamados *electro-positivos*. El oxígeno, en todas sus combinaciones, es constantemente electro-negativo, y el potasio electro-positivo; pero los demás cuerpos simples son, ya electro-positivos, ya electro-negativos, segun los cuerpos con los cuales se combinan. El azufre, por ejemplo, es electro-positivo con el oxígeno, y electro-negativo con el hidrógeno.

650. **Descomposicion de las sales.** — Las sales ternarias, en el estado de disolucion, son descompuestas todas por la pila, y presentan entonces efectos que varían con las afinidades químicas y con la energía de las corrientes. Si el ácido y la base de la sal son estables, se separan simplemente, y entonces el ácido va siempre al polo positivo, y el óxido al negativo, conforme sucede con los sulfatos, los carbonatos y los fosfatos de los metales de las dos primeras secciones. Si el ácido es poco estable, se descompone, y su oxígeno es el único que va al polo positivo. Con un óxido débil, el metal reducido se dirige solo al polo negativo, mientras que el ácido y el oxígeno se acumulan en el positivo, segun se observa en las sales de plomo, de cobre, de plata, y en general, en las de las tres últimas secciones. Por fin, si quedan completamente reducidos el ácido y el óxido, su oxígeno va por completo al polo positivo, y los dos radicales al otro polo.

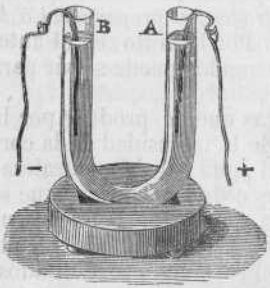


Fig. 463 (a=12).

Demuéstrase la descomposicion de las sales por la pila, con un tubo de vidrio encorvado (fig. 463), en el cual se vierte una disolucion de sulfato de potasa ó de sosa, colorada de azul con jarabe de violeta. Introducidas en las ramas del tubo dos láminas de platino, se ponen estas en comunicacion con los electrodos de la pila. A los pocos minutos, si se hace uso de tres ó cuatro pares de Bunsen, se nota que la rama positiva A se colora de rojo, y la negativa B de verde, lo

cual demuestra que el ácido de la sal se dirige al polo positivo, y la base al negativo; porque se sabe que el jarabe ó tintura de violeta tiene la propiedad de enrojecerse por la accion de los ácidos, y de enverdecerse por la de las bases.

En este esperimento, si la corriente es algo intensa, además de la descomposicion de la sal, se observa un desprendimiento de oxígeno en el polo positivo, y de hidrógeno en el polo negativo, lo cual indica que hay tambien descomposicion de agua por la corriente; y todavía se puede esplicar, admitiendo que el óxido de potasio ó de sodio, siendo descompuesto, su oxígeno marcha al polo positivo, mientras que el metal, reaccionando sobre el agua, se apodera de su oxígeno y deja al hidrógeno en libertad.

La descomposicion de las sales por la pila ha recibido importantes aplicaciones en la galvanoplastía, en el dorado y en el plateado, operaciones que luego darémos á conocer (653).

* 651. **Anillos de Nobili.** — Descomponiendo las sales por la pila, obtuvo Nobili, sobre placas metálicas, anillos con tintas sumamente brillantes. La coloracion de estos anillos que resultan de capas metálicas muy delgadas que se depositan sobre las placas, se esplica por la teoría de los anillos colorados de Newton (523). Para obtenerlos, se coloca en el fondo de una disolucion de acetato de plomo ó de sulfato de cobre una placa metálica que comunica con el polo negativo de una débil pila; luego se cierra la corriente con un alambre de platino, que se une con el polo positivo, y se introduce en la disolucion perpendicularmente á la placa, de modo que se acerque muchísimo á ella. Depositanse entonces delante de la punta anillos dotados de una coloracion muy viva, que varía con la sal en disolucion y con la naturaleza de las placas.

* 652. **Arbol de Saturno.** — Cuando se sumerge en una disolucion salina un metal mas oxidable que el de la sal, el metal de esta última es precipitado por el que se ha sumergido, y se deposita sobre él lentamente, siendo sustituido por el mismo, equivalente por equivalente. Atribúyese esta precipitacion de un metal por otro, en parte á las afinidades, y en parte á la accion electro-química de una corriente que tiene su orígen en el contacto de los metales precipitante y precipitado; ó mas bien en la accion del ácido contenido en la disolucion, pues se ha observado que es preciso que sea esta última ligeramente ácida. El esceso de ácido libre obra entonces sobre el metal precipitante, y determina la corriente que descompone la sal.

El *árbol de Saturno* es un efecto notable de la precipitacion de un metal por otro. Así se llama una série de ramificaciones brillantes que se obtienen con el zinc en las disoluciones de acetato de plomo. Llénase un frasco de vidrio de una disolucion bien clara de esta sal, luego se le cierra con un tapon de corcho, al cual está fijo un pedazo de zinc, en contacto con alambres de laton que se introducen, divergiendo en la disolucion. Abandónase á sí mismo el frasco herméticamente cerrado. A los pocos dias se depositan brillantes pajitas de plomo cristalizado sobre los alambres de laton, simulando una vegetacion

que se ha designado con el nombre de *árbol de Saturno*, del nombre que daban al plomo los antiguos alquimistas. Se ha impuesto tambien el nombre de *árbol de Diana* al depósito metálico que produce el mercurio en el nitrato de plata.

GALVANOPLASTIA; DORADO Y PLATEADO.

653. **Galvanoplastía.** —La descomposicion de las sales por la pila ha recibido una importante aplicacion en la *galvanoplastia*, ó sea el arte de modelar los metales precipitándolos de sus disoluciones salinas por la accion lenta de una corriente eléctrica. Inventaron casi simultáneamente este arte M. Spencer, en Inglaterra, y M. Jacobi, en Rusia, en el año 1838.

Cuando se quiere reproducir una medalla ó cualquier otro objeto por medio de la galvanoplastía, es preciso primero procurarse del

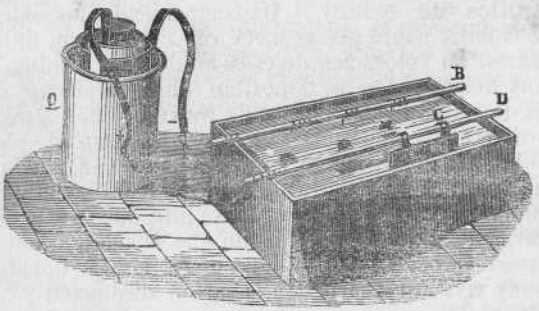


Fig. 464.

mismo un molde en hueco, sobre el cual pueda depositarse la capa metálica que debe reproducir en relieve la medalla. Si esta es de metal, el procedimiento mas sencillo para formar el molde consiste en valerse de la aleacion fusible de d'Arcet, compuesta de 5 partes de plomo, 8 de bismuto y 3 de estaño. Se vierte esta aleacion fundida en una copita, y cuando va á solidificarse se deja caer la medalla de plano de una pequeña altura, procurando en seguida que esté completamente inmóvil. Luego que está fria la aleacion, basta un ligero choque para que se desprenda de ella la medalla. Rodéase entonces el molde con un alambre de cobre que le ponga en comunicacion con el polo negativo de la pila, y se cubre despues su contorno y su cara posterior con una débil capa de cera fundida, á fin de que el depósito metálico no se precipite mas que sobre la misma impresion.

Para reproducir en cobre una medalla, se toma una cuba llena de una disolucion saturada de sulfato de cobre, y puestas encima dos barritas de laton B y D (fig. 464), que comunican la una con el polo negativo y la otra con el positivo de un par de Bunsen, se suspende de la primera el molde *m*, y de la otra una lámina de cobre C. Cer-

rada así la corriente, se descompone el sulfato de cobre; su ácido y el oxígeno del óxido van al polo positivo, mientras que solo el cobre va al negativo, depositándose lentamente sobre el molde *m*. De esta manera pueden suspenderse muchos moldes á la vez. A las cuarenta y ocho horas está cubierto el molde por una capa de cobre sólida y resistente, pero no adherente. Sin embargo, para impedir completamente la adherencia, es preciso antes de la operacion impregnar el molde con un cepillo fino, aplicado muy ligeramente encima de un cuerpo graso, ó pasarle rápidamente por una llama resinosa que deje en él un depósito de materia estraña.

Si la medalla que va á reproducirse es de yeso, no puede hacerse su molde en aleacion de d'Arcet. Entonces se la introduce en un baño de estearina fundida á 70 grados, y retirando en seguida la medalla se seca casi instantáneamente, lo cual proviene de que la estearina penetra en los poros del yeso. Enfriado este último, se le cubre con plombagina, frotándole con un cepillo suave impregnado de esta sustancia; luego se le rodea con una tira de carton, y se vierte encima estearina tibia, la cual al solidificarse reproduce fielmente en hueco la medalla primitiva. Formado así el molde no adherente al yeso, á causa de la capa de plombagina depositada encima, se quita, y se le da tambien una capa de plombagina para que se haga conductor. Y este molde, así metalizado, se suspende por un alambre de cobre, del polo negativo de la pila, conforme hemos dicho antes.

Se hacen tambien muy buenos moldes con la guta-percha. Se principia cubriendo con plombagina el objeto, á fin de que no se adhiera á la guta-percha; y luego, elevando la temperatura por medio del agua caliente, á cierta cantidad de esta sustancia hasta que se reblandezca, se aplica sobre la pieza que ha de reproducirse, sometiéndola á una presion algo fuerte. Luego de fria, se despega la guta-percha que se adhiere algo, y entonces se tiene sobre esta sustancia una impresion en hueco muy fiel del objeto. Resta dar al molde una capa de plombagina para que se vuelva conductor, conforme se hace con la estearina. Suspendiéndolo del polo negativo de la pila en una disolucion concentrada de sulfato de cobre, se obtiene á las cuarenta y ocho horas una reproduccion en cobre del objeto.

La lámina de cobre C, puesta en el polo positivo, tiene por objeto, no solo cerrar la corriente, sino tambien mantener la disolucion en un estado constante de concentracion; y en efecto, el ácido y el oxígeno que van al polo positivo se combinan con el cobre de la placa, y reproducen constantemente una cantidad de sulfato de cobre igual á la que descompone la corriente.

Para la galvanoplastía se prefiere, en general, la pila de Daniell (635), á causa de la uniformidad de su efecto; pero se trabaja tambien perfectamente con un solo par de Bunsen, sobre todo con el modelo antiguo, que es mas débil, si bien hay que acidular muy poco el agua en que se introduce el zinc.

654. **Dorado galvánico.** — Antes de conocer la descomposicion de las sales por la pila, se doraba por medio del mercurio. Amalgamá-

base este metal con el oro, y luego se aplicaba la amalgama sobre la pieza que habia que dorar; elevando entonces en un horno la temperatura, se volatilizaba el azogue, no quedando mas que el oro bajo la forma de una capa muy delgada sobre los objetos dorados. Igual procedimiento se seguia para el plateado; pero, como es costoso é insalubre, es sustituido generalmente hoy dia por el dorado y plateado galvánicos. El dorado por medio de la pila solo difiere de la galvanoplastía en que la capa metálica que se hace depositar sobre los objetos que hay que dorar, es mucho mas delgada y mas adherente. Brugnatelli, discípulo de Volta, fué, al parecer, el primero que en 1803 observó que se podia dorar con una pila y una disolucion alcalina; pero en realidad es M. de La Rive quien aplicó la pila al dorado. Los señores Elkington, Ruolz y otros físicos han ido perfeccionando luego los procedimientos de dorado y plateado.

Las piezas que van á dorarse deben sufrir dos preparaciones, que son el *recocido* y la *limpiadura*.

Consiste el recocido en calentar las piezas para quitarles las materias grasas que las impregnaran en los trabajos á que anteriormente se las hubiere sometido.

Como las piezas que se han de dorar suelen ser ordinariamente de cobre, su superficie, durante el recocido, se cubre de una capa de protóxido y de bióxido de cobre que se debe separar. Introdúcense al efecto las piezas, aun calientes, en un baño de ácido nítrico muy diluido en agua; se las lava en seguida con agua, y se las lleva á un segundo baño formado de ácido nítrico y de ácido sulfúrico en pesos iguales. Al salir de este baño, se introducen las piezas en otro compuesto de ácido nítrico y de un poco de cloruro de sodio, y por fin, se las lava en agua destilada.

Preparadas ya las piezas, se las suspende del electrodo negativo de una pila formada de tres ó cuatro pares de Daniell ó de Bunsen, y se las sumerge en un baño de oro, disponiéndolas como para la galvanoplastía (fig. 464). Permanecen así en el baño mas ó menos tiempo, segun el espesor que quiera darse al depósito.

Se ha variado mucho la composicion de los baños; pero el que mas se usa consta de 1 gramo de cloruro de oro y de 10 de cyanuro de potasio, disueltos en 200 gramos de agua. Para mantener el baño á un grado constante de concentracion, se suspende del electrodo positivo una lámina de oro, que se disuelve á medida que la disolucion deja depositar su oro sobre las piezas que comunican con el polo negativo.

El procedimiento que acabamos de describir se aplica muy bien para dorar, no solo el cobre, sino tambien la plata, el bronce y el laton; y en cuanto á los otros metales, como el hierro, el acero, el zinc, el estaño y el plomo se doran mal. Para obtener un buen dorado, hay que darles primero una capa de cobre por medio de la pila y de un baño de sulfato cúprico, y en seguida se dora esta capa de cobre.

655. **Plateado.** — Todo cuanto acaba de leerse acerca del dorado

galvánico se aplica exactamente al plateado, no habiendo mas diferencia que en la composicion del baño, que consta de 2 gramos de cyanuro de plata y 10 de cyanuro de potasio, disueltos en 250 de agua. Del electrodo positivo está suspendida una placa de plata que impide que se empobrezca el baño, y en el negativo estan las piezas que hay que platear, bien limpias.

CAPITULO III.

ELECTRO-MAGNETISMO; GALVANOMETRIA.

656. **Esperimento de OErsted.** — OErsted, profesor de física de Copenhague, dió á conocer, en 1819, un descubrimiento que enlazaba íntimamente desde entonces el magnetismo y la electricidad, y que fué muy pronto, en manos de Ampere y de M. Faraday, el orígen de una nueva rama de la física. El hecho que OErsted descubrió es la accion directriz que una corriente fija ejerce á distancia sobre una aguja imantada móvil. Poco despues se observó que, recíprocamente, un iman fijo tiene una accion directriz sobre una corriente móvil, y se dió el nombre de *electro-magnetismo* á la parte de la física que trata de las acciones mútuas que se ejercen entre los imanes y las corrientes.

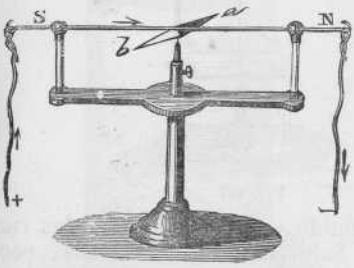


Fig. 465 (a=21).

Para hacer el esperimento de OErsted, se tiende horizontalmente, en la direccion del meridiano magnético, un alambre de cobre encima de una aguja imantada móvil (fig. 465). Mientras no atraviesa al alambre una corriente, permanece paralela á él la aguja; mas apenas las estremidades del alambre comunican con los electrodos de una pila, *la aguja se desvia y tiende tanto mas á tomar una direccion perpendicular á la corriente, cuanto mas intensa es esta.*

En cuanto al sentido que toman los polos, hay muchos casos, que á su tiempo reducirémos á un principio único. Recordemos primero el convenio ya establecido (627) de admitir que la corriente va siempre en el alambre conjuntivo del polo positivo al negativo. El esperimento anterior ofrece los cuatro casos siguientes:

1.° Si la corriente pasa por encima de la aguja y va del sur al norte, el polo austral se desvía hácia el oeste, y esta disposicion es la que señala el dibujo 465; 2.° si la corriente pasa por debajo de la aguja, siempre del sur al norte, el polo austral se desvía al este; 3.° cuando la corriente pasa por encima de la aguja, en la direccion de norte á sur, el polo austral se desvía hácia el este, y 4.°, por último, la des-

viacion se verifica hácia el oeste, caso de que la corriente vaya tambien de norte á sur, mas por debajo de la aguja.

Si se concibe, segun lo hizo Ampere, un observador situado en el alambre conjuntivo, de modo que la corriente que entre por los pies salga por la cabeza, y que la cara esté dirigida constantemente hácia la aguja, se reconoce con facilidad que, en las cuatro posiciones que acabamos de considerar, el polo austral está desviado hácia la izquierda del observador. Personificada así la corriente, pueden reasumirse los diferentes casos antes considerados en el enunciado de este principio general : *En la accion directriz de las corrientes sobre los imanes, se desvia constantemente el polo austral hácia la izquierda de la corriente.*

657. **Galvanómetro ó multiplicador.**—Llámase *galvanómetro, multiplicador ó rheómetro*, un aparato sumamente sensible, que sirve

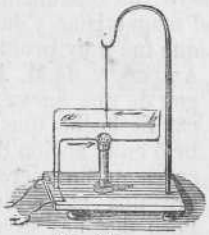


Fig. 466.

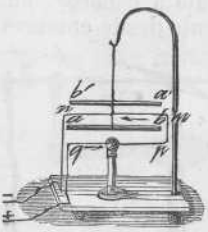


Fig. 467.

para comprobar la existencia, el sentido y la intensidad de las corrientes. Este aparato fué ideado por Schweigger, en Alemania, poco despues del descubrimiento de Œrsted.

Para comprender su principio, consideremos una aguja imantada suspendida de un hilo de seda sin torsion (fig. 466), y rodeada, en el plano del meridiano magnético, de un alambre de cobre que forma un circúito completo alrededor de la aguja, en el sentido de su longitud. Cuando se halla atravesado este alambre por una corriente, resulta del convenio establecido en el párrafo anterior, que, en todas las partes del circuito, un observador, tendido en la direccion del alambre, en el sentido de las flechas, y mirando la aguja *ab*, tendria la izquierda vuelta hácia el mismo punto del horizonte, y de consiguiente, que donde quiera la accion de la corriente tiende á hacer girar la aguja en el mismo sentido. Es decir, que las acciones de las cuatro ramas del circuito concurren para dar al polo austral la misma direccion. Arrollando al alambre de cobre en el sentido de la aguja, segun dice la figura, se ha *multiplicado*, pues, la accion de la corriente. Si en vez de una sola vuelta hay muchas, se multiplica mas la accion y aumenta la desviacion de la aguja. Sin embargo, no se multiplicaria indefinidamente la accion de la corriente continuando las circunvoluciones del alambre, pues pronto se verá que la intensidad de una corriente se debilita cuando aumenta la longitud del circuito que recorre.

Como la accion directriz de la tierra tiende sin cesar á mantener la aguja en el meridiano magnético, oponiéndose así á la accion de la corriente, se hace mucho mas sensible el efecto de esta, sirviéndose de un sistema de dos agujas astáticas (fig. 467). Entonces es muy débil la accion de la tierra sobre las agujas (562), y además se suman las acciones de la corriente sobre las dos agujas. En efecto, la accion del circuito completo tiende, segun el sentido que marcan las flechas, á desviar hácia el oeste el polo austral de la aguja inferior *ab*; y la superior *a'b'* está sometida á la accion de dos corrientes contrarias *mn* y *pq*; pero como la primera está mas cerca, es la que lleva la ventaja. Pasando esta corriente por debajo de la aguja del polo austral al boreal, tiende evidentemente á hacer girar el polo *a'* hácia el este, y de consiguiente, el *b'* hácia el oeste, esto es, en el mismo sentido que el *a* de la otra aguja.

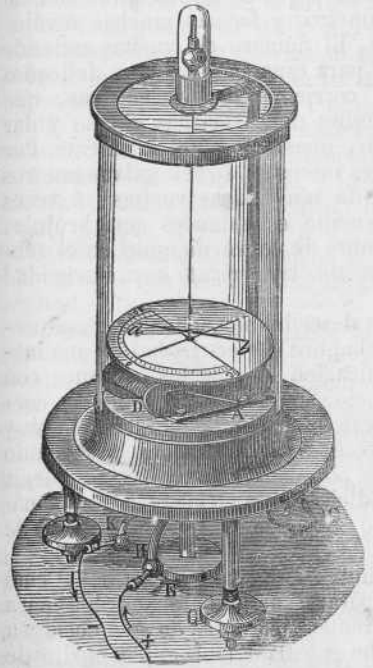


Fig. 468 (a=29).

Sentados estos principios, es fácil darse cuenta de la teoría del *multiplicador*. Este aparato (fig. 468) se compone de un bastidor D de cobre, alrededor del cual se arrolla un alambre del mismo metal, cubierto de seda en toda su longitud, á fin de aislar los circuitos entre sí. Encima de este bastidor hay un cuadrante horizontal graduado, cuyo cero corresponde al diámetro paralelo á la direccion del alambre de cobre debajo del bastidor: este cuadrante lleva dos graduaciones, una á la derecha y otra á la izquierda del cero, pero solo hasta 90 grados. Por medio de un sosten y de un hilo elemental de seda sumamente fino se suspende un sistema astático (562) formado de dos agujas de coser *ab* y A, la primera encima del cuadrante, y la segunda en el mismo circuito. Estas agujas, que se hallan reunidas entre sí por un alambre de cobre, como las de la fig. 388, no pudiéndose desviar la una sin que tambien se desvíe la otra, no deben tener idénticamente la misma intensidad magnética, pues de lo contrario cualquiera corriente, fuerte ó débil, las pondria siempre en cruz con él [1].

---

[1] Siempre que este sistema de agujas esté sostenido por un hilo elemental de seda, puede ser completamente astático; pues quedando por vencer la fuerza de torsion del hilo,

Las varillas encorvadas K y H, que comunican debajo del aparato con los dos estremos del circuito, reciben los conductores que trasmiten la corriente que se desea observar. Los tornillos C sirven para poner bien verticalmente el aparato, de modo que el hilo de suspension corresponda con exactitud al centro del cuadrante. Por fin, un boton E trasmite el movimiento al marco D y al cuadrante, que son movibles alrededor de un eje vertical, de modo que los alambres del circuito tomen la direccion del meridiano magnético, sin necesidad de tocar al aparato.

Cuando el galvanómetro sirve para observar corrientes que dependen de las acciones químicas, el alambre que se arrolla alrededor de las agujas ha de tener muy poco diámetro, y formar muchas revoluciones, de 600 á 800 por lo menos. El número de vueltas asciende frecuentemente á dos ó tres mil, y para esperimentos muy delicados ha llegado hasta 30,000. Para las corrientes termo-eléctricas, que mas adelante describirémos, el alambre debe ser mas grueso y dar menor número de vueltas, es decir, unas 200 ó 300 solamente. Por último, cuando se trata de corrientes intensas, sirven galvanómetros de una sola aguja, y el alambre da muy pocas vueltas, á veces solo una. El galvanómetro mas sencillo es entonces una brújula, por encima de la cual pasa un alambre de cobre dirigido en el sentido del meridiano magnético para recibir la corriente cuya intensidad se busca.

El galvanómetro que acabamos de describir no acusa ninguna corriente, cuando se hace pasar por el alambre la electricidad de una máquina eléctrica, poniendo en comunicacion uno de los estremos con los conductores, y el otro con el suelo. Solo se hace sensible la corriente que pasa entonces por el aparato, empleando un alambre muy fino arrollado hasta dos ó tres mil veces sobre sí mismo, y aislando completamente entre sí los circuitos por medio de seda y de barniz hecho con goma laca. Con estas condiciones, la electricidad de la máquina eléctrica desvía las agujas, lo cual demuestra la identidad de la electricidad estática con la dinámica.

658. **Graduacion del galvanómetro.**—El galvanómetro, tal cual acabamos de describirle, es un aparato sumamente sensible para comprobar la presencia de las corrientes, pero no da á conocer su intensidad. Para conseguirlo hay que construir tablas, por medio de las cuales pueda deducirse, de la desviacion de la aguja, la intensidad de la corriente.

El método mas sencillo para formar estas tablas es el del *multiplicador de dos alambres*. Arróllanse simultáneamente, en el bastidor del aparato, dos alambres de cobre cubiertos igualmente de seda, é idénticos en longitud y en diámetro; y eligiendo luego un foco de elec-

---

y aumentando esta con el ángulo de desviacion, no todas las corrientes lo desviarán el mismo número de grados, ni menos lo colocarán perpendicularmente á la direccion de la corriente. Melloni tuvo necesidad de valerse, con frecuencia, de un galvanómetro así dispuesto, y aun de quitar la parte gomosa que acompaña á la hebrita de seda recien sacada del capullo.

(N. de J. P.)

cidad dinámica constante, pero muy débil, se hace pasar la corriente por uno de los alambres, lo cual da cierta desviacion, 5 grados por ejemplo. En seguida, por medio de un foco eléctrico idéntico al primero, se hace pasar al mismo tiempo por cada alambre una corriente de igual intensidad, obteniéndose cierta desviacion, 10 grados, por ejemplo, que procede de la accion simultánea de las dos corrientes, ó lo que es lo mismo, de una corriente dos veces mas intensa que la primera. Si se hace pasar despues por uno de los alambres una corriente capaz de producir por sí sola la desviacion 10, y en el otro una de las que produjeron la desviacion 5, lo cual equivale evidentemente á una corriente triple de la primera, se obtiene la desviacion 15. En fin, haciendo pasar por cada uno de los alambres á la vez una corriente capaz de dar la desviacion 10, se observa una de 20 grados. Es decir, que *hasta 20 grados, las desviaciones crecen proporcionalmente á la intensidad de la corriente.* Pasado este término crecen con menos rapidez; pero, mediante el mismo procedimiento, se continúa determinando, de distancia en distancia, las desviaciones correspondientes á intensidades conocidas, y luego se termina la tabla por el método de las interpolaciones. Cada galvanómetro exige una tabla particular, porque la relacion entre la intensidad de la corriente y la desviacion de la aguja varía con el grado de imantacion de esta, con su longitud, con su distancia de la corriente, y por último, con la longitud del circuito.

Supuesto que hasta 20 grados las desviaciones son sensiblemente proporcionales á las intensidades, se puede, en el caso de un galvanómetro de un solo alambre, apoyarse en esta propiedad para medir hasta ese límite las intensidades por medio de las desviaciones. Para pasar adelante seria preciso construir una tabla, fundándose en las desviaciones producidas por corrientes cuya intensidad fuese conocida, y calculando en seguida, por interpolacion, las intensidades correspondientes á las desviaciones intermedias.

El multiplicador de dos alambres puede servir tambien para medir la diferencia de intensidad de dos corrientes, lo cual se obtiene haciendo pasar simultáneamente, en sentido contrario, una por cada alambre. El aparato toma entonces el nombre de *galvanómetro diferencial.*

659. **Usos del galvanómetro.** — Por su estrema sensibilidad, es el galvanómetro uno de los instrumentos mas preciosos de la física. No solo sirve para comprobar la presencia de las corrientes, sino tambien para conocer su direccion y su intensidad. Con este aparato pudo cerciorarse M. Becquerel de que hay desprendimiento de electricidad en todas las combinaciones químicas, y determinar las leyes que rigen estas combinaciones.

Por ejemplo, si se fijan en las estremidades del circuito del galvanómetro dos alambres de platino, y si se introducen estos en una cápsula llena de ácido nítrico, no se nota desviacion alguna de la aguja, lo cual era fácil prever, supuesto que aquel ácido no ataca al platino. Pero si se vierte una gota de ácido clorhídrico cerca de uno

de los alambres sumergidos, al instante se desvía la aguja del galvanómetro, dando á entender que una corriente atraviesa al circuito. En efecto, sabido es que por su reaccion mútua dan orígen los ácidos nítrico y clorhídrico al ácido cloro-nitrico ó *agua régia*, que ataca al platino. Se reconoce, además, por el sentido de la desviacion, que el platino está electrizado negativamente, y el ácido positivamente.

660. **Leyes de las acciones de las corrientes sobre los imanes.** —Las acciones que las corrientes ejercen sobre los imanes son de dos especies, directriz la una, atractiva ó repulsiva la otra. Sabemos ya (656) que la accion directriz de una corriente sobre un iman consiste en que *la corriente tiende siempre á poner al iman en cruz con ella, y con su polo austral á la izquierda de un observador que estuviese echado en la direccion de la corriente, de manera que, mirando al iman, entrase la corriente por los pies y saliese por la cabeza.*

La intensidad de la accion directriz de las corrientes sobre la aguja imantada varía con la distancia. En virtud del número de oscilaciones de la aguja, á distancias desiguales, bajo la influencia de una corriente rectilínea, han encontrado los señores Biot y Savart que *la intensidad de la resultante de las acciones directrices de todas las partes de la corriente sobre la aguja está en razon inversa de la simple distancia.*

Compruébase la accion atractiva ó repulsiva de las corrientes sobre los imanes, suspendiendo verticalmente por una de sus estremidades una aguja de coser imantada, de un hilo de seda muy fino. Se hace pasar luego muy cerca de esta aguja una corriente horizontal, observándose entonces, segun la direccion de esta, atracciones ó repulsiones que se esplican por la accion de las corrientes sobre los solenoides, cuando se comparan con estos los imanes, conforme lo hizo Ampere en una teoría que pronto espondrémos (679).

ACCIONES DE LOS IMANES Y DE LA TIERRA SOBRE LAS CORRIENTES.

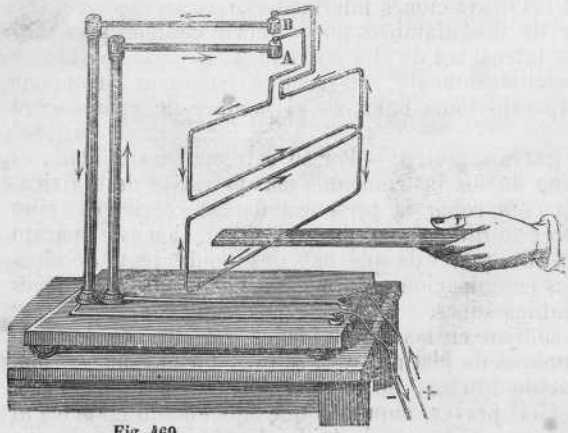


Fig. 469.

661. **Accion directriz de los imanes sobre las corrientes.** —La accion directriz entre las corrientes y los imanes es recíproca. En el esperimento de Œrsted (figura 465) es móvil la aguja imantada y fija la corriente, y por lo mismo, aquella es la que se dirige y pone en cruz

con esta. Si, por el contrario, está fijo el iman y es móvil la corriente, esta se dirige y va á ponerse en cruz con el iman, ocupando siempre la izquierda el polo austral. Para demostrar este principio, se dispone el esperimento segun indica la figura 469. El circuito que recorre la corriente es móvil, y por debajo de su rama inferior se acerca una poderosa barra imantada; al instante principia aquel á girar; pero á las pocas oscilaciones se para en un plano perpendicular al iman, de modo que el polo austral de este se encuentra á la izquierda de la corriente en la parte inferior del circuito.

662. **Accion directriz de la tierra sobre las corrientes verticales.** — La tierra, que ejerce una accion directriz sobre los imanes (553), obra tambien sobre las corrientes, imprimiéndolas, ya una direccion determinada, ya un movimiento contínuo de rotacion, segun tengan ellas una direccion vertical ú horizontal.

La primera de estas dos acciones, la que tiene por efecto dirigir las corrientes, puede formularse así: *Toda corriente vertical móvil alrededor de un eje que le es paralelo, va á colocarse, bajo la influencia de*

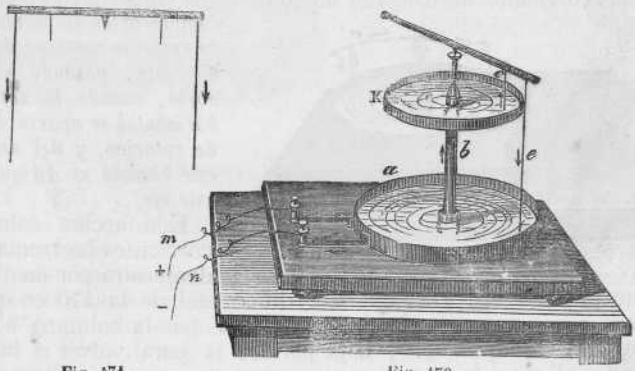


Fig. 471. Fig. 470.

la accion directriz de la tierra, en un plano perpendicular al meridiano magnético, y se detiene á las pocas oscilaciones, al este de su eje de rotacion, cuando es descendente, y al oeste cuando es ascendente.

Esperimentalmente se comprueba este hecho por medio de un aparato formado de dos vasijas de cobre *a* y K (fig. 470), de tamaño desigual. La mayor *a*, que tiene unos 30 centímetros de diámetro, lleva en su centro una abertura por la cual pasa una columna de laton *b*, aislada de la vasija *a*, pero en comunicacion con la K. Esta columna termina en una capsulita, en la cual descansa por un eje una ligera varilla de madera, en una de cuyas estremidades se arrolla un alambre fino de platino *ce*, que tiene introducidas sus dos puntas en el agua acidulada de ambas vasijas.

Llegando la corriente por el alambre *m* en la direccion de las flechas, pasa por una lámina de cobre que, por debajo de la tabla que sostie-

ne todo el aparato, va á soldarse con el pie de la columna *b*. Sube entonces la corriente por esta columna, llega á la vasija K y á su agua acidulada, pasa por el alambre *c*, baja por el *e*, y dirigiéndose por las paredes de la vasija *a* al traves de su agua acidulada, termina en el alambre *n*, que la vuelve á la pila.

Cerrada así la corriente, se nota que el alambre *e* se mueve alrededor de la columna *b*, parándose al este de ella cuando es descendente, como en nuestro dibujo; pero si es ascendente, lo cual se obtiene haciendo llegar la corriente de la pila por el alambre *n*, el *e* se para al oeste de *b*, en una posicion diametralmente opuesta á la del caso anterior.

Si á la varillita de madera de un solo alambre, de la figura 470, se sustituye la de dos alambres de la figura 471, ya no se dirige, como era fácil preverlo, supuesto que, tendiendo cada alambre á colocarse al este de la columna *b*, se producen dos efectos iguales y de direccion contraria, que se equilibran.

663. **Accion de la tierra sobre las corrientes horizontales móviles alrededor de un eje vertical.** — La accion de la tierra sobre las corrientes horizontales no consiste ya en dirigirlas, sino *en comunicarlas un movimiento de rotacion continuo del este al oeste, pasando por el norte, cuando la corriente horizontal se aparta del eje de rotacion, y del oeste al este cuando se dirige hácia este eje.*

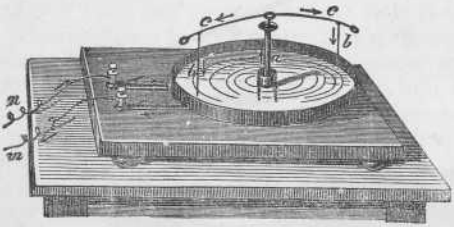


Fig. 472.

Esta accion sobre las corrientes horizontales se demuestra por medio del aparato de la figura 472, que solo difiere del de la 470 en que no hay mas que una vasija. La corriente sube por la columna *a*, pasa por los dos alambres *cc*, y baja por los *bb* para volver á la pila. Entonces, el circuito *bccb* se pone á girar con movimiento contínuo del este al oeste ó del oeste al este, segun en los alambres *cc* se aleje la corriente del centro, como en nuestro grabado, ó se acerque, lo cual se consigue haciendo llegar por el alambre *m*, y no por el *n*, la corriente de la pila.

Sabemos (662, fig. 471) que queda destruida la accion de la tierra sobre los alambres verticales *bb*, luego depende la rotacion de su accion sobre las ramas horizontales *cc*.

664. **Accion directriz de la tierra sobre las corrientes cerradas, móviles alrededor de un eje vertical.** — Si la corriente sobre la cual obra la tierra está cerrada, sea rectangular, sea circular, ya no se produce un movimiento contínuo de rotacion, sino una accion directriz, como en el caso de las corrientes verticales (662), en virtud de la cual *la corriente va á situarse en un plano perpendicular al meridiano magnético, de modo que sea descendente al este de su eje de rotacion, para un observador que mire al norte, y ascendente al oeste.*

Esta propiedad, que se comprueba por medio del aparato de la figura 473, es una consecuencia de lo que se ha dicho acerca de las corrientes horizontales y verticales. En efecto, dedúcese de esto que en el circuito cerrado ADB, la corriente en las partes superior é inferior tiende á girar en sentido contrario, segun la ley de las corrientes horizontales (663), y que de consiguiente hay equilibrio; mientras que en las partes laterales tiende á situarse por un lado al este y por otro al oeste, en virtud de la ley de las corrientes verticales (662).

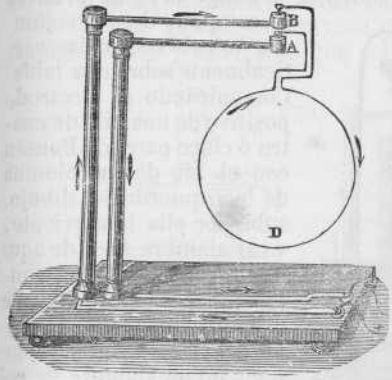


Fig. 473.

A causa de la accion directriz de la tierra sobre las corrientes, es necesario, en la mayor parte de los esperimentos sobre ellas, sustraerlas de dicha accion. Dáse, al efecto, al circuito móvil una forma simétrica á ambos lados de su eje de rotacion, de modo que las acciones directrices de la tierra en las dos partes del circuito tiendan á hacerlas girar en sentido contrario, y por lo mismo, se destruyan. Queda satisfecha esta condicion en los circuitos de las figuras 474 y 475; y por eso se da á las corrientes que los recorren el nombre de *corrientes astáticas*.

Muy pronto esplicarémos de un modo sumamente sencillo (679) todas las acciones que ejerce la tierra sobre las corrientes (662, 663 y 664), fundándonos en las acciones mútuas de las corrientes eléctricas (669 á 673), y adoptando la hipótesis de Ampere, quien suponia que recorren la tierra de este á oeste corrientes eléctricas perpendiculares al meridiano magnético.

CAPITULO IV.

ELECTRO-DINAMICA, ATRACCIONES Y REPULSIONES DE LAS CORRIENTES POR LAS CORRIENTES.

665. **Acciones mútuas de las corrientes eléctricas.** — Cuando una corriente eléctrica atraviesa simultáneamente dos alambres cercanos, se produce entre estos, segun la direccion relativa de las dos corrientes, atracciones ó repulsiones análogas á las que se ejercen entre los polos de dos imanes. Estos fenómenos, cuyo descubrimiento debemos á Ampere, poco despues de los de OErsted (656), constituyen una rama de la electricidad dinámica, que se designa con el nombre de *electro-dinámica*. Las leyes que les rigen ofrecen diversos

casos, segun que las corrientes sean paralelas ó angulares, rectilíneas ó sinuosas.

666. Leyes de las corrientes paralelas. — **1.ª** *Dos corrientes paralelas y en el mismo sentido se atraen;*

2.ª *Dos corrientes paralelas y en sentido contrario se repelen.*

Para demostrar estas leyes, se divide el circuito que recorre la corriente en dos partes, fija la una y móvil la otra (fig. 474). La primera se compone de dos columnas de cobre situadas verticalmente sobre una tabla. Comunicando el electrodo positivo de una pila de cuatro ó cinco pares de Bunsen con el pie de la columna de la izquierda del dibujo, sube por ella la corriente, va al alambre A, y de aquí á una cápsula B que contiene mercurio. A partir de esta, principia la parte móvil del circuito, que se compone de un alambre de cobre, una de cuyas estremidades se apoya por medio de un eje en la cápsula B, y la otra se introduce en una segunda cápsula C, desde la cual pasa la corriente á la columna de la derecha, que comunica por su vértice con el electrodo negativo de la pila.

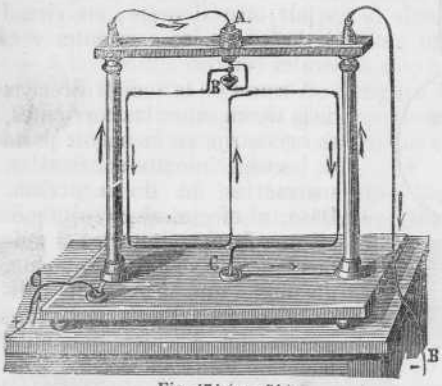


Fig. 474 (a=51).

Vista la disposicion de las flechas, la corriente marcha en sentido contrario en las columnas y en el circuito móvil. Este, que se puso antes de que pasara la corriente en el plano de los ejes de las columnas, se aleja del mismo girando sobre su eje B, luego que circula la corriente, quedando así demostrada la segunda ley.

Para la demostracion de la primera, se quita el circuito móvil de la figura 474, y se le sustituye el de la 475. Teniendo entonces el mismo sentido la corriente en las columnas y en la parte móvil, se comprueba que hay atraccion, porque el circuito movible vuelve siempre al plano de los ejes de las dos columnas luego que se lo aleja de él.

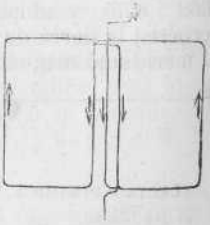


Fig. 475.

667. Leyes de las corrientes angulares. — **1.ª** *Dos corrientes rectilíneas, cuyas direcciones forman entre sí un ángulo, se atraen cuando ambas se acercan ó se alejan del vértice.*

2.ª *Se repelen, si la una va hácia el vértice del ángulo y la otra se aleja del mismo.*

Para demostrar estas dos layes, generalmente se hace uso de un aparato que hemos dado á conocer en nuestras ediciones anteriores,

y que es debido á M. Pouillet. Pero este aparato funciona con dificultad, y debe ser preferido el que está representado en la figura 477. Este último, que no es mas que una modificacion de un aparatito adoptado ya por Ampere para demostrar las leyes de las corrientes angulares, y que está descrito en el *Tratado de electricidad* de M. de La Rive, es sumamente sensible, segun lo hemos comprobado nosotros mismos, habiéndolo hecho construir por M. Deleuil.

Se observa que no es otra cosa que el aparato ya representado en las figuras 469 y 473, solo que sobre la tabla se coloca un pequeño

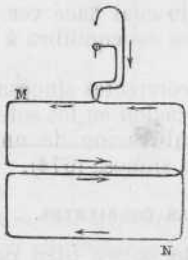


Fig. 476.

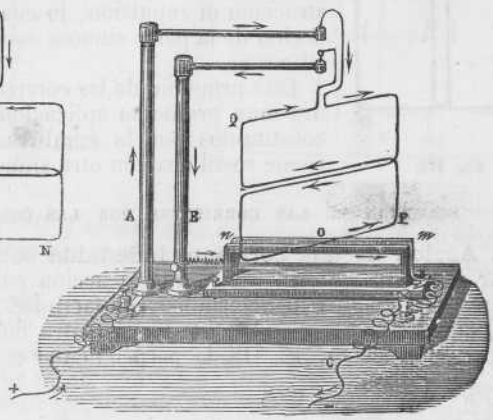


Fig. 477.

bastidor de madera *mn*, sobre el cual se arrolla muchas veces un grueso alambre por el cual pasa la corriente, de manera que multiplique su accion sobre el circuito móvil PQ, que es astático. Entendido esto, si la corriente entra por el pie de la columna A, gana el circuito PQ que ella recorre segun la direccion que marcan las flechas; luego vuelve por la columna B, pasa al multiplicador, y sale por C. Pero, habiendo dispuesto el circuito móvil de manera que su plano forme ángulo con el multiplicador, y la corriente, separándose del vértice del ángulo en los dos alambres, segun lo indica la figura, se observa, al momento de pasar la corriente, que disminuye el ángulo PO*m*, lo cual manifiesta que, conforme con la primera ley, hay atraccion entre las dos corrientes. Por el contrario, si al circuito PQ se sustituye el circuito MN (fig. 476), las dos corrientes tienen entonces sentidos contrarios con relacion al vértice del ángulo PO*m*, y se ve que este aumenta, lo cual manifiesta que hay repulsion, y prueba la segunda ley.

Ampere dedujo de esta segunda ley, que una corriente angular tiende á hacerse rectilínea, y que, *en una de estas últimas, cada elemento de la corriente repele al siguiente y es repelido por este mismo.* Se procura, de ordinario, demostrar este principio haciendo ver que,

cuando pasa la corriente desde un baño de mercurio á un alambrito de cobre que se apoya en la superficie líquida, es rechazado dicho alambre; pero la resistencia que resulta del cambio de conductor puede bastar para producir el fenómeno.

668. **Leyes de las corrientes sinuosas.** —*La accion de una corriente sinuosa es la misma que la de una corriente rectilínea de longitud igual en proyeccion.* Este principio se demuestra disponiendo una corriente *mno*, mitad sinuosa, mitad rectilínea, cerca de otra móvil ABCD (fig. 478). No se observa entonces atraccion ni repulsion, lo cual hace ver que la accion de la parte sinuosa *mn* equilibra á la rectilínea *no*.

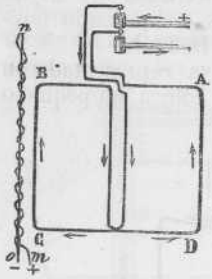


Fig. 478.

Este principio de las corrientes sinuosas tendrá muy pronto su aplicacion en los solenoides constituidos por la combinacion de una corriente rectilínea con otra sinuosa (674).

DIRECCION DE LAS CORRIENTES POR LAS CORRIENTES.

669. **Accion de una corriente indefinida sobre otra perpendicular á su direccion.** — Atendida la accion entre dos corrientes angulares (667), se puede determinar con facilidad la de una rectilínea PQ (fig. 479), fija é indefinida, sobre otra móvil KH, perpendicular á su direccion. Sea OK la perpendicular comun á KH y PQ,

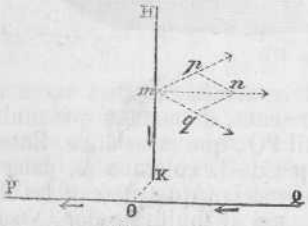


Fig. 479.

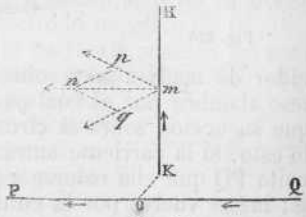


Fig. 480.

la cual es nula, si se encuentran las dos líneas PQ y KH. Dirigida la corriente PQ de Q hácia P, en el sentido de las flechas, consideremos primero el caso en que la KH se acerque á la PQ. Segun la primera ley de las corrientes angulares (667), la porcion QO de la PQ atrae la KH, pues estas corrientes se dirigen ambas hácia el vértice del ángulo formado por sus direcciones. La porcion PO de la PQ repele al contrario la KH, porque ambas corrientes estan en sentido contrario con relacion al vértice del ángulo formado por sus direcciones. Representando, pues, por *mp* y *mq* las dos fuerzas, atractiva la una y repulsiva la otra, que solicitan la corriente KH, fuerzas que tienen necesariamente la misma intensidad, porque todo es simétrico á ambos lados del punto O, sabemos ya (29) que dichas dos

fuerzas se componen en una única *mn*, que tiende á arrastrar la corriente KH paralelamente á la PQ, en un sentido opuesto al de esta última.

Si se considera el caso en que la corriente KH se aleja de la PQ (fig. 480), se reconoce con facilidad que es arrastrada tambien paralelamente á esta, pero en su mismo sentido.

Podemos sentar, pues, este principio general : *Una corriente finita móvil, que se acerca á otra fija indefinida, es solicitada para que se mueva*

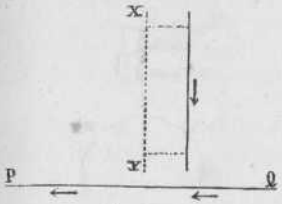


Fig. 481.

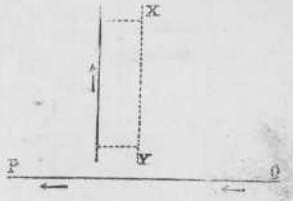


Fig. 482.

en una direccion paralela y opuesta á la de la fija; y si la móvil se separa de esta, es solicitada tambien para moverse paralelamente á la misma, pero en el mismo sentido.

Síguese de aquí que, siendo móvil una corriente vertical alrededor de un eje XY paralelo á su direccion (fig. 481 y 482), cualquiera otra horizontal PQ tiene por efecto hacer girar á aquella, *hasta que el plano del eje y de la corriente sea paralelo á* PQ, deteniéndose la corriente vertical, con relacion á su eje, *en el lado de donde viene la* PQ (fig. 481),

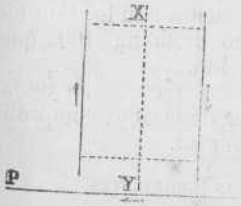


Fig 483.

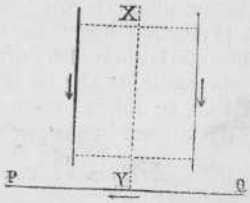


Fig. 484.

ó *en el en que se dirige* (fig. 482), *segun la corriente vertical sea descendente ó ascendente;* es decir, segun se acerque ó se desvíe de la horizontal.

Dedúcese tambien del anterior principio, que un sistema de dos corrientes verticales, que gira á la vez alrededor de un eje vertical (fig. 483 y 484), es dirigido por una corriente horizontal PQ por un plano paralelo á la misma, cuando una de las dos corrientes verticales es ascendente, y descendente la otra (fig. 483); pero si ambas son descendentes (fig. 484), ó ambas ascendentes, no reciben direccion alguna.

670. **Accion de una corriente rectilínea indefinida sobre otra corriente rectangular ó circular.** — Fácil es reconocer que una corriente horizontal indefinida ejerce sobre otra rectangular móvil alrededor de un eje vertical (fig. 485) la misma accion directriz antes citada. En efecto, en vista de la direccion de las corrientes que marcan las flechas, la porcion QY obra por atraccion, no solo sobre la parte horizontal YD (ley de las corrientes angulares), sino tambien sobre la vertical AB (ley de las corrientes perpendiculares, 669).

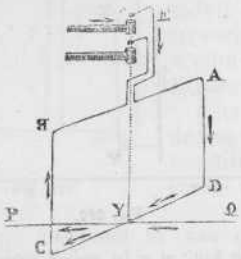


Fig. 485.

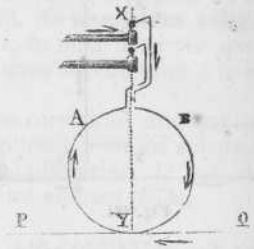


Fig. 486.

La misma accion tiene evidentemente lugar entre las partes PY y las CY y BC. De consiguiente, *la corriente fija* PQ *tiende á dirigir la rectangular móvil* ABCD *en una posicion paralela á* PQ, *y tal que, en los alambres* CD *y* PQ, *sea el mismo el sentido de las dos corrientes.*

Fácil es de demostrar este principio de un modo esperimental, colocando el circuito ABCDE sobre el aparato de dos columnas de la figura 473, y haciendo pasar por debajo una corriente algo intensa, que forme primero con él un ángulo mas ó menos agudo. Con todo, seria preferible hacer uso del circuito mismo de la fig. 469, que es astático (664), mientras que no lo es el de la 485.

Todo cuanto acaba de decirse de la corriente rectangular de la figura 485, se aplica exactamente á la circular de la 486, comprobándose del mismo modo por medio de la esperiencia.

ROTACION DE LAS CORRIENTES POR LAS CORRIENTES.

671. **Rotacion de una corriente horizontal finita por otra rectilínea horizontal indefinida.** — Las atracciones y repulsiones que ejercen entre sí las corrientes angulares pueden trasformarse con facilidad en movimiento circular contínuo. Sea una corriente OA (figura 487), móvil alrededor del punto O, en un plano horizontal, y PQ otra indefinida tambien horizontal. Dirigidas estas dos corrientes en el sentido de las flechas, es claro que, en la posicion OA, la corriente móvil es atraida por la PQ, supuesto que ambas llevan la misma direccion. Llegada á OA′, es atraida por la porcion NQ de la corriente fija, y repelida por la PN. Del mismo modo, en la posicion OA″ es atraida por MQ y repelida por PN, y así sucesivamente; resultando de aquí un movimiento contínuo de rotacion en el sentido

AA'A''A'''..... Si la corriente móvil, en vez de dirigirse de O á A, se dirigiese de A á O, seria fácil ver que la rotacion se efectuaria en sentido contrario. De consiguiente, *por efecto de la corriente fija indefinida* PQ, *la corriente móvil* OA *tiende á girar con un movimiento continuo en una direccion retrógrada á la de la fija.*

Si siendo tambien horizontales las dos corrientes, la fija es circular en vez de rectilínea, es fácil reconocer que tendrá tambien por

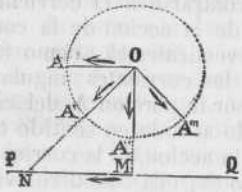


Fig. 487.

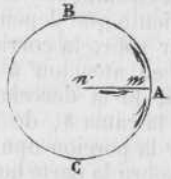


Fig. 488.

efecto producir un movimiento circular contínuo. Sean, en efecto, dos corrientes situadas en un plano horizontal, la una ABC (fig. 488) fija y circular, y la otra *mn* rectilínea y móvil alrededor del centro *n*. Dirigidas estas corrientes en el sentido de las flechas, se atraen en el ángulo *n*AC, porque van las dos hácia el vértice (667, 1.°); y en el *n*AB, por el contrario, se repelen, por ir la una hácia el vertice y la otra en sentido contrario. Los dos efectos concurren, pues, para hacer girar al alambre *mn* de un modo contínuo en el sentido ACB.

672. **Rotacion de una corriente vertical por otra circular horizontal.** — Una corriente circular horizontal, que actua sobre otra rectilínea vertical, le imprime tambien un movimiento contínuo

Fig. 489.

de rotacion. Sirve para demostrarlo el aparato de la fig. 489. Se compone de una vasija de cobre, alrededor de la cual se arrolla una lámina del mismo metal, cubierta de seda ó de lana, y recorrida por una corriente fija. En el centro de la vasija hay una columna de laton *a*, terminada por una cápsula que contiene mercurio, y en la cual se introduce un eje que sostiene un alambre de cobre *bb*, encorvado en sus dos estremidades en dos ramas verticales, que van á soldarse con un anillo muy ligero de cobre que se sumerge en el agua

acidulada de la vasija. Ahora bien, si la corriente de una pila llega por el alambre *m*, va á la lámina A, de donde, despues de muchas circunvoluciones alrededor de la vasija, pasa á la lámina B, y de aquí, por debajo de la vasija, á la parte inferior de la columna *a*. Subiendo entonces por esta, pasa por los alambres *bb*, por el anillo de cobre, por el agua acidulada y por las paredes de la vasija, hasta volver á la pila por el alambre D. Cerrada así la corriente, principian á girar el circuito *bb* y el anillo en sentido contrario á la corriente fija, movimiento que depende evidentemente de la accion de la corriente circular sobre la corriente de las ramas verticales *bb*, como fácil es verlo, en atencion á las dos leyes de las corrientes angulares, la rama *b*, de la derecha, siendo atraida por la porcion A del circuito fijo, y la rama *b*, de la izquierda, siendo atraida en sentido contrario por la porcion opuesta. En cuanto á la accion de la corriente circular sobre la parte horizontal del circuito *bb*, ella concurre evidentemente para hacer girar en el mismo sentido.

673. **Rotacion de los imanes por las corrientes.** — Iguales movimientos de rotacion que las corrientes hacen tomar á las corrientes, imprimen ellas á los imanes, lo cual ha sido demostrado la primera vez por Faraday, mediante el aparato representado en la fig. 490.

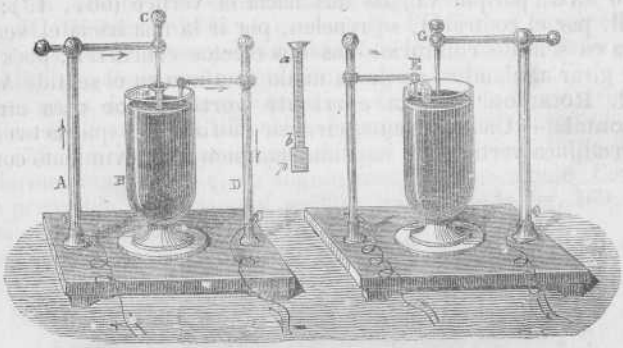


Fig. 490. Fig. 491.

Se compone este aparato de una ancha probeta de cristal casi completamente llena de mercurio. Hácia el centro del líquido se introduce un iman de unos 20 centímetros de longitud, y lastrado por su parte inferior con un cilindro de platino, segun lo demuestra la figura en *ab*. En la parte superior del iman hay ajustada una capsulita de cobre que contiene mercurio; á esta capsulita es donde se hace llegar la corriente por la varilla C. Entendido esto, al momento que la corriente, subiendo por la columna A, pasa al iman, de aquí al mercurio, y sale por la columna D, se ve girar al iman sobre sí mismo, alrededor de su eje, con una velocidad que depende de su potencia magnética y de la intensidad de la corriente.

Se esplica este movimiento de rotacion apoyándose en la teoría de Ampere, que darémos á conocer muy luego, y segun la cual son recorridos los imanes en sus contornos por una infinidad de corrientes circulares del mismo sentido, en planos perpendiculares al eje del iman (679). Supuesto esto, en el momento en que, en el esperimento anterior, la corriente pasa del iman al mercurio, se divide, en la superficie de este, en una infinidad de corrientes rectilíneas dirigidas desde el eje del iman al perímetro de la probeta. Ahora bien, cada corriente de estas obra sobre las corrientes del iman, del mismo modo que en la fig. 488 la corriente rectilínea *mn* obra sobre la corriente circular CAB, es decir, que representando el círculo CAB una de las corrientes del iman, hay atraccion en el ángulo *n*AC, y repulsion en el *n*AB, y por consiguiente, rotacion contínua del iman alrededor de su eje. Esta accion de la corriente se verifica tan solo hácia la estremidad superior del iman; y si el polo austral está hácia arriba, como su dibujo adjunto, la rotacion se verifica de oeste á este, pasando por el norte. Si el polo austral está hácia abajo, cambia el sentido de la rotacion, lo mismo que si se hubiese cambiado la direccion de la corriente.

En vez de hacer girar al iman sobre su eje, se le puede hacer girar alrededor de una recta paralela á este eje, disponiendo el esperimento como lo manifiesta la fig. 491.

SOLENOIDES.

674. **Composicion de un solenoide.** — Llámase *solenoide* un sistema de corrientes circulares iguales y paralelas, formadas por un mismo alambre de cobre cubierto de seda y replegado sobre sí mismo en espiral (fig. 492). Con todo, no es completo un solenoide si parte BC del alambre no pasa por el eje en el interior de la hélice. Con esta disposicion, cuando una corriente recorre el circuito, resulta de lo dicho acerca de las corrientes sinuosas (668), que la accion del solenoide, en el sentido de su longitud AB, queda destruida por la de la corriente rectilínea BC. Esta accion es, pues, nula en el sentido de la longitud, y de consiguiente, el efecto del solenoide equivale rigurosamente, en una direccion perpendicular al eje, al de una série de corrientes circulares iguales y paralelas.

Fig. 492.

675. **Accion de las corrientes sobre los solenoides.** — Cuanto se ha dicho acerca de la accion de las corrientes rectilíneas fijas sobre las finitas, rectangulares ó circulares (670), se aplica evidentemente á cada uno de los circuitos de un solenoide, y por lo mismo, toda corriente rectilínea debe tender á dirigir estos circuitos paralelamente á sí misma. Para comprobar esperimentalmente este hecho, se construye el solenoide segun indica la fig. 493, de modo que se le pueda suspender por dos ejes sobre las capsulitas A y B del aparato representado en la fig. 473. El solenoide está entonces muy móvil alrededor de un eje vertical, y si se dirige por debajo, paralelamente

á su eje, una corriente rectilínea que pase al mismo tiempo por los alambres del solenoide, se ve que este gira y se pone en cruz con la corriente, es decir, en una posicion tal, que sus circunvoluciones son paralelas á la corriente fija, y además, en la parte inferior de cada uno de ellos tiene la corriente el mismo sentido que en el alambre rectilíneo.

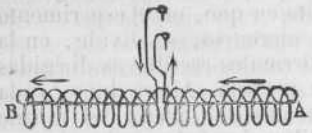


Fig. 493.

Si en vez de hacer pasar horizontalmente una corriente rectilínea por debajo del solenoide, se efectúa verticalmente por el lado, se observa una atraccion ó una repulsion, segun en el alambre vertical y en la parte mas próxima al solenoide, tengan el mismo sentido ó sentidos contrarios las dos corrientes.

676. **Acciones mútuas de los solenoides.**—Cuando se hace obrar el uno sobre el otro dos solenoides atravesados por una corriente bastante poderosa, el uno en la mano y el otro móvil alrededor de un eje vertical que pase por su centro de figura (fig. 494), se observan, entre las estremidades de estos dos solenoides, fenómenos de

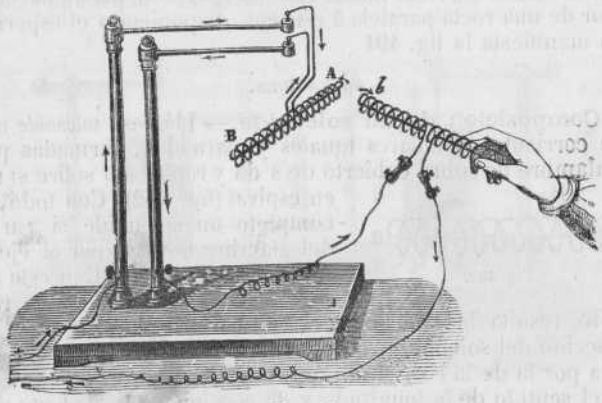


Fig. 494.

atraccion y de repulsion idénticos á los que ofrecen entre sí los polos de los imanes. Estos fenómenos se esplican por la direccion relativa de las corrientes en las estremidades que estan en presencia (666). En fin, pronto se verá (678) que se reproducen entre los solenoides y los imanes iguales fenómenos de atraccion y de repulsion que entre los mismos imanes.

677. **Accion directriz de la tierra sobre los solenoides.**—Suspendiendo de las capsulitas A y B del aparato de dos columnas (fig. 473) el solenoide de suspension (fig. 493), y dirigiéndolo primero fuera del meridiano magnético, se observa que, luego que una corriente bastante enérgica pasa por el solenoide, entra este en movi-

miento, y se detiene en una direccion tal, que su eje es paralelo á la de la aguja de declinacion (555). Además, en la parte inferior de las corrientes circulares que componen el solenoide, se dirige la corriente del este al oeste. La accion directriz de la tierra sobre los solenoides es, pues, la consecuencia de la que ejerce sobre las corrientes circulares (664).

En este esperimento, por dirigirse el solenoide como una aguja imantada, se llama *polo austral*, lo mismo que en los imanes, la estremidad que va hácia el norte, y *polo boreal* la que va hácia el sur

678. **Acciones mútuas de los imanes y de los solenoides.** —Se han visto ya las atracciones y repulsiones recíprocas que ejercen entre sí los solenoides (676), y entre estos y los imanes se manifiestan los mismos fenómenos. En efecto, si se presenta á un solenoide móvil, y atravesado por una corriente, uno de los polos de una fuerte barra imantada, hay repulsion ó atraccion, segun los polos del iman y del solenoide que estan en presencia tengan el mismo nombre ó el contrario. Recíprocamente, el mismo fenómeno tiene lugar si se presenta á una aguja imantada móvil un solenoide cogido con la mano mientras se halla atravesado por una corriente. La ley de las atracciones y repulsiones de los imanes (546) se aplica, pues, exactamente á las acciones mútuas de los solenoides y de los imanes.

679. **Teoría de Ampere sobre el magnetismo.** — Fundándose Ampere en la analogía que hay entre los solenoides y los imanes, dió una ingeniosa teoría, por medio de la cual entran los fenómenos magnéticos en el dominio de la electro-dinámica.

Fig. 495.

En vez de atribuir los fenómenos magnéticos á la existencia de dos fluidos (547), buscó su causa Ampere en corrientes voltáicas circulares que existirian alrededor de las moléculas de las sustancias magnéticas. Cuando estas sustancias no estan imantadas, se efectúan en todos sentidos las corrientes moleculares, y es nula la resultante de sus acciones electro-dinámicas.

En los imanes, por el contrario, siendo paralelas todas las corrientes moleculares y guardando la misma direccion, sus acciones concordantes tienen una resultante que equivale á una corriente única dirigida circularmente en la superficie del iman (fig. 495), de suerte que los imanes no son mas que solenoides, y las atracciones y repulsiones magnéticas una consecuencia de las acciones de las corrientes sobre las corrientes.

En fin, en esta teoría, para esplicar los efectos terrestres magnéticos, se admite la existencia de corrientes eléctricas que circulan sin cesar alrededor de nuestro globo, del este al oeste, perpendicularmente al meridiano magnético. Por su naturaleza vendrian á ser corrientes termo-eléctricas (711) debidas á las variaciones de temperatura que resultan de la presencia sucesiva del sol en los diferentes puntos de la superficie del globo, del oriente hácia el occidente.

Estas corrientes son las que dirigen las agujas de las brújulas y dan á los minerales de hierro una imantacion natural. Y en fin, son causa tambien de la accion de la tierra sobre las corrientes horizontales y verticales (662 y 663), accion que ahora se esplica sin dificultad por lo que se ha dicho de la accion de una corriente horizontal indefinida sobre las horizontales y verticales (670 y 671).

CAPÍTULO V.

IMANTACION POR LAS CORRIENTES, ELECTRO-IMANES, TELEGRAFOS ELECTRICOS.

680. **Imantacion por las corrientes.**—En vista de la influencia que las corrientes ejercen sobre los imanes, desviando el polo austral á izquierda y el boreal á derecha, es de suponer que, obrando sobre las sustancias magnéticas en el estado natural, deben tender las corrientes á separar los dos fluidos magnéticos. Obsérvase, en efecto, que introduciendo un alambre, recorrido por una corriente, en limaduras de hierro, se adhieren estas con abundancia, volviendo á caer apenas cesa la corriente, mientras que es nula la accion en la limadura de cualquier otro metal no magnético.

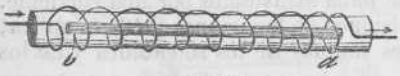


Fig. 496.

Fig. 497.

La accion de las corrientes sobre las sustancias magnéticas es sobre todo sensible cuando se arrolla, segun lo hizo Ampere, un alambre de cobre cubierto de seda alrededor de un tubo de vidrio, y se coloca en este una barra no imantada de acero. Obsérvase que basta que atraviese una corriente al alambre, aun por muy poco tiempo, para que quede fuertemente imantada la barra.

Si en vez de hacer atravesar el alambre por la corriente de la pila, se hace pasar por él la descarga de una botella de Leyden, poniendo en comunicacion uno de los estremos con la armadura esterior, y el otro con la interior, se nota tambien que se imanta la barra. Puede imantarse igualmente, pues, por la electricidad voltáica y por la de las máquinas.

En el esperimento anterior, puede arrollarse el alambre de izquierda á derecha por encima, y entonces se tiene una *hélice dextrorsum* (fig. 496), ó bien de izquierda á derecha por debajo, y se tiene una *hélice sinistrorsum* (fig. 497). En la primera, el polo boreal de la barra está siempre en la estremidad por donde entra la corriente, aconteciendo lo contrario en la segunda.

La naturaleza del tubo en el cual se arrolla la hélice, no deja de tener su influencia; pues si bien no ejercen efecto alguno la madera

y el vidrio, sin embargo, el cobre puede destruir por completo el efecto de la corriente. Lo propio sucede con el hierro, la plata y el estaño.

Por lo demás, si se desea imantar una barra de acero por la electricidad, no es preciso colocarla en un tubo (fig. 496 y 497), sino que basta rodearla en toda su longitud por un alambre de cobre cubierto de seda, á fin de aislar entre sí las circunvoluciones del alambre. Así se multiplica la accion de la corriente (657) cuando se la hace pasar por el alambre, bastando una corriente poco intensa para obtener un fuerte grado de imantacion.

En virtud de numerosos esperimentos hechos por de Haldat, un cilindro de hierro dulce, hueco, por delgada que sea su cubierta, adquiere, en el interior de una hélice recorrida por una corriente, sensiblemente la misma intensidad magnética que un cilindro macizo de iguales dimensiones. Deduzo de aquí de Haldat que en los imanes el magnetismo reside por completo en la superficie, no ejerciendo apenas influencia alguna su masa.

681. **Electro-imanes.** — Llámanse *electro-imanes* unas barras de hierro dulce que se imantan por la influencia de una corriente voltáica, pero solo temporalmente, porque siendo inapreciable la fuerza coercitiva del hierro dulce (550), se neutralizan los dos fluidos magnéticos luego que ya no pasa la corriente. Con todo, si el hierro no es perfectamente puro, conserva vestigios mas ó menos sensibles de imantacion. Se disponen los electro-imanes en forma de herradura (fig. 498), y se arrolla muchísimas veces en las dos ramas un mismo alambre de cobre cubierto de seda, de modo que forme dos cilindros huecos A y B. Debe arrollarse en ambas en sentido contrario, á fin de que las dos estremidades de la barra sean dos polos de nombre contrario.

Fig. 498 (a = 90).

Numerosas investigaciones se han hecho con objeto de determinar las condiciones necesarias para obtener electro-imanes de la mayor potencia posible, y apreciar la influencia ejercida por las dimensiones del hierro en forma de herradura, por el diámetro y número de vueltas del alambre conductor, y en fin, por la intensidad y orígen de la cor-

riente que recorre este alambre. Aunque los resultados obtenidos hasta ahora no hayan tenido siempre la concordancia que es de desear, se admite, en general, que las mejores condiciones que hay que observar son las siguientes:

1.ª El hierro de la barra debe ser lo mas dulce posible, cualidad que, no solamente depende de su grado de pureza, sino mas bien de la manera cómo ha sido preparado; porque debe de ser recocido muchas veces, teniendo cuidado de enfriarle muy lentamente.

2.ª La forma y las dimensiones de la barra modifican su potencia magnética. Resulta de los trabajos de MM. Lentz, Jacoby, Muller, Dub y Niklès que, las demás condiciones iguales, la longitud de las ramas de un electro-iman está sin influencia sobre el peso que puede sostener, cuando la barra está encorvada en forma de herradura, y ambas ramas estan arrolladas por el alambre en sentidos contrarios; pero si la barra es rectilínea no formando mas que una sola bobina, ó si, teniendo la forma de herradura, las dos bobinas estan arrolladas en el mismo sentido, el poder atractivo aumenta con la longitud de la barra. En cuanto al grosor del cilindro de hierro dulce, M. el doctor J. Dub ha encontrado recientemente que la potencia de un electro-iman para hacer desviar la aguja imantada es proporcional á la raiz cuadrada del diámetro de este cilindro, y que, si se trata de sostener pesos, es proporcional al mismo diámetro. Finalmente, para corrientes intensas, la potencia de un electro-iman aumenta con la separacion de las bobinas. «En general, dicen MM. Becquerel en su *Tratado de electricidad*, hay que atenerse á las dimensiones siguientes: la longitud de cada rama envuelta de alambre varía entre 2 veces y media y 4 veces el diámetro de la barra de hierro; la separacion de las ramas en el interior tiene de 1 y media á 2 veces el diámetro del hierro; en cuanto á la longitud del alambre arrollado, depende de los efectos que se traten de producir, y se envuelven comunmente las dos ramas hasta que las bobinas de cada lado se toquen por las últimas vueltas del alambre.»

3.ª Para corrientes poco enérgicas, se admite que, todas las cosas iguales por otra parte, la intensidad magnética del electro-iman es proporcional al número de vueltas del alambre; pero esta ley no se puede admitir mas que hasta un cierto límite, puesto que la potencia magnética de todo iman tiene un máximum que corresponde al punto de saturacion. Por lo demás, la longitud del alambre, y por consiguiente el número de vueltas varían con los efectos que se tratan de obtener. Si se trata de construir un electro-iman destinado á sostener pesos considerables, se debe hacer uso de una pila á gran superficie, y escoger un alambre de 1 á 3 ó 4 milímetros de diámetro, lo cual no permite hacerle dar un número de vueltas muy considerable. Si, por el contrario, se tiene una corriente débil, como en la telegrafía eléctrica, se hace uso de un alambre muy largo y de pequeño diámetro, á fin de obtener un grandísimo número de vueltas y aumentar así la potencia del electro-iman.

Los electro-imanes han recibido importantes aplicaciones en los te-

légrafos eléctricos, en los motores electro-magnéticos, en los relojes eléctricos y en el estudio de los fenómenos diamagnéticos.

682. **Movimiento vibratorio y sonidos producidos por las corrientes.** — Cuando una barra de hierro dulce se imanta por la influencia de una fuerte corriente eléctrica, produce un sonido muy pronunciado, que varía segun sea mas ó menos larga la barra, pero que no es producido mas que en el acto de cerrarse ó de interrumpirse la corriente. Este fenómeno, que observaron primeramente M. Page en América y M. Delezenne en Francia, ha sido estudiado sobre todo por M. de La Rive, quien lo atribuye á un movimiento vibratorio de las moléculas de hierro por efecto de una rápida sucesion de imantaciones y de desimantaciones.

Interrumpiendo y restableciendo la corriente á intervalos muy cortos, observó aquel físico que, sea cual fuere la forma ó el tamaño de las barritas de hierro dulce, se distinguen siempre dos sonidos, á saber: el uno, que es musical, corresponde al que daria la barra vibrando trasversalmente, y el otro, que consiste en una série de golpes secos correspondientes á las alternativas de la corriente, lo compara M. de La Rive al ruido de la lluvia que cae sobre un techo de metal. El sonido mas fuerte, á su decir, es el que se obtiene tendiendo sobre una mesa armónica alámbres de hierro dulce de 1 á 2 milímetros de diámetro, bien recocidos, y de 1 á 2 metros de longitud. Dispuestos estos alambres en el eje de una ó de muchas bobinas atravesadas por corrientes poderosas, producen un conjunto de sonidos cuyo efecto es sorprendente y se parece mucho al de varias campanas de iglesia que esten vibrando juntas á lo lejos.

M. de La Rive ha obtenido tambien los mismos sonidos haciendo pasar la corriente discontínua, no ya por bobinas rodeando los alambres de hierro, sino por estos mismos. El sonido musical es entonces mas fuerte y mas sonoro aun, en general, que en el primer esperimento.

La hipótesis de un movimiento molecular en los alambres de hierro, en el momento de su imantacion y de su desimantacion, está confirmada por las investigaciones de M. Wertheim, quien encontró que los alambres pierden en tal caso su elasticidad, y por las de M. Joule, quien comprobó que disminuye el diámetro de los alambres aumentando su longitud.

TELEGRAFOS ELECTRICOS.

683. **Diferentes especies de telégrafos eléctricos.** — Los *telégrafos eléctricos* son aparatos que sirven para trasmitir señales á grandes distancias, por medio de corrientes voltáicas que se propagan por largos alambres metálicos. Desde el siglo pasado habian propuesto muchos físicos corresponderse á distancia por medio de los efectos que produce la electricidad de las máquinas eléctricas cuando se propaga por alambres aislados.

En 1811 ideó Sœmmering un telégrafo fundado en el uso, como medio indicador, de la descomposicion del agua por la pila. En 1820,

en una época en que no se conocia el electro-iman, Ampere, apoyándose en el esperimento de OErsted (656), propuso la correspondencia por medio de agujas imantadas, por encima de las cuales se dirigia una corriente, haciendo uso de tantas agujas y de tantos alambres como letras. En 1837, M. Steinheil, en Munich, y M. Wheatstone, en Lóndres, construian telégrafos de muchos alambres, cada uno de los cuales actuaba sobre una aguja imantada, siendo el foco de la corriente un aparato electro-magnético de Clarke ó una pila de corriente constante. Pero el telégrafo no podia adquirir toda la apetecible sencillez sin el uso de electro imanes, que es el sistema que en 1840 adoptó M. Wheatstone.

Sin dejar de conservar el mismo principio, varió mucho la forma de los telégrafos eléctricos, pero todos pueden referirse á los tres siguientes, que vamos á describir sucesivamente: el telégrafo de cuadrante, el de señales y el escribiente.

684. **Telégrafo de cuadrante.**—Se conocen muchas especies de telégrafos de cuadrante; pero el de las figuras 499 y 500 es el cons-

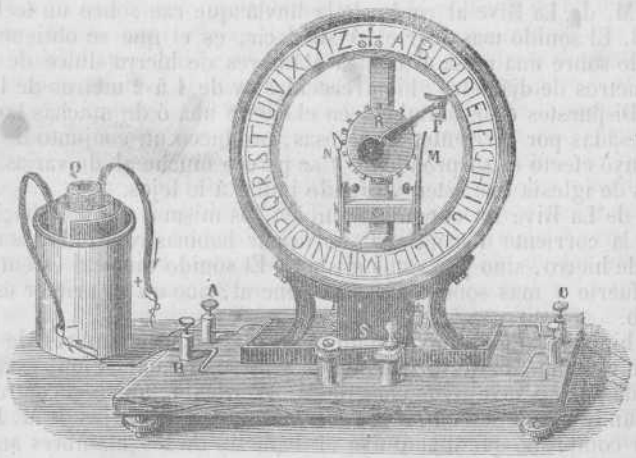


Fig. 499.

truido por M. Froment. Es un telégrafo destinado á la demostracion; pero su principio es el mismo que el de los establecidos á lo largo de los ferro carriles. Se compone, como ellos, de dos aparatos, que son, el uno el *manipulador*, que trasmite las señales (fig. 499), y el otro el *receptor*, que las recibe (fig. 500). El primero comunica con una pila de carbon Q, y los dos se enlazan por medio de dos alambres, de hierro ó de cobre, que van, el uno AOD (fig. 499) de la estacion de partida á la de término, y el otro HKLJ (fig. 500) de esta á aquella. Por último, cada aparato lleva un cuadrante con todas las letras del alfabeto, sobre el cual se mueve la aguja. La mano del esperimentador

es quien hace girar la aguja de la estacion de partida, y la electricidad la de la otra estacion.

Sabido esto, veamos la marcha de la corriente en los dos aparatos y los efectos que produce. De la pila se dirige la corriente, por un alambre de cobre A (fig. 499), á una lámina de laton N en contacto con una rueda metálica R, pasa á una segunda lámina M, y luego al alambre O que conduce á la otra estacion. Allí se dirige la corriente por la bobina de un electro-iman *b*, oculto en la figura 500, pero visible de perfil en la 501, que dibuja la parte posterior del aparato. Este electro-iman se fija horizontalmente por una estremidad, y por la otra atrae una armadura de hierro dulce *a*, que forma parte de una palanca angular móvil alrededor de su punto de apoyo *o*, mientras que un muelle en espiral *r* solicita la misma palanca en sentido contrario.

Cuando pasa la corriente, el electro-iman atrae la palanca *a*C, la cual, por medio de una varilla *i*, va á obrar sobre otra *d* sujeta á un eje horizontal y enlazada á su vez con una horquilla F. Cuando se in-

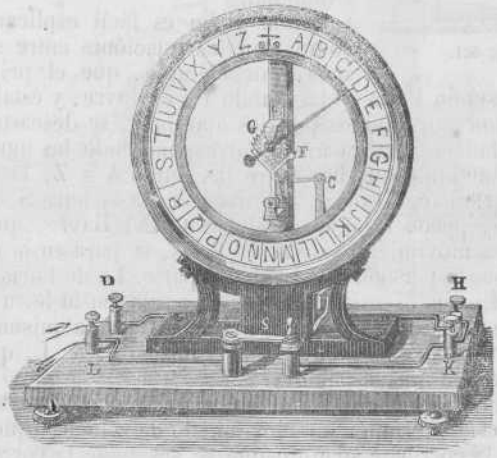


Fig. 500.

terrumpe la corriente, el resorte *r* hace retroceder la palanca *a*C, y con ella todas sus piezas dependientes; de aquí resulta un movimiento de vaiven que se comunica á la horquilla F, la cual lo trasmite á la rueda rochete G, cuyo eje lleva la aguja índice. En virtud de la inclinacion de sus dientes es arrastrada siempre la rueda G en el mismo sentido por la horquilla, lo cual es indispensable.

Para darse cuenta de las intermitencias del electro-iman, es preciso referirse á la fig. 499. La rueda R lleva 26 dientes, 25 de los cuales corresponden á las letras del alfabeto, y el último al intervalo que media entre las letras A y Z. Cuando, cogido con la mano el bo-

ton P, se hace girar la rueda R, la estremidad de la lámina N, por efecto de su curvatura, está siempre en contacto con los dientes; y la M, por el contrario, está dispuesta de modo que hay sucesivamente contacto y solucion de continuidad. De consiguiente, establecidas las comunicaciones con la pila, si se hace avanzar cuatro letras por ejemplo la aguja P, la corriente pasa cuatro veces de N á M, y cuatro veces queda interrumpida. El electro-iman de la estacion de término se habrá vuelto cuatro veces atractivo, y otras tantas habrá dejado de serlo. Por último, la rueda G habrá corrido cuatro dientes, y como cada uno de estos corresponde á una letra, las agujas de ambas estaciones habrán recorrido igual número de letras. La pieza S de las dos estaciones es una lámina de cobre, móvil sobre una charnela, que sirve para interrumpir ó para cerrar la corriente á voluntad.

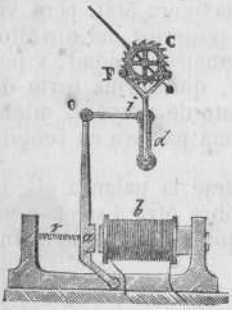


Fig. 501.

Por lo dicho es fácil esplicarse cómo se comunican las estaciones entre sí. Supongamos, por ejemplo, que el primer aparato (fig. 499) está en Paris y el segundo en el Havre, y establecida ya la comunicacion entre ambos por dos alambres, se desea trasmitir á la última ciudad la palabra *señal*: correspondiendo las agujas en cada aparato al intervalo que hay entre las letras A y Z, la persona que envia el parte hace avanzar la aguja P hasta la letra S, en donde se detiene muy poco; la aguja del aparato del Havre, que reproduce fielmente los movimientos de la de Paris, se para en la misma letra, la cual anota la persona que recibe el parte. La de Paris continúa girando en el mismo sentido, detiene la aguja en la letra E, é instantáneamente la segunda aguja se fija delante de la misma letra; y siguiendo así del mismo modo para las letras Ñ, A, L, queda trasmitida al Havre la misma palabra.

Para llamar la atencion de la persona á quien se escribe, se adapta á la estacion de término un movimiento de relojería que debe introducirse en la corriente siempre que se suspende la correspondencia. Un fiador, movido por el electro-iman, hace partir este movimiento apenas pasa la corriente, indicando así que va á remitirse un parte. Además, cada estacion debe poseer dos aparatos como los de las figuras 499 y 500, pues de lo contrario serian imposibles las contestaciones.

Hemos supuesto que la corriente que iba de Paris al Havre, por un alambre, volvia de igual manera del Havre á Paris por un segundo alambre. Este segundo es inútil, pues la esperiencia ha enseñado que, comunicando el polo positivo de la pila, en Paris, con el aparato, y el negativo con el suelo, basta que el alambre que va al Havre, se ponga, en dicha ciudad, en íntima comunicacion con el suelo. Se admite, generalmente, que queda cerrado entonces el circuito

por la tierra, la cual hace regresar la corriente del Havre á Paris. El abate Moigno critica severamente esta hipótesis en su *Tratado de telegrafía eléctrica*. Difícil es, en efecto, concebir que, llegada al Havre la corriente, que tiende por su naturaleza á dispersarse en todas direcciones, elija precisamente la que la vuelve á conducir á la pila de donde partió. M. Moigno admite que la tierra, funcionando aquí como depósito, absorbe, en las dos estremidades libres de los alambres, las electricidades que les envia la pila, resultando así en el alambre la misma corriente contínua que si se tocasen sus dos estremidades.

685. **Telégrafo eléctrico de señales.** — En vez de telégrafos eléctricos de letras (684), la administracion de las líneas telegráficas

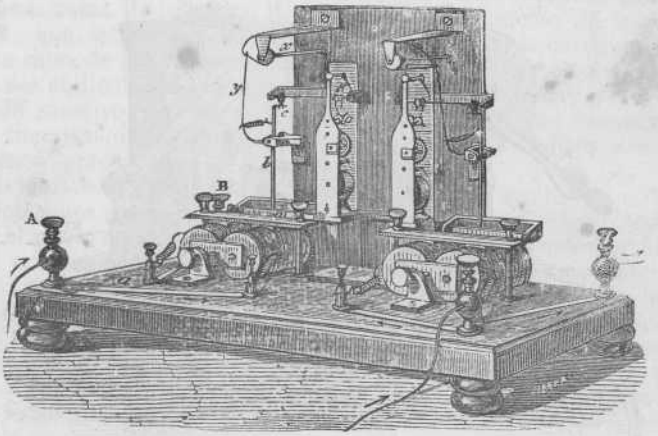


Fig. 502.

de Francia ha adoptado un telégrafo eléctrico, cuyos signos son los mismos que los que hace mas de 50 años se usan en el telégrafo óptico de Chappe. Este telégrafo, cuyo principio es el mismo que el de letras, y que ha sido construido por M. Bréguet, se compone tambien de un *manipulador* y de un *receptor* para cada estacion; pero en cada aparato es doble el mecanismo, es decir, que consta realmente de dos manipuladores y de dos receptores.

En el primer plano del aparato (fig. 503) hay dos columnas de cobre, cada una de las cuales lleva un disco metálico con ocho muescas y con un manubrio en su centro. Cada columna, con todas sus piezas, constituye un manipulador. En el segundo plano hay una caja de caoba que contiene al recepter, cuyos pormenores, que vamos á describir, pueden verse en la fig. 502. En la parte anterior de la caja se ve una placa blanca, que tiene trazada una faja negra m, fija, en cuyas estremidades hay dos radios negros, móviles x é y, destinados á servir de *índices* en vista del ángulo que formen con la señal fija m.

No es contínuo el movimiento de estos índices, sino que se efectúa por intermitencias de 45 en 45 grados, de suerte que cada uno de ellos puede ocupar ocho posiciones alrededor de su centro. Las ocho posiciones de un índice, combinadas con las ocho del otro, dan, pues, márgen á sesenta y cuatro combinaciones que constituyen otras tantas señales. Con todo, como para cada índice tienden á confundirse los dos signos horizontales, no se utiliza mas que una de dichas posiciones, de modo que solo quedan para cada uno siete señales, que, combinadas, no dan mas que cuarenta y nueve signos distintos. Se mueve cada índice por medio de un movimiento de relojería, situado en el interior de la caja, y por un electro-iman cuyas bobinas estan atravesadas por una corriente que llega del punto de donde se

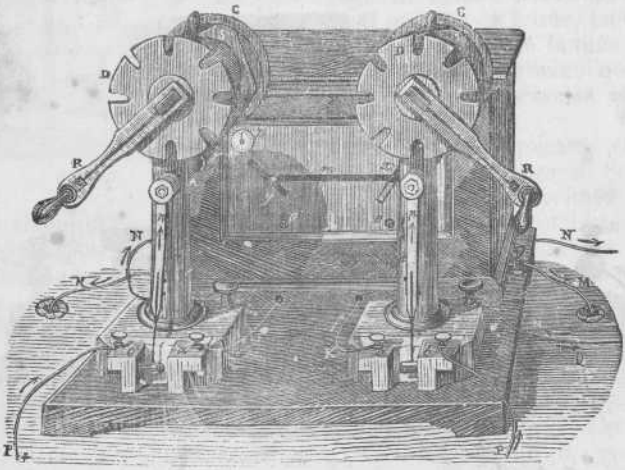


Fig. 503.

recibe el parte. Supondremos tambien las mismas poblaciones de Paris y del Havre.

La corriente que sale de Paris, entra por A (fig. 502), va por una lámina de cobre *a* á un electro-iman que sirve de motor á uno de los índices móviles, el *x*, por ejemplo, situado esteriormente sobre la placa blanca de la caja (fig. 503). Siempre que pasa la corriente por el electro-iman, atrae este una armadura de hierro dulce *m*, que trasmite su movimiento á una palanca *b*, en la cual está sujeta; mas apenas deja de pasar ya la corriente, cesando la atraccion del electro-iman, es repelida la armadura *m* á su primera posicion por un resorte que hay en la parte superior de la palanca *b*. A cada paso y á cada interrupcion de la corriente, produce, pues, *b* una oscilacion, la cual se trasmite á una paletita doble *c*, fija en un eje horizontal, que lleva en su otra estremidad otra paleta semejante *k*, cuyas dos ramas estan un poco espaciadas entre sí en el sentido del eje, for-

mando además la una con la otra cierto ángulo. En fin, debajo de la paleta *k* hay una rueda de encuentro *o*, de cuatro dientes, movida por un movimiento de relojería representado debajo de esta rueda.

Conocidas estas trasmisiones de movimiento, fácil es darse cuenta del modo cómo el doble mecanismo de la fig. 502 imprime traslaciones sucesivas de 45 grados á los índices *x* é *y* (fig. 503), fijos, uno de ellos en la rueda de encuentro de uno de los mecanismos, y el otro en la del segundo. En efecto, no pasando la corriente, un diente de la rueda *o* choca contra la rama de la derecha de la paleta *k*, y la rueda no puede girar; mas luego que circula la corriente, oscila la paleta y principia á girar la rueda de encuentro, pero *tan solo un semi-diente*, ó 45 grados, porque el diente que sigue va á chocar ahora contra la segunda rama de la paleta. A un segundo movimiento de la palanca *b*, que se produce apenas queda interrumpida la corriente, la primera rama de la paleta recobra su posicion inicial y pasa por segunda vez el diente que acababa de detener la otra rama; y así de un modo sucesivo para cada diente, de lo cual resultan las detenciones sucesivas de las ruedas de encuentro y de los índices *x* é *y*, de 45 en 45 grados.

Todo lo dicho sucede en la estacion en donde se recibe el parte, que suponemos es el Havre. Réstanos dar á conocer cómo se producen en el punto de partida las intermitencias de la corriente por medio del manipulador. Refiriéndonos al grabado 503, solo consideraremos el manipulador de la izquierda. Al llegar la corriente de una pila por el alambre P, pasa á una pieza metálica *b*, que está aislada del resto del aparato por una placa de marfil, pero que momentáneamente puede ponerse en contacto, como se vé en el dibujo, con un pequeño martillo metálico que hay en la parte inferior de la palanca *p*. Subiendo entonces la corriente por esta palanca, baja por la columna, de donde pasa al alambre N, que la conduce hasta el electro-iman del receptor del Havre, marchando dicho alambre, sin solucion de continuidad, de la estacion de partida á la de llegada. Se obtienen las interrupciones de la corriente haciendo oscilar la palanca *p*, por medio de un manubrio R y de diferentes piezas situadas en la parte superior de la columna. La primera de estas piezas es un platillo circular D, fijo, y en cuyo contorno hay ocho muescas, en las cuales se introduce sucesivamente un diente de acero colocado en la parte posterior, á medida que se le va dando vuelta. Estas muescas, que dividen la circunferencia del platillo en ocho arcos iguales de 45 grados, sirven para regular la carrera del manubrio de 45 en 45 grados. Ahora bien, cuando se hace girar el manubrio se trasmite su movimiento á un segundo platillo C, sobre el cual se aplica un escéntrico S. Sobre este escéntrico se apoya una piececita *v* que sirve de guia á una palanca móvil *r*. Oscilando esta alternativamente á derecha é izquierda, por efecto de la presion que ejerce el escéntrico sobre *v*, trasmite su movimiento al eje A, á la palanca *p* y al martillo oscilante; y de aquí resulta, en vista de la forma del escéntrico, que du-

rante una revolucion completa del manubrio hiere el martillito cuatro veces la pieza *b*, y otras tantas la *a*, y que, de consiguiente, pasa la corriente cuatro veces y queda interrumpida igual número en el electro-iman del receptor que hay en el Havre. Por lo mismo, la palanca *b* (fig. 502) da ocho oscilaciones, y el índice *x*, que le corresponde, ocho movimientos de 45 grados cada uno.

El receptor de Paris marcha de la misma manera, por medio de la corriente que viene del Havre, pero en este caso, el martillito oscilante debe tocar la pieza *a*. Llegando entonces la corriente del Havre por el alambre N, sube por la columna, baja por la palanca *p*, pasa por la pieza *a*, y de allí es conducido por un alambre de cobre al electro-iman de la caja.

Dos llaves *oo* sirven para montar los movimientos de relojería, y dos cuadrantes *z* para hacer girar una pólea *x* (fig. 502), á fin de regular, por medio de un alambre, el resorte que actúa sobre la palanca *b*.

* 686. **Telégrafo de teclas.** — Para facilitar el manejo del telégrafo de cuadrante (684), se le han adaptado varias teclas semejantes

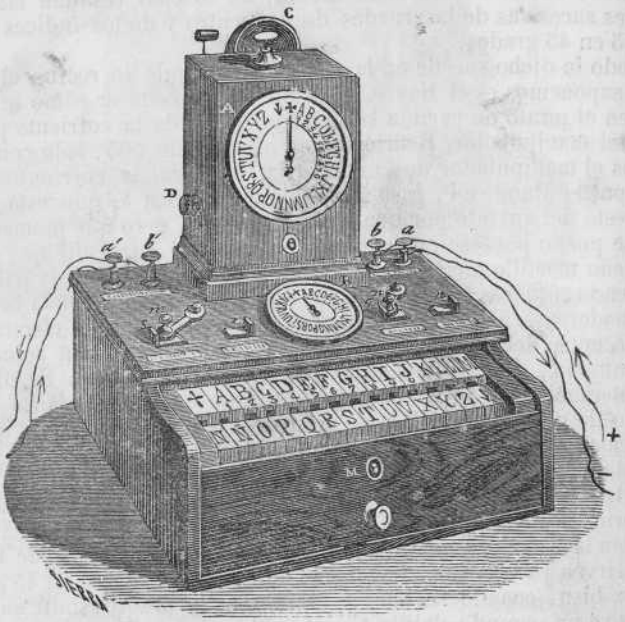


Fig. 504.

á las de los pianos, y cada una de las cuales lleva una letra del alfabeto. Estas teclas sirven para interrumpir ó para cerrar la corriente. Por medio de este mecanismo puede una persona poco práctica trasmitir las palabras con gran rapidez.

La figura 504 representa un aparato de este género, inventado y construido por M. Froment, que funciona con suma precision. Al mismo tiempo desempeña el oficio de manipulador y de receptor en uno de los estremos de la línea telegráfica, y en el otro ejecuta lo mismo un segundo aparato enteramente análogo. Supongamos, por ejemplo, que el primer aparato está en Paris, el segundo en Rouen, y que median los dos alambres entre las dos estaciones.

Puesto en Paris el aparato de la figura 504, la corriente de la pila entra en *b*, atraviesa el aparato, en el cual se interrumpe á voluntad por medio de las teclas y de un mecanismo especial, sale luego por *b'* y va al receptor de Rouen. Este receptor consiste, lo mismo que el de Paris, en un cuadrante vertical A con 26 letras, una cruz y una flecha, y de las 28 teclas. En la caja que contiene á este cuadrante hay un electro-iman que, por un mecanismo análogo al descrito en la figura 501, trasmite el movimiento á una aguja móvil sobre el cuadrante. En fin, detrás de la caja hay una campanita de reloj C, en la cual choca un martillito movido por un electro-iman especial, que recibe la corriente antes de que pase por el de la aguja. Esta trasmision de la corriente en uno ú otro iman se opera por medio del manipulador que vamos á describir.

Se compone este, primeramente, de 28 teclas de marfil movibles, con una cruz encima de la primera, una flecha en la última, y las letras del alfabeto en las otras. Por fin, las teclas de las diez primeras letras llevan tambien las diez cifras de la numeracion decimal.

Mas allá de las teclas, en un platillo de madera horizontal, se ven un cuadrante B y dos piececitas *m* y *n* móviles, y que, por medio de una varilla, pueden ponerse en comunicacion con las piezas *s* y *r*, *q* y *p*. El cuadrante B no es mas que un comprobador: su aguja debe indicar siempre la misma letra que la última tecla acaba de mover; pues de lo contrario ha funcionado mal el aparato, y se ha cometido un error en la trasmision del parte. La pieza *m* en contacto con *s* sirve para la trasmision de Paris á Rouen, y en contacto con *r* para la viceversa, haciendo marchar la aguja del cuadrante A. De igual manera, la pieza *n* en contacto con *q* indica las señales, hace sonar el timbre de Rouen, y en contacto con *p* recibe las señales de llamada, es decir, hace funcionar al electro-iman del timbre C por la corriente que llega de Rouen, manifestando así que se va á trasmitir un parte. Todas las piezas visibles en la figura 504 quedan ya descritas, de modo que solo debemos dar á conocer el mecanismo interior que hacen mover las teclas.

Este mecanismo (fig. 505) se compone de una placa de cobre V que lleva las teclas y un movimiento de relojería P. Para no tapar el dibujo, no representamos mas que cuatro teclas, las de las letras C, D, Q, R. El movimiento de relojería, por una série de ruedas de engranaje, tiende á hacer girar la rueda *r* y el árbol horizontal *a*; pero este va sujeto á una rueda dentada G, que comunica con un trinquetaje *m*, de modo que no puede girar sino cuando este se levanta. Para esto, la pieza *m* se halla enlazada con una lámina horizontal *n*, la

cual, siempre que desciende, hace girar á *m* alrededor de un punto de apoyo, dejando libre la rueda G. Esta lámina *n*, que recibe su movimiento de las teclas, forma paralelógramo con una segunda varilla F, por medio de articulaciones SS, de modo que no puede bajar sino paralelamente á sí misma. Cuando no obran ya las teclas sobre la lámina *n*, un resorte E, que reacciona sobre la varilla F, hace subir de nuevo la lámina.

Llegando la corriente de la pila por el alambre A, toca á una lámina metálica *i*, aislada sobre un pie de marfil y en contacto con una rueda *o* de 28 dientes: cuando toca uno de estos, pasa la corriente por la rueda *o*, que es metálica, y de aquí por todo el aparato, enteramente de metal, para salir por el alambre H y recorrer la línea telegráfica hasta Rouen; pero cuando la lámina *i* no toca los dientes, no

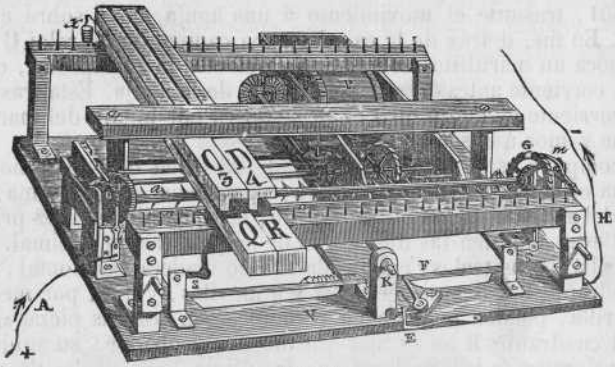


Fig. 505.

pasa la corriente, de suerte que, durante una revolucion completa de la rueda *o*, pasa aquella 28 veces y queda otras tantas interrumpida, resultando así que en Rouen el electro-iman del receptor ha hecho correr la aguja 28 divisiones sobre su cuadrante.

Solo nos resta, pues, esplicar cómo, por medio de las teclas, se obtiene el número necesario de interrupciones para hacer avanzar la aguja del receptor de Rouen un número determinado de letras, por ejemplo, de E á D. Hay, al efecto, debajo de las teclas una varilla horizontal *aa*, de acero, en la cual van implantados 28 dientes, de acero tambien, que la rodean en hélice, cual si fuera un tornillo, y dividen la circunferencia de la varilla en 28 arcos iguales, como lo efectúan los dientes de la rueda O. En fin, debajo de las 28 teclas hay en una fila rectilínea, paralela á la varilla *a*, 28 puntas de acero que corresponden á cada uno de los dientes anteriores. Estas puntas chocan con los dientes de la varilla cuando bajan las teclas; pero al subir estas pasan libremente los dientes, de suerte que la varilla puede pararse en 28 puntos de su rotacion completa por medio de la presion de las 28 teclas.

Fácil es darse cuenta ahora del mecanismo del aparato. Si se quiere, por ejemplo, trasmitir un parte de Paris á Rouen, se principia haciendo girar la pieza *n* (fig. 504) sobre *q*, y luego, bajando una tecla cualquiera, pasa la corriente y va á hacer sonar la campanilla de Rouen, que está pronta siempre á recibir la señal de atencion. Llevando la pieza *n* sobre *p*, que conduce la corriente al electro-iman de C, se aguarda á que la haga sonar Rouen, dando á entender que ya está todo dispuesto. Entonces, el encargado de esta última ciudad pone la pieza *m* sobre *r*, y el de Paris la misma sobre *s*, que sirve para la trasmision. Supongamos que se trata de escribir la palabra FRANCIA: se apoya el dedo sobre la tecla F, y levantándose el tope *m*, el movimiento de relojería hace girar la rueda G y la varilla *a* hasta que el diente de esta, que corresponde á dicha tecla, vaya á chocar contra un topecito que hay debajo. Como la letra F es la sesta, la rueda O ha de correr seis dientes, resultando de aquí que seis veces ha pasado la corriente, y otras tantas se ha interrumpido, y que, por lo tanto, el electro-iman de Rouen ha hecho avanzar seis letras á la aguja. Esta aguja, que se hallaba primero sobre la cruz, está ahora sobre la letra F. Bajando actualmente en Paris la tecla R, la rueda O gira doce dientes, y la de Rouen avanza doce letras, es decir, se para en R, y así sucesivamente para toda la palabra. Al fin de cada palabra se baja la tecla que lleva cruz.

Para trasmitir números en cifra, se baja primero la tecla de la flecha, y luego sucesivamente las de las cifras, bajando luego la de la cruz para indicar que terminó el número.

* 687. **Telégrafo eléctrico escribiente, de Morse.** —Los telégrafos eléctricos de cuadrante y de señales, que acabamos de describir, no dejan el menor vestigio de los partes trasmitidos, y si se han cometido algunas erratas al copiar los signos, no es fácil rectificarlas. No ofrecen estos inconvenientes los *telégrafos escribientes*, que trazan por sí mismos las señales en una tira de papel, á medida que se las trasmite.

Se conocen muchos telégrafos de este género; pero darémos la preferencia al de M. Morse, porque es el que mas se usa en la América del Norte, y porque su disposicion es muy sencilla.

La figura 506 representa el aparato que recibe los despachos y los escribe: el motor que le hace funcionar es tambien, como en los telégrafos ya descritos, un electro-iman E, que comunica con dos alambres *a* y *b* que lo ponen en relacion con la estacion de partida. Cuando pasa la corriente por el alambre del electro-iman, atrae este una armadura de hierro dulce D, que trasmite el movimiento á una palanca A; pero luego que cesa la corriente queda destruida la accion del electro-iman, y un resorte *r* baja la palanca. Las oscilaciones de esta se hallan reguladas por dos tornillos *m* que bajan mas ó menos. Por último, la palanca A lleva en su estremidad un punzon de acero *o*, que hace veces de lápiz para escribir los signos. Al efecto, una tira de papel *ph* se arrolla primero sobre un cilindro de madera B, y va á introducirse en seguida entre dos cilindros G y H, que giran en

sentido contrario y haciendo así el oficio de laminador para arrastrar la tira de papel en el sentido de las flechas. El movimiento de los cilindros depende de una série de ruedas dentadas, movidas por un peso P fijo á una cuerda C que se arrolla en un cilindrito K.

Cubierto el cilindro H con una sustancia elástica, como guta-percha ó cautchuc, siempre que funciona el electro-iman, toca al papel el punzon *o*, y sin agujerearle, produce en él una impresion cuya forma varía segun el tiempo que permanezca el punzon en contacto con el papel. Si no hiere mas que instantáneamente, produce un signo

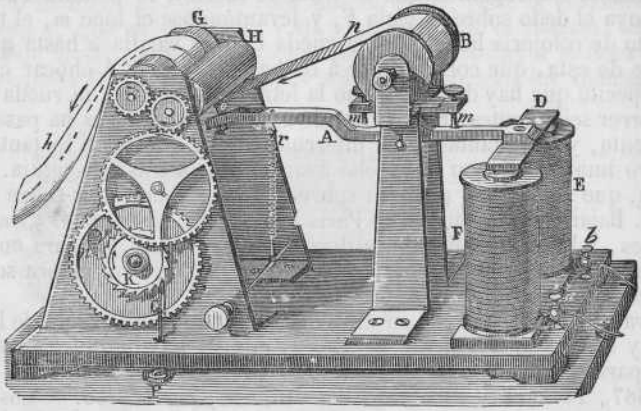


Fig. 506.

corto (-); pero si dura el contacto, se forma una línea mas ó menos larga (—). Se puede, pues, haciendo pasar en la estacion de partida la corriente durante un intervalo mas ó menos largo, producir á voluntad en el punto de llegada un guion ó una línea, y de consiguiente, combinaciones de estos signos. Faltaba dar á estas combinaciones una significacion determinada, lo cual se ha hecho representando las letras del alfabeto por medio de las combinaciones siguientes:

Un guion y una línea (- —) dan la letra. . .	A
Una línea y tres guiones (— - - -).	B
Tres guiones (- - -).	C
Una línea y dos guiones (— - -).	D

y así sucesivamente, pudiéndose escribir así palabras y frases. Se procura dejar entre cada letra un intervalo blanco, segun indica el grabado.

El telégrafo escribiente de M. Morse, adoptado sucesivamente en América, Austria, Prusia y Suiza, lo ha sido recientemente en Francia. Sin embargo, es menester convenir en que el manipulador de este telégrafo es muy imperfecto, puesto que su manejo no es arbitrario y tan solo depende de la habilidad del telegrafista; de lo cual

puede resultar una gran irregularidad en la trasmision de los signos. M. Morse mismo ha intentado repetidas veces perfeccionar dicho manipulador; pero el que lo ha conseguido, dándole la regularidad que le faltaba, es M. Pablo Garnier.

El manipulador de M. Garnier consiste en un cilindro de cobre de 18 centímetros de diámetro por 25 de longitud, montado sobre un eje cuya estremidad lleva un tornillo de gran paso introducido en una tuerca fija. Por consiguiente, comunicando al cilindro un movimiento de rotacion, toma al mismo tiempo un movimiento de traslacion en el sentido de su eje. Pero se ha trazado sobre el contorno del cilindro una línea en forma de hélice, á lo largo de la cual se han practicado 1700 aberturitas longitudinales paralelas al eje del cilindro. En cada abertura hay colocado, mediante una varilla, un cubito de cobre haciendo un resalto de 2 milímetros sobre la superficie del cilindro. Las dimensiones de estos cubos son tales que, colocados sobre la línea horizontal, ellos se tocan todos en presencia de un filete contínuo que se arrolla sobre el cilindro. Pero, si algunos son desviados en el sentido de las aberturas longitudinales paralelas al eje del cilindro, resulta interrumpido el filete, presentando cuantas soluciones de continuidad se quieran.

Entendido esto, si se concibe que la pieza que trasmite la corriente viene á apoyarse sobre los cubitos que se acaban de describir, que esta pieza encuentre un cubito, el punzon trazará un punto; y cuando encuentre dos cubitos consecutivos, el punzon trazará una línea. No falta, pues, mas que disponer de antemano los cubos sobre el cilindro, de modo que se les haga trasmitir la combinacion de puntos y líneas que representan la noticia. En una palabra, será necesario *componer* desde luego el parte; por cuya razon se ha dado á este manipulador el nombre de *rodillo compositor* de M. Garnier. Una vez compuesto el parte ó noticia, se pone al rodillo en contacto por su superficie con la pieza que trasmite la corriente, y por su eje con un movimiento de relojería, que le hace girar, y se verifica así la trasmision del parte.

* 688. **Telégrafo electro-químico registrador de M. Bain.** — Los *telégrafos electro-químicos* son aparatos que inscriben las noticias con señales coloreadas sobre un papel impregnado de ferrocyanuro amarillo de potasio, siendo descompuesta esta sal por la corriente de la pila cuantas veces pasa esta al traves del papel.

El primer telégrafo de este género es debido al escocés M. Bain. Las letras quedan allí representadas con los mismos signos que en el telégrafo de M. Morse, es decir, por combinaciones de rayitas y puntos; pero el parte debe de ser *compuesto* de antemano sobre una larga tira de papel ordinario. Para esto, se taladra el papel con un sacabocados, sucesivamente de agujeritos redondos que representan los puntos de Morse, y de agujeros prolongados que corresponden á las rayitas. Hecho esto, se interpone la tira de papel entre una roldanita metálica y una lámina elástica, igualmente metálica, que hacen parte la una y la otra de la corriente que va de la estacion de partida á la

estacion de llegada. Pero, al girar la roldanita, arrastra consigo la tira de papel, de la que todas las partes vienen á pasar sucesivamente entre la roldanita y la lámina. Por consiguiente, si la tira de papel no estuviese taladrada, se opondria constantemente al paso de la corriente, supuesto que no es conductriz; pero, en virtud de los agujeros que se le han practicado, cada vez que pasa uno de ellos hay contacto entre la ruedecita y la lámina, y la corriente se trasmite para ir á representar en azul, sobre un disco de papel impregnado de ferrocyanuro, la misma serie de puntos y rayitas que hay marcados sobre la tira de papel taladrado, segun vamos á darnos razon sobre el receptor del telégrafo siguiente.

* 689. **Telégrafo electro-químico registrador de M. Pouget-Maisonneuve.** — M. Pouget-Maisonneuve, gefe del material de las líneas telegráficas, ha modificado el telégrafo de M. Bain, suprimiendo la *composicion* de la noticia é imbibiendo de nitrato amónico el papel sobre el cual ella se imprime, lo cual lo hace higrométrico y le conserva la humedad necesaria para que conduzca la corriente; él

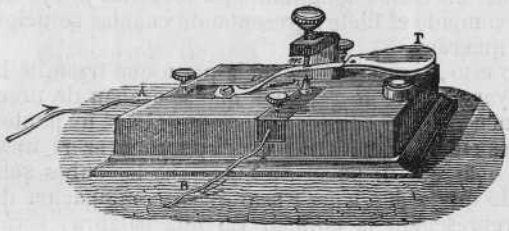


Fig. 507.

ha adaptado, además, al aparato un para-rayos destinado á preservar á los telegrafistas de las chispas fulminantes que pueden dar los alambres de los telégrafos eléctricos durante una tempestad.

La figura 508 representa el receptor de M. Pouget-Maisonneuve, y la figura 507 el manipulador: aparatos construidos por M. Molteni, fabricante en Paris. El manipulador se compone de una tablita de caoba de 9 centímetros de longitud, sobre la cual se dispone una tabla T de marfil sostenida por una lámina de acero *o*; esta misma está atornillada sobre una pieza metálica, en la que se introduce, mediante un tornillo de presion, un alambre de cobre A, en comunicacion con el polo positivo de la pila que debe hacer marchar el receptor al lugar donde se envia la noticia. Sentado esto, entrando la corriente por A, sigue la lámina de acero *o*, y de aquí se interrumpe en una pieza *m*, puesto que no encuentra conductor para propagarse mas lejos; pero, si se aprieta la tecla T, la lámina de acero se pone en contacto con una varillita *n*, fija sobre una pieza de igual naturaleza, en la que se introduce el alambre B destinado á conducir la corriente al receptor. La corriente pasa entonces, por consiguiente, y segun que se aprieta la tecla durante un solo instante ó durante un intervalo de

tiempo mas prolongado, la corriente va pasando durante igual tiempo al receptor, y produce allí los efectos que vamos á describir.

Principiemos por observar que, en el telégrafo de M. Pouget-Maisonneuve, no es la *corriente de la línea*, es decir, la que llega del ma-

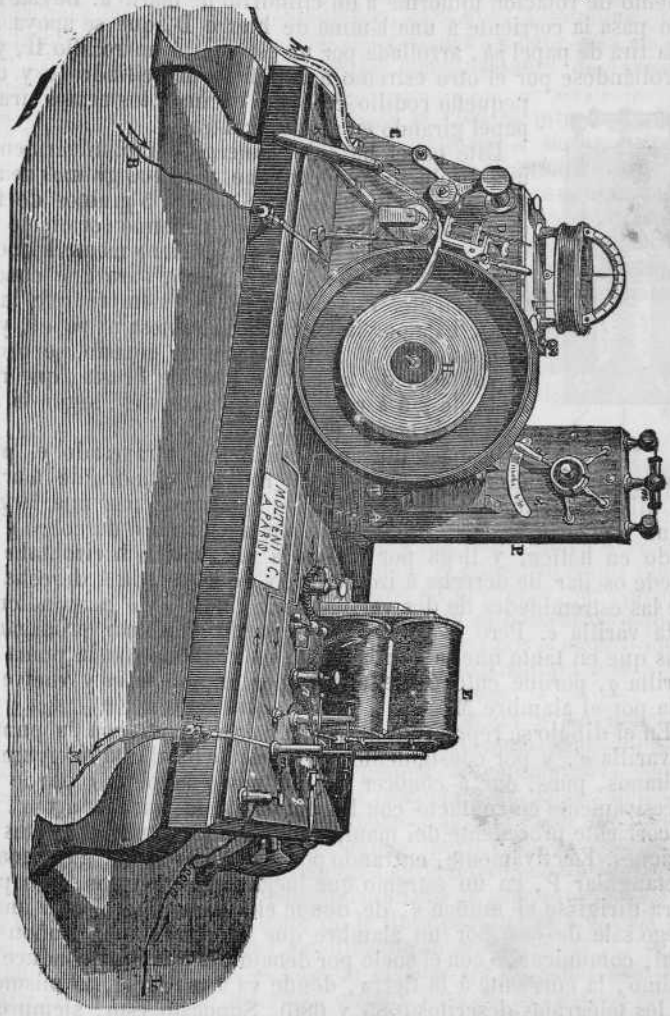


Fig. 508.

nipulador, la que actúa sobre el papel ferrocyanurado, sino una *corriente local* producida por una pila dispuesta en la inmediacion del receptor; de modo que la corriente de la línea no tiene otro objeto que

el de interrumpir ó dejar pasar, á voluntad, la corriente local. Ahora bien, entrando la corriente local por el alambre B (fig. 508), pasa á un armazon metálico C, en el cual hay un aparato de relojería que se monta por una llave K, y que está destinado á comunicar un movimiento de rotacion uniforme á un cilindrito de marfil *a*. De este armazon pasa la corriente á una lámina de hierro D, que se apoya sobre una tira de papel *ph*, arrollada por un estremo á un rodillo H, y desarrollándose por el otro estremo á beneficio del cilindro *a* y de un pequeño rodillo colocado encima, los cuales tiran del papel girando en sentido contrario.

Fig. 509.

Este papel ha sido sumergido preliminarmente en una disolucion que contiene, para 100 gramos de agua, 150 gramos de nitrato amónico y 5 gramos de ferrocyanuro amarillo de potasio; teniendo por objeto el nitrato amónico de conservar suficientemente húmedo el papel, segun antes hemos dicho, para que conduzca la corriente. Por consiguiente, siempre que la corriente baja por la lámina D, atraviesa al papel, y descomponiendo al ferrocyanuro de potasio, se produce al contacto de la lámina azul de Prusia, que representa de *p* á *h* rayitas ó puntos azules, segun la duracion de la accion electro-química.

Despues que la corriente ha atravesado el papel, pasa sobre un aníllo de platino *i*, que rodea al cilindro de marfil *a*; de allí, bajando por la columna *e*, es conducida por una larga lámina de cobre hasta *r*, donde sube por un alambre de cobre *g* arrollado en hélice, y llega por último á una varilla horizontal *c*, que puede oscilar de derecha á izquierda, y de izquierda á derecha, entre las estremidades de dos varillas horizontales *q* y *o'* perpendiculares á la varilla *c*. Pero la corriente no puede continuar propagándose mas que en tanto que la varilla *c* está en contacto con la punta de la varilla *q*, porque entonces ella baja por el muñon *m* y vuelve á la pila por el alambre M.

En el dibujo se representa la varilla *c* en contacto con la punta de la varilla *o'*, y por consiguiente, la corriente local está interrumpida. Fáltanos, pues, dar á conocer de qué modo la pieza *c* puede venir sucesivamente en contacto con las puntas de las varillas *q* y *o'*. Pero la corriente procedente del manipulador es la que produce estas oscilaciones. Efectivamente, entrando por L esta corriente, gana una caja rectangular P, en un estremo que luego describirémos, sale por A para dirigirse al muñon *n*, de donde ella pasa á un electro-iman E; luego sale de este por un alambre que la conduce al muñon *o*, el cual, comunicando con el suelo por debajo del aparato, conduce, por último, la corriente á la tierra, donde va á perderse, lo mismo que en los telégrafos descritos (685 y 686). Supuesto esto, siempre que la corriente de la línea pasa por el electro-iman E, este atrae una armadura de hierro dulce que hace oscilar la varilla *c* y la pone en contacto con la punta de la varilla *g*, lo cual cierra la corriente local;

por el contrario, cuando la corriente de la línea no pasa por el electro-iman, la armadura de este, siendo separada por un pequeño resorte, oscila la varilla *c* á izquierda hácia la varilla *o'*, lo cual interrumpe la corriente local. Se ve, pues, que el telegrafista, que en el punto de partida hace maniobrar al manipulador, es el que, á voluntad, cierra ó interrumpe la corriente local del receptor, y hace que de este modo aparezcan sobre el papel *ph* las combinaciones de rayitas y puntos que representan la noticia.

En cuanto á la caja rectangular P, en la cual se introduce desde luego la corriente de la línea, ella está destinada á servir de para-rayos en el caso en que, por la influencia de la electricidad atmosférica, los alambres conductores pudiesen dar chispas peligrosas. El para-rayos consiste en dos piezas dentadas de cobre *t* y *l* (fig. 509), de las que la primera está en comunicacion con la tierra por una cadena metálica, y la segunda se encuentra en la corriente que entra por L, segun lo manifiestan las líneas de puntos representadas en el dibujo. A consecuencia de la pequeña distancia entre las dos piezas dentadas, siempre que la corriente que pasa por *l* adquiere una fuerte tension, obra por influencia sobre el suelo por el intermedio de la pieza *t*, y se descarga por las puntas, sin peligro alguno para las personas que estan próximas al aparato.

Un alambre fino *m* de metal, por el cual pasa la corriente de la línea, sirve tambien de para-rayos. En efecto, cuando la corriente toma demasiada intensidad por la causa anteriormente dicha, este alambre se calienta bastante para fundirse, y ya no pasa la corriente.

La pieza *hxyz*, móvil sobre su centro *u* (fig. 509), sirve á regular el paso de la corriente de la línea. Cuando la empuñadura *h*, que es de marfil, está vuelta á izquierda, como en el dibujo, la corriente pasa por el electro-iman y para-rayos; si, por el contrario, aquella está vuelta á la derecha, la corriente pasa todavía por el electro-iman, pero no por el para-rayos; finalmente, si la empuñadura está vertical, la corriente de la línea no pasa por el receptor.

Despues de haber hecho conocer la construccion y manipulacion del telégrafo de M. Pouget-Maisonneuve, añadirémos que M. Liais ha observado recientemente que hay ventaja en reemplazar la lámina de hierro D (fig. 508) por una lámina semejante de cobre. Entonces se obtienen sobre la tira de papel señales rojas en lugar de señales azules, lo cual en nada cambia los signos, pero tiene la ventaja de que la reaccion química puede entonces producirse con una corriente escesivamente débil, lo cual permite suprimir la corriente local y no hacer uso mas que de la corriente de la línea para pasar á la vez por el electro-iman y al traves del papel ferrocyanurado.

690. **Telégrafo solar.** — Aunque el *telégrafo solar* tan solo esté fundado en el empleo de los rayos solares para la trasmision de las señales, y de ninguna manera se haga uso de las corrientes eléctricas, creemos de nuestro deber describirlo aquí para completar lo que precede relativo á telégrafos.

Este aparato, inventado por M. Leseurre, funcionario del servicio

telegráfico en Argelia, se compone de dos espejos planos y elípticos M y N (fig. 510), sostenidos por un armazon comun K, y pueden tomar respectivamente diferentes inclinaciones sobre sus ejes. Todo el aparato está montado sobre un sustentáculo de madera de seis pies, y está provisto de dos anteojos E y L, que sirven para dirigir el haz de luz solar reflejado por el espejo N hácia el lugar donde se trata de trasmitir la noticia. Para esto, se principia por orientar la larga pieza de fundicion K paralelamente al eje de la tierra, lo cual se obtiene con el auxilio de un nivel de aire D, de una pequeña brújula situada debajo, y de un semicírculo graduado S que sirve para medir el ángulo *i*, que debe ser el complemento de la latitud del lugar. Se inclina

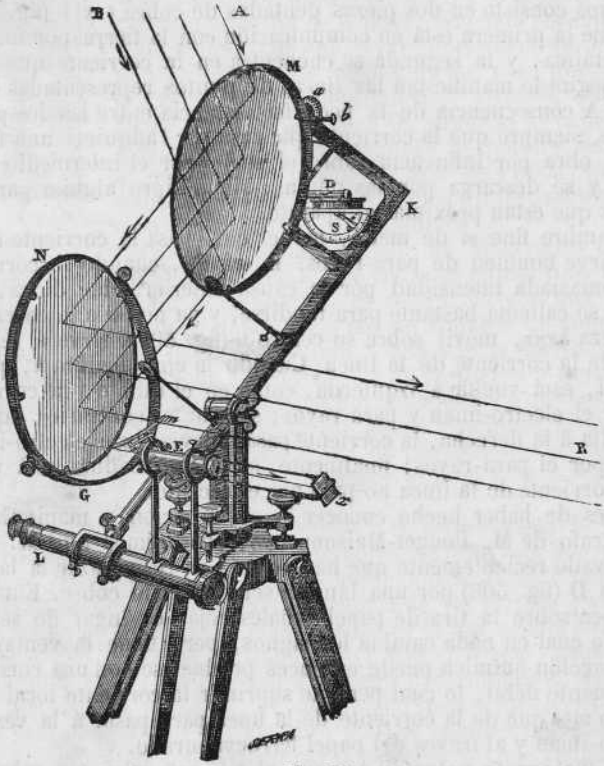


Fig. 510.

en seguida el espejo M de manera que el haz de luz solar AB, despues de haberse reflejado sobre M, quede paralelo al travesaño K, y por consiguiente, al eje de la tierra, lo cual se reconoce cuando una parte del haz pasa por los orificios de dos pantallitas fijas sobre el

travesaño; para que el espejo M siga la marcha aparente del sol, basta entonces hacer girar un tornillo *b*, que engrana con un piñon *a* cuyo eje trasmite el movimiento al espejo.

Solo falta ahora dar al segundo espejo N la inclinacion necesaria para dirigir el haz en la direccion que se quiera. A este fin, se dirige el anteojo L hácia el lugar con el cual se trata de corresponder. Un anteojo E, dispuesto sobre el primero á manera de un indicador (477), le sigue en su movimiento, y se está seguro que el haz R es paralelo al eje óptico del anteojo L, cuando los rayos reflejados que pasan por el anteojo E vienen á proyectar, al centro de una pantalla *x*, la imágen del sol. El haz R es trasmitido entonces en la direccion deseada, y solo falta darle intermitencias que sean interpretadas como señales. Para estas, se han adoptado las del alfabeto usado en el telégrafo de Morse, componiéndose los signos de una combinacion de *relámpagos breves* y de *relámpagos largos*, correspondientes á los puntos y rayitas de Morse. Estando ordinariamente separado el espejo N de la posicion de relámpago por un muelle en espiral, se produce un relámpago breve empujando por detrás al espejo durante un tiempo muy corto, y un relámpago largo prolongando el empuje. La amplitud de desviacion del espejo N está regulada por medio de un arco *m*, fijo al marco del espejo y llevando una pieza recodada *n* que está rajada en una parte de su longitud, con una ranura donde se introduce una varillita fija sujeta al arco G. La pieza recodada *n* tropieza por sus dos estremos contra esta varillita, y limita así la separacion del espejo cuando es oprimido por la mano, y luego que cesa la presion, cuando es retrocedido por el muelle en espiral.

El telégrafo de M. Leseurre es muy portátil; puede ser instalado en algunos minutos, y poner en rápida comunicacion lugares distantes 20 leguas los unos de los otros. Finalmente, las observaciones hechas en Paris, entre las torres de Saint-Sulpice y de Montlhéry, han dado los resultados mas satisfactorios. El aparato representado en la figura 510 ha sido construido por M. Molteni.

* 691. **Relojes eléctricos.** — Los relojes eléctricos son movimientos de relojería, cuyo electro-iman es á un tiempo el motor y regulador por medio de una corriente eléctrica sucesivamente interrumpida. La figura 511 representa el cuadrante de tal reloj, y la 512 el mecanismo para la marcha de las agujas.

Un electro iman B atrae una pieza de hierro dulce P, móvil sobre un eje *a*. La pieza P trasmite su movimiento de vaiven á una palanca *s*, la cual, por medio de un trinquete *n*, hace girar la rueda A. Esta, por el piñon D, obliga á dar vueltas á la rueda C, que hace marchar las agujas por una série de ruedas y de piñones. La menor marca las horas, y la mayor los minutos; pero, como no anda de un modo contínuo esta última, sino por saltos bruscos de segundo en segundo, se deduce que marca tambien los segundos.

Es evidente que la regularidad del movimiento de las agujas depende de la regularidad de las oscilaciones de la pieza P. Antes de pasar por el electro-iman B, estan reguladas las intermitencias de la

corriente por un primer reloj patron, regulado á su vez por un péndulo de segundos. A cada oscilacion del péndulo, pasa la corriente una vez y se interrumpe otra, resultando de aquí que la pieza P bate segundos con exactitud.

Ahora bien, hé aquí el uso de estos relojes: supongamos que en el camino de hierro de Paris á Burdeos poseen todas las estaciones

Fig. 511.

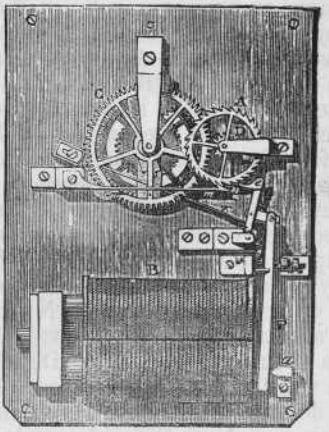


Fig. 512.

un reloj semejante al que acabamos de describir, y que de un reloj tipo, de la primera poblacion, parte un alambre conductor á todos los relojes de la línea hasta Burdeos. Haciendo pasar una corriente por este alambre, marcarán instantáneamente todos los citados relojes la misma hora, el mismo minuto y el mismo segundo; pues pronto se verá que la electricidad de la pila recorre 43000 leguas por segundo, velocidad que hace inapreciable el tiempo que tarda la corriente en propagarse de Paris á Burdeos.

* 692. **Motores electro-magnéticos.** — Muchísimas tentativas se han hecho para utilizar la fuerza atractiva de los electro-imanes como fuerza motriz en las máquinas. La figura 513 representa una máquina de este género, construida por M. Froment. Se compone de cuatro poderosos electro-imanes A, B, C, D, sujetos en un armazon de fundicion X. Entre estos electro-imanes hay un sistema de dos ruedas de fundicion, móviles sobre un eje horizontal, y que llevan sobre su contorno ocho armaduras de hierro dulce M.

La corriente de la pila llega á K, sube por el alambre E, y atraviesa el arco metálico O, que sirve para dar paso á la corriente sucesivamente en cada electro-iman, de modo que no se contrarien las atracciones en las armaduras M, sino que todas tengan el mismo sentido. No puede satisfacerse esta condicion, sino en tanto que se interrumpe la corriente en cada electro-iman en el momento en que

una armadura se pone delante de los ejes de las bobinas. Para obtener esta interrupcion, lleva el arco O tres ramas *e*, terminadas cada una de ellas por una lámina de acero, en la cual está fija una pequeña polea. Dos de estas poleas establecen la comunicacion respectivamente con un electro-iman, y la tercera con dos. Una rueda central *a* lleva varias planchitas, sobre las cuales se apoyan alternativamente las poleas, y así es que, siempre que una de estas se apoya sobre una de las planchitas, pasa la corriente por el electro-iman

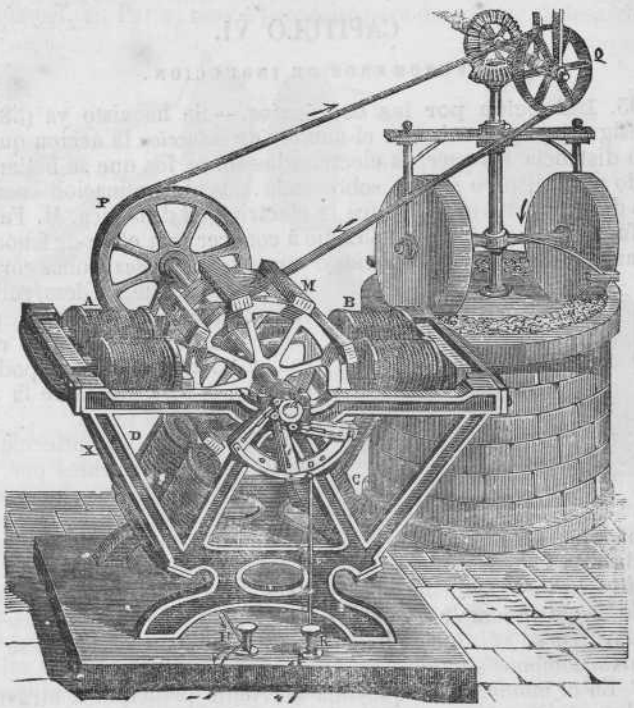


Fig. 513.

correspondiente, pero deja de pasar luego que cesa el contacto. Al salir de los electro-imanes, la corriente vuelve al polo negativo de la pila por el alambre H.

Mediante esta disposicion, son sucesivamente atraidas las armaduras M por los cuatro electro-imanes, y por lo mismo el sistema de ruedas que los sostiene adquiere un rápido movimiento de rotacion que, por la rueda P y una correa sin fin, se trasmite á una polea Q, y de esta á una máquina cualquiera, por ejemplo, á una que sirva para moler.

M. Froment tiene en sus talleres una máquina electro-motora de la fuerza de un caballo de vapor (385). Pero hasta ahora no han podido aplicarse á la industria estas máquinas, porque el gasto de ácidos y de zinc que consume es muy superior al del combustible en las máquinas de vapor de igual fuerza. La aplicacion de las máquinas electro-motoras depende, pues, sobre todo hoy dia, de las perfecciones que espera la pila.

CAPITULO VI.

FENOMENOS DE INDUCCION.

693. **Induccion por las corrientes.** — Se ha visto ya (589) que se designa, en general, con el nombre de *induccion* la accion que ejercen á distancia los cuerpos electrizados sobre los que se hallan en el estado neutro; pero se usa sobre todo esta denominacion cuando se trata de los efectos que produce la electricidad dinámica. M. Faraday, que fué el primero que en 1832 dió á conocer esta clase de fenómenos, ha llamado *corrientes de induccion* ó *corrientes inducidas* á unas corrientes instantáneas que se desarrollan en los conductores metálicos por la influencia de las corrientes eléctricas, y tambien por la de poderosos imanes, ó bien por la de la accion magnética de la tierra.

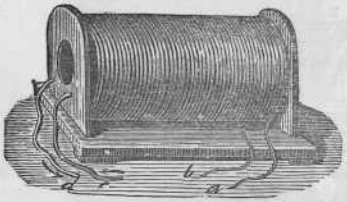


Fig. 514.

Compruébase la induccion que producen las corrientes por medio de una bobina de dos alambres. Así se llama un cilindro de carton ó de madera, sobre el cual se arrollan en hélice, primero un grueso alambre de cobre, y luego otro mas fino, cubiertos ambos de seda (fig. 514). Puestos en comunicacion los dos estremos del alambre con los de un galvanómetro, se hace pasar una corriente voltáica por el alambre grueso *cd*, que se llama alambre *inductor*. Entonces se observan los fenómenos siguientes :

1.° En el momento en que una corriente principia á atravesar al alambre *cd*, de *c* á *d*, por ejemplo, la desviacion de la aguja del galvanómetro indica en el alambre *ab* una corriente *inversa* de la primera, es decir, en sentido contrario, pero que solo se produce durante muy poco tiempo, porque vuelve al punto la aguja al cero, permaneciendo en él mientras la corriente inductora pasa por el alambre *cd*.

2.° En el momento en que, interceptadas las comunicaciones, deja de atravesar una corriente al alambre *cd*, se produce de nuevo en el *ab* una corriente inducida, instantánea como la primera, pero *directa*, esto es, en el mismo sentido que la corriente inductora.

Pueden compararse estos fenómenos con los estudiados en la elec-

tricidad estática, conocida con el nombre de electricidad por influencia (589); y efectivamente, es posible considerarlos como el resultado de la descomposicion y de la recomposicion, de molécula á molécula, de la electricidad natural del alambre inducido por la influencia de la electricidad que se propaga por el alambre inductor. Esta teoría de los fenómenos de induccion es la que M. de La Rive adopta en su *Tratado de electricidad*.

694. **Aparato de induccion de M. Matteucci.** — La fig. 515 representa un aparato inventado por M. Matteucci, y construido por M. Ruhmkorff, en Paris, muy á propósito para demostrar el desarrollo

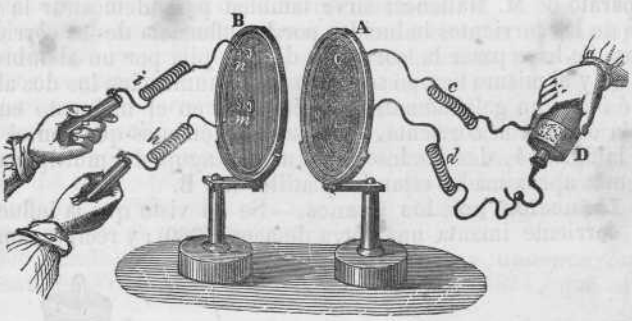


Fig. 515 (a = 44).

de las corrientes de induccion, producidas, ya por la descarga de una botella de Leyden, ya por el paso de una corriente voltáica.

Se compone este aparato de dos platillos de vidrio, de unos treinta y tres centímetros de diámetro, fijos verticalmente en dos marcos A y B de laton. Se hallan sostenidos estos platillos por pies movibles que pueden acercarse ó alejarse á voluntad. En la cara anterior del platillo A está arrollado en espiral un alambre de cobre C, de un milímetro de espesor y de 25 á 30 metros de longitud. Las dos estremidades de este alambre pasan al traves del platillo, el uno por el centro, y el otro por la parte superior, terminando en dos pincitas semejantes á las *m* y *n* del platillo B. Entran en estas pinzas dos alambres de cobre cubiertos de seda *c* y *d*, que reciben la corriente inductora.

En la cara del platillo B, que mira á A, se arrolla tambien en espiral un alambre de cobre, pero mas fino que el C. Terminan sus estremidades en las pinzas *m* y *n*, que reciben dos alambres *h* é *i*, para que trasmitan la corriente inducida. Los dos alambres arrollados en los platillos A y B estan, no solo cubiertos de seda, sino que además cada circunvolucion se halla aislada de la siguiente por una espesa capa de barniz de goma laca, que es condicion indispensable para esperimentar con la electricidad de las máquinas eléctricas, la cual se aisla siempre con mas dificultad que la de las pilas.

Para demostrar la produccion de la corriente inducida por la descarga de una botella de Leyden, se hace comunicar uno de los es-

tremos del alambre C con la armadura esterior de la botella, y el otro con el gancho, y al instante en que salta la chispa, obrando por influencia la electricidad que pasa por el alambre C sobre el fluido neutro del alambre arrollado en B, se origina en este alambre una corriente instantánea. En efecto, una persona que tenga en las manos dos cilindros de cobre que estén en comunicacion con los alambres *i* y *h*, recibe una conmocion, cuya intensidad es tanto mayor, cuanto mas aproximados se hallan los platillos A y B. Este esperimento demuestra que la electricidad de las máquinas eléctricas puede, lo mismo que la de la pila, dar orígen á corrientes de induccion.

El aparato de M. Matteucci sirve tambien para demostrar la produccion de las corrientes inducidas por la influencia de las corrientes voltáicas. Se hace pasar la corriente de una pila por un alambre inductor C, y al mismo tiempo se ponen en comunicacion los dos alambres *h* é *i* con un galvanómetro. Obsérvanse, en el momento en que principia ó acaba la corriente, los mismos fenómenos que con el aparato de la fig. 514, desviándose tanto mas la aguja del multiplicador, cuanto mas aproximados estan los platillos A y B.

695. **Induccion por los imanes.** — Se ha visto que la influencia de una corriente imanta una barra de acero (680); y recíprocamente

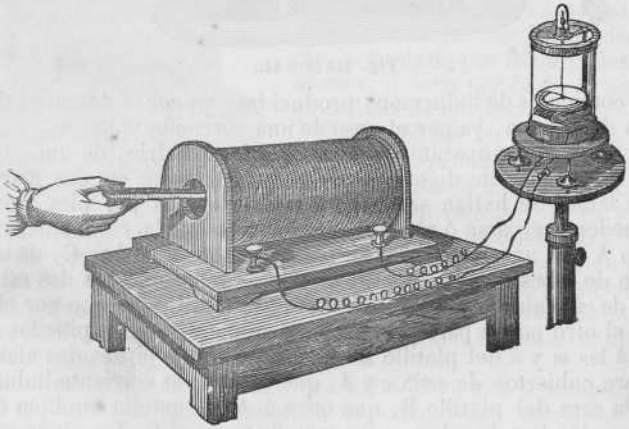


Fig. 516.

un iman puede originar, en los circuitos metálicos, corrientes de induccion. Demostrólo M. Faraday por medio de una bobina de un solo alambre de 200 á 300 metros de longitud. Puestos sus dos estremos en comunicacion con un galvanómetro (fig. 516), se introduce bruscamente en la bobina, que está hueca, una gran barra imantada, observándose entonces los fenómenos siguientes:

1.° En el momento en que se introduce la barra, indica el galvanómetro en el alambre una corriente inducida instantánea, inversa

de la que hay alrededor de la barra, comparando esta á un solenoide, conforme se hace en la teoría de Ampere (679);

2.° Luego que se retira la barra, la aguja del galvanómetro, que habia vuelto al cero, indica una corriente inducida directa.

Tambien se puede comprobar la influencia inductora de los imanes por medio del esperimento que sigue: se coloca, en la bobina de un solo alambre, una barra de hierro dulce, y se acerca bruscamente un poderoso iman; desvíase la aguja del galvanómetro, vuelve al cero luego que se fija el iman, y se desvía en sentido contrario cuando se le aleja. La induccion es producida aquí por la imantacion del hierro dulce bajo la influencia de la barra imantada.

Obtiénense los mismos efectos de induccion en el alambre de un electro-iman, si delante de sus estremidades se hace girar con rapidez una gran barra imantada, de modo que actúen sus polos sucesivamente por influencia sobre las dos ramas del electro-iman; ó bien todavía, formando dos bobinas alrededor de un iman en herradura, y haciendo pasar una placa de hierro dulce con rapidez delante de los polos del iman; pues reacciona sobre este el hierro dulce imantado por influencia, resultando de aquí en el alambre corrientes inducidas, sucesivamente de sentidos contrarios.

696. **Induccion por los imanes en los cuerpos en movimiento.**—Arago observó por vez primera en 1824, que el número

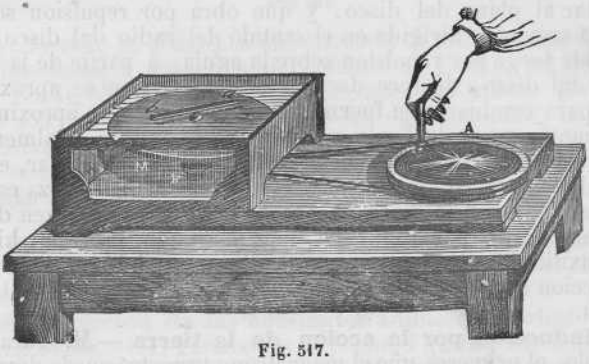


Fig. 517.

de oscilaciones que da una aguja imantada, en tiempos iguales, cuando se la separa de su posicion de equilibrio, disminuye por la aproximacion de ciertas masas metálicas, y especialmente del cobre, que puede reducir el número de oscilaciones de 300 á 4. Esta observacion condujo al mismo físico, en 1825, á un hecho no menos inesperado, cual es el de la accion rotatoria que una placa de cobre en movimiento ejerce sobre una aguja imantada.

Compruébase este fenómeno por medio de un aparato (fig. 517) que se compone de un disco metálico M, móvil alrededor de un eje vertical. Sobre este eje hay una polea B, que recibe un cordon sin fin

que va á pasar por otra polea mayor A. Haciendo girar esta con la mano, se puede comunicar al disco M un movimiento muy rápido de rotacion. Encima del disco está fija una lámina de vidrio con un estilete que sostiene una aguja imantada *ab*. Si el disco toma un movimiento lento y uniforme, se desvía la aguja en el sentido del movimiento, y se para á 20 ó 30 grados del meridiano magnético, segun la velocidad de rotacion del disco. Pero si aumenta esta velocidad, se desvía al fin mas de 90 grados la aguja, y arrastrada entonces, describe una revolucion entera, y sigue el movimiento del disco hasta que se para este.

El efecto disminuye con la distancia de la aguja al disco, y varía mucho con la naturaleza de este. Se nota el máximum de efecto en los metales; y con la madera, el vidrio, el agua, etc., es nulo. Los señores Babbage y Herschell, en Inglaterra, encontraron que, representando por 100 la accion de un iman sobre un disco de cobre, en los demas metales vale los números siguientes: zinc, 95; estaño, 46; plomo, 25; antimonio, 9; bismuto, 2. Por último, es muy débil el efecto si ofrece la placa soluciones de continuidad, sobre todo en el sentido de sus radios; pero los mismos físicos se cercioraron de que recobra sensiblemente la misma intensidad si se sueldan las soluciones de continuidad con un metal cualquiera.

Arago ha reconocido que la fuerza que imprime el movimiento de rotacion á la aguja es la resultante de otras tres fuerzas: la una perpendicular al plano del disco, y que obra por repulsion sobre la aguja; la segunda, dirigida en el sentido del radio del disco, y que obra desde luego por repulsion sobre la aguja, á partir de la circunferencia del disco, decrece despues á medida que se aproxima al centro, para cambiarse en fuerza atractiva cuando se aproxima mas á este punto, y quedar nula en este mismo punto; finalmente, la tercera fuerza, paralela al plano del disco, es perpendicular, en cada punto, al radio, y su accion es atractiva: esta última fuerza es, pues, la que hace girar á la aguja. Arago no descubrió el origen de estas diferentes fuerzas, y Faraday fué el primero que, en 1832, hizo ver, con el auxilio del galvanómetro, que ellas eran debidas á corrientes de induccion desarrolladas en los discos por la influencia de la aguja imantada.

697. **Induccion por la accion de la tierra.**—M. Faraday ha reconocido, el primero, que el magnetismo terrestre puede desarrollar corrientes inducidas en los cuerpos metálicos en movimiento, obrando como un poderoso iman colocado en el interior del globo en la direccion de la aguja de inclinacion, ó conforme á la teoría de Ampere (679), como un circuito de corrientes eléctricas dirigidas del este al oeste paralelamente al ecuador magnético. Lo manifestó desde luego colocando una larga hélice de alambre de cobre forrado en seda, en el plano del meridiano magnético, paralelamente á la aguja de inclinacion; haciendo girar esta hélice de 180 grados alrededor de un eje que la atravesaba en su medio, observaba que á cada semirevolucion, un galvanómetro, puesto en comunicacion con los estremos de la hé-

lice, era desviado. Para demostrar las corrientes inducidas desarrolladas por la accion de la tierra, se ha construido el aparato representado en la fig. 518. Se compone de un anillo circular de madera MN, fijo á un árbol horizontal, con el cual puede girar con movimiento mas ó menos rápido. En la parte convexa de este anillo hay practicada una garganta, sobre la cual se arrolla un largo alambre

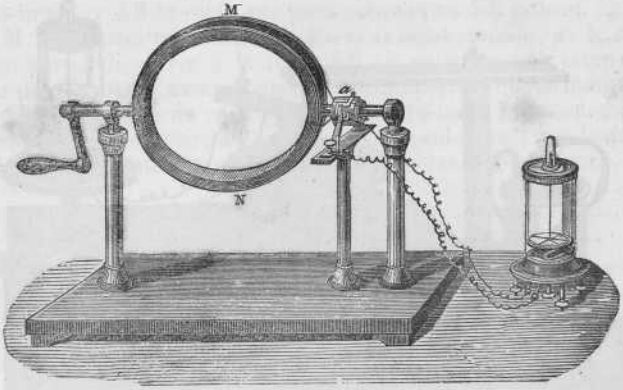


Fig. 518.

de cobre forrado en seda. Los dos estremos de este alambre se dirigen á un conmutador *a* análogo al del aparato de Clarke (701), y por el cual se puede obtener una corriente siempre del mismo sentido. En fin, los dos conductores, en contacto con el conmutador, estan puestos en comunicacion, por medio de dos alambres de cobre, con un galvanómetro. Sentado esto, estando dirigido el eje del anillo perpendicularmente al meridiano magnético, y verificándose, por consiguiente, la rotacion de cada punto del anillo en planos paralelos á este meridiano, al momento que se hace girar al anillo, se ve desviar á la aguja del galvanómetro de este á oeste segun el sentido de la rotacion.

* 698. **Direccion de las corrientes inducidas sobre los discos giratorios.** — M. Faraday es el primero que ha investigado cuál era la direccion de las corrientes inducidas sobre la superficie de los discos metálicos que giren ante los polos contrarios de dos poderosos imanes. Su procedimiento consiste en poner uno de los estremos del alambre del galvanómetro en contacto con el eje del disco giratorio, y el otro estremo con diferentes puntos de la circunferencia del mismo disco. Él ha demostrado, segun la desviacion de la aguja del galvanómetro, que, durante la rotacion del disco, se producen en su superficie corrientes inducidas que estan dirigidas del centro á la circunferencia, ó de la circunferencia al centro, segun el sentido de la rotacion, y que estas corrientes son simétricas con relacion al diámetro polar, es decir, que pasa por encima de los polos de los imanes.

MM. Nobili y Antinori se han ocupado tambien de investigar la direccion de las corrientes inducidas sobre los discos giratorios, y para esto, estando en contacto con el eje del disco uno de los estremos del alambre del galvanómetro, hacian comunicar el otro estremo, no solo con la circunferencia del disco, sino todavía con los diferentes puntos de su superficie. Ellos han observado así que sobre las

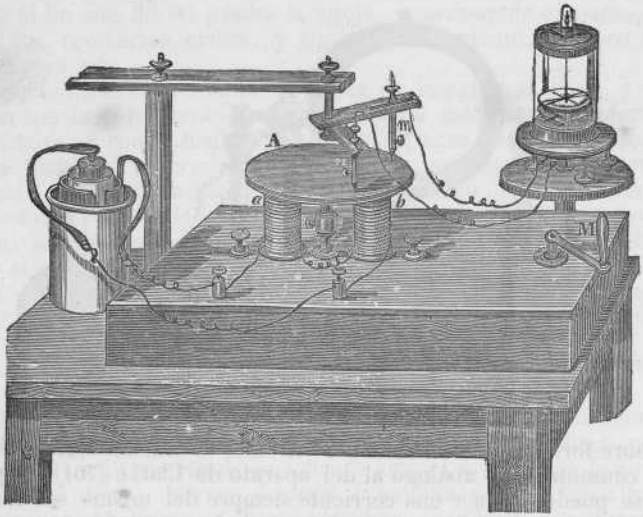


Fig. 519.

partes del disco que entran bajo la influencia magnética, se desarrolla constantemente un sistema de corrientes contrarias á las del iman, y que, sobre las partes que se libran de la misma influencia, se producen corrientes del mismo sentido que en el iman, y por consiguiente, contrarias á las primeras.

Habiendo estudiado M. Matteucci los mismos fenómenos, aunque con mas precision, los ha encontrado mas complicados que lo que se pensaba. La fig. 519 representa el aparato empleado por este físico. Se compone de una caja de madera, en la cual una série de engranages trasmiten, mediante un manubrio M, un movimiento de rotacion mas ó menos rápido á un disco de metal A, de 20 centímetros de diámetro. Debajo del disco, á una distancia de 2 á 3 milímetros, hay un poderoso electro-iman *ab*, que se mueve en una ranura, de manera que pueda presentar sus polos sucesivamente á todos los puntos del disco. Finalmente, encima del disco hay dos varillas de cobre *m* y *n*, terminadas cada una por una punta roma y amalgamada, que tocan al disco. Estas mismas varillas comunican, por su estremidad superior, con los dos estremos del alambre del galvanómetro; además, por la disposicion de los sostenes, á los cuales estan fijas,

pueden ocupar todas las posiciones con relacion al centro y circunferencia del disco.

Ahora bien, mediante este aparato, y poniendo uno de los estremos del alambre del galvanómetro en contacto con el centro, y el otro con los diferentes puntos de la superficie del disco, M. Matteucci ha demostrado los hechos siguientes, representados en la fig. 520, en la cual los puntos N y S son las proyecciones de los dos polos del electro-iman, y AB la recta que pasa sobre estos dos polos :

1.° M. Matteucci ha encontrado *líneas de nula corriente*, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, que son perpendiculares á la línea AB, y se contornan cerca de los bordes del disco, de manera que los cortan perpendicularmente.

2.° La proyeccion de cada polo del electro-iman sobre el disco es un *punto neutro*, es decir, de nula corriente; además, una línea neutra *rr*, sensiblemente circular, que pasa por las proyecciones de los

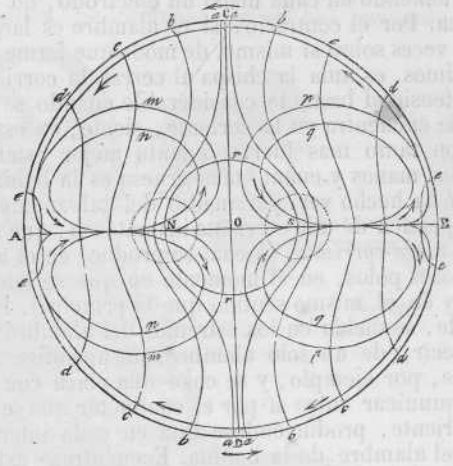


Fig. 520.

dos polos, y tiene por centro el eje del electro-iman, es al mismo tiempo *línea de inversion*, es decir, que las corrientes en el interior y en el esterior de estas líneas tienen direccion contraria.

3.° Las *lineas de corrientes eléctricas*, es decir, aquellas segun las cuales tiene lugar el máximum de efecto, cortan siempre perpendicularmente las líneas de corriente nula y son tangentes á la recta AB; las líneas de corriente máxima estan representadas en *m*, *n*, *p*, *q*, en la figura anterior.

4.° La posicion de la línea neutra *rr*, que pasa por las proyecciones de los dos polos, no es sensiblemente modificada por la naturaleza del disco, ni por su espesor, ni por la intensidad de la pila, pero esta línea se estrecha sobre sí misma á medida que la velocidad de rotacion aumenta.

5.° En fin, de cada lado de los puntos neutros, sobre el diámetro polar, se encuentran dos puntos *máxima* cuya distancia depende del grosor del electro-iman, y del diámetro del disco giratorio.

Para mayores detalles sobre estos curiosos fenómenos, enviamos al lector al *Curso especial sobre la induccion y magnetismo de rotacion*, publicado á fines de 1854 por M. Matteucci.

* 699. **Induccion de una corriente sobre sí misma; extra-corriente.** — Cuando el alambre que da paso á una corriente voltáica está contorneado sobre sí mismo en espiral, se observa que las espiras de la hélice reaccionan las unas sobre las otras para dar mas intensidad á la corriente. En efecto, con una pila de algunos pares de Bunsen, por ejemplo, no se obtiene mas que una chispa apenas sensible, ya cerrando, ya abriendo la corriente, si el alambre que reune los dos polos es corto y no está arrollado. Además, si se forma parte del circuito, teniendo en cada mano un electrodo, no se siente conmocion alguna. Por el contrario, si el alambre es largo y está arrollado muchas veces sobre sí mismo, de modo que forme una bobina de pliegues próximos, es nula la chispa al cerrar la corriente, pero adquiere una intensidad bastante considerable cuando se la abre; y si una persona se encuentra en la coriente, siente, en este último caso, una conmocion tanto mas fuerte, cuanto mejor establecido está el contacto con las manos y cuanto mas gruesa es la bobina.

M. Faraday ha hecho ver, por medio del galvanómetro, que estos fenómenos dependen de una corriente instantánea, que se designa con el nombre de *extra-corriente*, la cual se produce en el alambre mismo que reune los dos polos, en el momento en que se interrumpe la comunicacion, y en el mismo sentido que la principal. Para recoger la extra-corriente, se suelda en los estremos del alambre de una bobina sencilla, es decir, de un solo alambre, un apéndice metálico, una placa de cobre, por ejemplo, y se coge una placa con cada mano, ó se las hace comunicar entre sí por el conductor que se desea someter á la extra-corriente, produciéndose esta en cada interrupcion de la que pasa por el alambre de la bobina. Encuéntrase así que la extra-corriente causa violentas conmociones, da vivas chispas, descompone el agua, funde el platino y desvía la aguja imantada. M. Abria, que ha hecho numerosos esperimentos sobre las corrientes de induccion, ha encontrado que la intensidad de la extra-corriente es igual á unos 0,72 de la de la corriente principal. Debemos considerar, pues, la extra-corriente como una corriente de induccion, desarrollada en el mismo alambre inductor por la accion mútua de las espiras de la bobina entre sí.

Los efectos anteriores adquieren una intensidad aun mucho mas enérgica si se introduce en la bobina una barra de hierro dulce, ó lo que es igual, si se hace pasar la corriente á las bobinas de un electro-iman. Tambien es este un fenómeno de induccion que procede de la reaccion del hierro dulce cuando cesa su imantacion.

* 700. **Corrientes inducidas de diferentes órdenes.** — A pesar de su instantaneidad pueden las mismas corrientes inducidas, por su

influencia sobre los circuitos cerrados, dar orígen á nuevas corrientes inducidas, luego estas á otras, y así sucesivamente, produciendo *corrientes inducidas de diferentes órdenes.*

Compruébanse estas corrientes, descubiertas por M. Henry, de Nueva-Jersey, haciendo reaccionar unas sobre otras una série de bobinas formadas cada una por un alambre de cobre cubierto de seda, contorneado sobre sí mismo en espiral en un mismo plano, segun se ve en el platillo A de la figura 515. Nótase que las corrientes que entonces se producen siguen alternativamente direccion contraria, y que su intensidad decrece á medida que su órden es mas elevado.

APARATOS FUNDADOS EN LAS CORRIENTES DE INDUCCION.

701. Aparato de Clarke. — M. Clarke ha construido en Lóndres un aparato que produce todos los efectos de las corrientes de induccion magnética. Se compone de un haz imantado A (fig. 521),

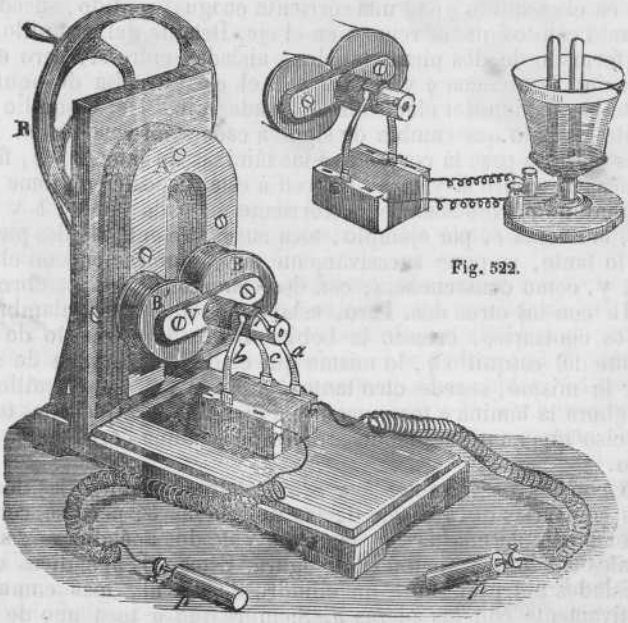


Fig. 522.

Fig. 521.

muy poderoso, encorvado en herradura y aplicado verticalmente á lo largo de una tabla de madera. Delante de este haz hay un electro-iman BB', móvil alrededor de un eje horizontal. Sus bobinas estan en dos cilindros de hierro dulce unidos por un estremo por una placa V, de hierro dulce tambien, y en el otro por una segunda de laton. Estas dos placas se fijan en un eje de cobre que remata en una

estremidad por un conmutador *gi*, y en la otra por una polea, á la cual se trasmite el movimiento por medio de una correa sin fin y de una gran rueda R.

Cada bobina consta de un alambre de cobre muy fino que da 1500 vueltas, y que está cubierto de seda. Un estremo del alambre de la bobina B se reune, sobre el eje de rotacion, con otro del de B′, y los otros dos rematan en un casquillo de cobre *q*, sujeto en el eje, pero aislado de él por una cubierta cilíndrica de marfil. Se procura que en los estremos reunidos tenga igual direccion la corriente inducida, lo cual se consigue arrollando los alambres en sentidos contrarios en las dos bobinas.

Ahora bien, cuando gira el electro-iman, se imantan alternativamente sus dos ramas en sentido contrario por la influencia del iman A, y en cada alambre se produce una corriente inducida que cambia de direccion á cada semi-revolucion. Para seguir la marcha de estas corrientes, es preciso recordar que los dos estremos del alambre que terminan en el casquillo *q* dan una corriente en igual sentido, sucediendo otro tanto con los que se reunen en el eje. Delante del casquillo *q* hay otro *o* formado de dos piezas iguales, aisladas entre sí, pero en comunicacion la una con *q* y la otra con el eje. Resulta de aquí que, durante la rotacion del electro-iman, cada mitad del casquillo *o* representa un polo que cambia de signo á cada semi-revolucion. Desde las dos piezas *o* pasa la corriente á las láminas de laton *b* y *c*, fijas en las placas de cobre *m* y *n*; y, merced á esta disposicion, tiene constantemente el mismo sentido la corriente en cada lámina *b* y *c*. En efecto, la lámina *c*, por ejemplo, toca sucesivamente las dos piezas *o*, y por lo tanto, se pone sucesivamente en comunicacion con el eje y con *q*, y, como consecuencia, con dos estremos de los alambres y en seguida con los otros dos. Pero, estando arrollados los alambres en sentidos contrarios, cuando la bobina B′ ocupa el puesto de B, la corriente del casquillo *q*, lo mismo que el del eje, cambia de signo; y, por lo mismo, sucede otro tanto á cada mitad del casquillo *o*; y, como ahora la lámina *c* toca una mitad distinta de la que antes tocaba, es preciso que continúe siendo atravesada por una corriente de igual sentido.

Solo con las dos láminas *b* y *c*, no podrian reunirse las dos corrientes contrarias que parten de las dos piezas *o*; pero se consigue esto por medio de una tercera lámina *a* y de dos apéndices *i*, uno de los cuales tan solo es visible en la figura. Estos dos apéndices se hallan aislados entre sí sobre un cilindro de marfil, mas comunican respectivamente con las piezas *o*. Siempre que *a* toca uno de ellos, está en comunicacion con *b* y queda cerrada la corriente, pues pasa de *b* á *a*, y luego á *c* por la placa *n*. Al contrario, mientras la lámina *a* no toca uno de los apéndices, está interrumpida la corriente.

En el momento en que se interrumpe la corriente se pueden obtener conmociones muy fuertes; y, al efecto, se fijan en *n* y en *r* dos largos alambres de cobre contorneados en hélice, y terminados por dos cilindros *p* y *p′* que se cogen con las manos. Entonces, cada vez

que se interrumpe la corriente, se produce en el circuito que forman los alambres *np*, *rp'*, y por el cuerpo, una extra-corriente instantánea (699) que causa una violenta conmocion. Renuévase esta á cada semirevolucion del electro-iman, aumentando su intensidad con la velocidad de rotacion. Además, los músculos se contraen con tal fuerza, que se niegan á obedecer los mandatos de la voluntad, no pudiéndose abrir los puños. Con un aparato bien construido y de gran dimension, no es posible resistir las conmociones, y si alguien lo intenta, es derribado, se agita por el suelo, y muy pronto le obligan á ceder los dolores.

Con el aparato de Clarke se hacen producir á las corrientes de induccion todos los efectos de las corrientes voltáicas. La figura 522 indica de qué manera se dispone el esperimento para la descomposicion

Fig 523.

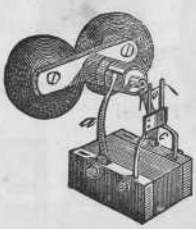


Fig. 524.

del agua. Se suprime entonces la lámina *a*, encontrándose cerrada la corriente por el líquido en que entran los dos alambres que representan los electrodos.

Para los efectos fisiológicos y químicos, el alambre arrollado en las bobinas es fino y de una longitud en cada uno de ellos de 500 á 600 metros. Para los efectos físicos, al contrario, el alambre es grueso y tiene de 25 á 30 metros en cada bobina. Las figuras 523 y 524 revelan la forma que se da á las bobinas y al conmutador. La primera representa la inflamacion del éter, y la segunda la incandescencia de un alambre *o*, por el cual pasa, siempre en el mismo sentido, la corriente que va de *a* á *c*.

Antes que Clarke, Pixii, hijo, habia construido en Paris un aparato del mismo género, diferenciándose tan solo en que el haz magnético era móvil y el electro-iman fijo.

* 702. **Bobina de Ruhmkorff.** — M. Ruhmkorff ha construido por vez primera, en 1851, bobinas de dos alambres, de dimensiones muy considerables, por medio de las cuales se consigue hacer producir á las corrientes de induccion, aun con un solo par de Bunsen, efectos físicos, químicos y fisiológicos equivalentes y hasta superiores á los de las mas poderosas máquinas eléctricas.

El aparato de M. Ruhmkorff se compone de una gran bobina B (figura 525), situada verticalmente sobre un platillo de vidrio grueso que la aisla. Esta bobina, que tiene unos 30 centímetros de altura, se compone de dos alambres, uno grueso de dos milímetros de diáme-

tro, que da trescientas vueltas, y otro fino de solo un tercio de milímetro de diámetro, arrollado sobre el primero y de 8 á 10 quilómetros de longitud, constituyendo unas diez mil vueltas. Estos alambres, no solo se hallan cubiertos de seda, sino que cada espira está aislada de la siguiente por una capa de barniz con goma laca. El alambre grueso es el inductor, y la corriente que lo recorre es simplemente la de uno ó de dos pares de Bunsen. Comunicando el polo positivo de la pila con el alambre PH, va la corriente por un conductor C á un conmutador G; de aquí baja por una pieza metálica *g*, y sigue por una placa de cobre F que le conduce á una de las estremidades *v* del alambre

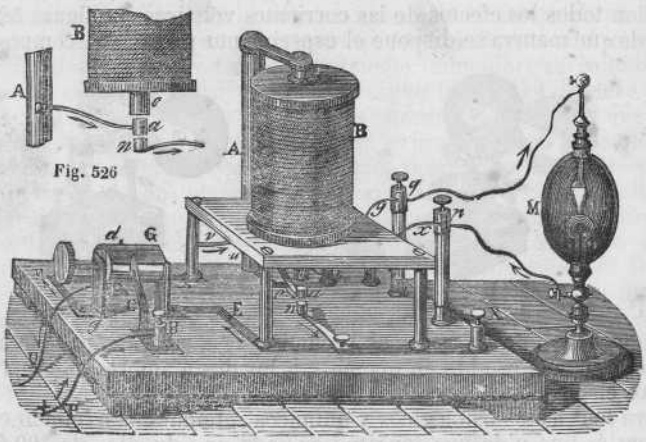


Fig. 525 (a = 42).

grueso de la bobina. El otro estremo termina en *i* en uno de los pies de cobre que sostiene el platillo de vidrio, y la corriente, al salir de la bobina, se dirige á una segunda placa *c*, desde la cual sube por una columna de hierro *u*A, en donde alcanza un martillo oscilante *a* (figura 526) que, ora se halla en contacto con un conductor *n*, ora se aleja de él. Cuando se efectúa el contacto, sigue la corriente los conductores *n* y E (fig. 525), conforme lo indican las flechas, sube por el conductor G, y vuelve á la pila por el conductor *d* y el alambre Q.

El movimiento de vaiven del martillo *a* proviene de un cilindro de hierro dulce *ro*, situado en el eje de la bobina. Cuando la corriente de la pila recorre el alambre grueso, se imanta el hierro (680) y atrae de abajo arriba al martillo *a*, que es tambien de hierro. Interrumpida entonces la corriente, puesto que no puede pasar por la pieza *n*, pierde el cilindro *or* su imantacion, y vuelve á caer el martillo *a*. En este momento principia de nuevo la corriente, otra vez se levanta la pieza *a*, y así sucesivamente. A medida que pasa así la corriente de la pila, por intermitencia, por el alambre grueso de la bobina, se produce en el alambre fino, á cada interrupcion, una corriente de induccion su-

cesivamente directa é inversa. Completamente aislado este último alambre, adquiere la corriente inducida una tension tan considerable, que puede producir efectos muy intensos. M. Fizeau ha aumentado todavía esta intensidad interponiendo un condensador en el circuito inductor. Este condensador, tal cual lo ha construido M. Ruhmkorff, consta de dos láminas de estaño, pegadas en las dos caras de una tira de tafetan engomado, de unos 4 metros de longitud, y replegadas entre otras dos del mismo tafetan, de modo que se las pueda introducir en el interior de la tablita que sirve de sosten al aparato. Las armaduras del condensador comunican con dos botones X, fijos en la tablita, para recoger la extra-corriente (699) á cada interrupcion de la corriente inductora.

703. Efectos producidos con la bobina de Ruhmkorff. — M. Masson notó la considerable tension de las corrientes de induccion, y trató de utilizarla para obtener de ella efectos de electricidad estática. Con este objeto construyó, en 1842, con M. Bréguet, un aparato de induccion, por medio del cual obtuvo efectos luminosos y caloríficos ya muy notables; pero M. Ruhmkorff es quien despues ha aislado completamente la corriente de induccion con goma laca en su bobina, conforme antes se dijo, pudiéndose ya utilizar toda la tension de las corrientes de induccion, y reconocer que estas poseen á la vez las propiedades de la electricidad estática y de la dinámica. Muchos físicos se han apresurado á multiplicar los esperimentos con el aparato de Ruhmkorff, particularmente, en el estrangero, los señores Grove, Neef y Poggendorff, y en Francia, los señores Quet, Masson, Despretz, Ed. Becquerel, Gaugain y Du Moncel.

Los efectos fisiológicos del aparato de Ruhmkorff son sumamente intensos, pues la violencia de las conmociones es tal, que muchos observadores han sido derribados. Con dos pares de Bunsen se mata un conejo, y con un número poco considerable de los mismos pares le cabria igual suerte al hombre.

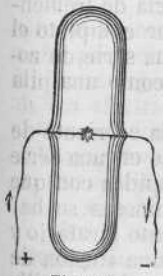


Fig. 527.

Compruébanse tambien con facilidad los efectos caloríficos, pues basta interponer entre los dos estremos de los alambres *p* y *q* (fig. 525) un alambrito de hierro muy fino, el cual se funde y arde con viva luz. Obsérvase aquí el curioso fenómeno, de que si se hace terminar cada uno de los alambres *p* y *q* por otro de hierro muy fino, cuando se acercan estos entre sí, solo se funde el del polo negativo, indicando así que la tension es mayor en este que en el positivo.

Los efectos químicos del aparato de Ruhmkorff son sumamente variados, porque este aparato da á la vez electricidad estática y dinámica. Por ejemplo, por la forma de los electrodos de platino que se introducen en el agua, por su distancia y por el grado de acidificacion del agua, se pueden obtener en este líquido simples efectos luminosos sin descomposicion, ó bien descomposicion del agua con la separacion de los gases en los dos polos, con los gases

mezclados en un solo polo, ó con los mismos mezclados en ambos polos.

Pueden tambien descomponerse ó combinarse los gases por la accion prolongada de la chispa de la corriente de induccion. Los señores Ed. Becquerel y Fremy han comprobado que, si se hace pasar la corriente del aparato de Ruhmkorff por un tubo de vidrio lleno de aire y herméticamente cerrado (fig. 527), se combinan el nitrógeno y el oxígeno del aire, dando orígen á ácido nitroso.

Tambien son muy variados los efectos luminosos del aparato de Ruhmkorff, segun tengan lugar en el aire, en el vacío ó en los vapores muy enrarecidos. En el aire originan una chispa viva y ruidosa, y en el vacío ya no pueden ser mas notables los efectos. Se hacen comunicar los dos alambres *q* y *p* de la bobina con las dos varillas del huevo eléctrico (615), descrito ya para observar en el vacío los efectos luminosos de la máquina eléctrica. Hecho en el globo el vacío, por lo menos hasta uno ó dos milímetros, se ve un hermosísimo penacho luminoso de una á otra esfera, de un modo sensiblemente contínuo y con la misma intensidad que la que se obtiene con una poderosa máquina eléctrica cuyo disco se hace girar con rapidez. Este esperimento se halla representado en la fig. 525, y en mayor escala en la 530. La 528 representa una desviacion singular de la luz eléctrica cuando se acerca la mano al huevo.

El polo positivo de la corriente inducida es el que presenta mas brillo; su luz es de un color rojo de fuego, mientras que la del negativo es débil y violácea; además, esta última se prolonga á lo largo de la varilla negativa, fenómeno que no se produce en la positiva.

* 704. **Estratificacion de la luz eléctrica.**—Estudiando la luz eléctrica que da el aparato de induccion de M. Ruhmkorff, ha observado M. Quet que si no se hace el vacío en el globo del esperimento anterior hasta despues de haber introducido en él esencia de trementina, alcohol, sulfuro de carbono, etc., se modifica por completo el aspecto de la luz. Aparece entonces bajo la forma de una série de zonas alternativamente brillantes y oscuras, que forman como una pila de luz eléctrica entre los dos polos (fig. 529).

En este esperimento resulta, de la intermitencia de la corriente de induccion, que no es contínua la luz, sino que consiste en una série de descargas tanto mas rápidas, cuanto mayor es la rapidez con que oscila el martillo *a* (fig. 526). Parece que las zonas luminosas se hallen entonces animadas por un doble y rápido movimiento giratorio y ondulatorio. M. Quet considera este movimiento como una ilusion de óptica, fundándose en que si se hace oscilar lentamente el martillo con la mano, aparecen muy distintas y fijas las zonas.

La luz del polo positivo es roja las mas de las veces, y violácea la del negativo. Con todo, la tinta varía con el vapor ó el gas que contiene el globo.

M. Despretz ha observado que los fenómenos que los señores Ruhmkorff y Quet constituyeron con una corriente discontínua, se reproducen con una corriente contínua ordinaria, pero con la importante

diferencia que esta última exige mas pares de Bunsen, mientras que la primera no exige mas que uno del aparato de M. Ruhmkorff. No menos notable es otro hecho comprobado por la esperiencia, cual es el

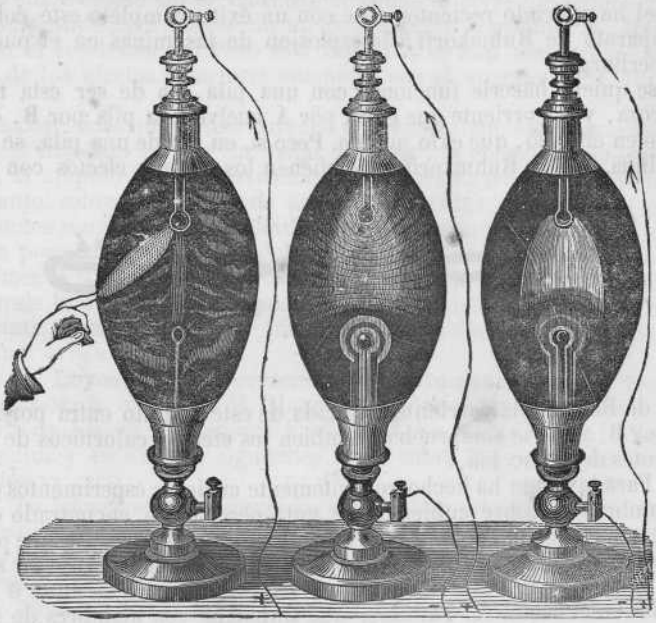


Fig. 528. Fig. 529. Fig. 530.

de que la intensidad de los efectos luminosos de dicho aparato aumenta muy poco multiplicando el número de los pares de Bunsen.

No se conoce aun la teoría de los fenómenos de la estratificacion de la luz eléctrica en los vapores, y de la coloracion de los polos.

No siéndonos posible esponer aquí los esperimentos, no menos curiosos que variados, hechos pocos años há con el aparato de Ruhmkorff, remitimos al lector á un folleto muy circunstanciado que ha publicado M. Du Moncel sobre este aparato.

* 705. **Aplicaciones de la bobina de Ruhmkorff, cohete de Statham.** — El ingeniero inglés M. Statham ha encontrado recientemente que en un alambre de cobre AB (fig. 531), cubierto de gutapercha sulfurada, se forma á los pocos meses, en contacto con el metal y con su cubierta, una capa de sulfuro de cobre que basta para conducir la corriente. En efecto, si se corta, en cualquier punto del circuito, la mitad superior de la cubierta, y si en la escotadura que queda se separa un pedazo de alambre de cobre de unos seis milímetros de longitud, se interrumpe de *a* á *b* una corriente intensa que pase por el alambre, pero se trasmite entonces por el sulfuro de co-

bre que ella hace entrar en ignicion. Resulta de todo esto que, si en la escotadura en cuestion se pone un cuerpo inflamable, como pólvora comun ó algodon pólvora, se inflama, y de aquí proviene el nombre de *cohete de Statham*, impuesto al aparato que nos ocupa. M. Du Moncel ha aplicado recientemente con un éxito completo este cohete y el aparato de Ruhmkorff á la esplosion de las minas en el puerto de Cherburgo.

Si se quiere hacerle funcionar con una pila, ha de ser esta muy poderosa, y la corriente que entra por A vuelve á la pila por B, ó se pierde en el suelo, que es lo mismo. Pero si, en vez de una pila, se usa la bobina de M. Ruhmkorff, se obtienen los mismos efectos con dos

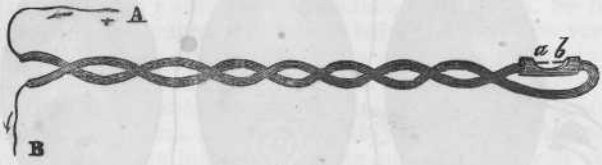


Fig. 531.

pares de Bunsen; la corriente inducida de este aparato entra por A y sale por B; y así se comprueban tambien los efectos caloríficos de las corrientes de induccion.

M. Faraday, que ha hecho recientemente curiosos esperimentos con los alambres de cobre cubiertos de guta-percha, ha encontrado que los efectos físicos y fisiológicos producidos por una corriente que pasa por dichos alambres son muy débiles y hasta insensibles en el aire libre, pero muy intensos si se hallan estos sumergidos en agua ó enterrados en el suelo. M. Faraday, que trabajaba con alambres de 160 quilómetros de longitud, esplica este fenómeno, comparando el alambre de cobre, cubierto de guta-percha, con una botella de Leyden construida en grande escala: el alambre de cobre, cargado de electricidad por la pila ó por la bobina, obra por influencia, al traves de la guta-percha, sobre el agua ó el suelo, el cual viene á formar de esta manera la armadura esterior de la botella, resultando como consecuencia la acumulacion de electricidad y los efectos poderosos que en tal caso se obtienen.

706. **Caractéres de las corrientes de induccion.**—Por los diferentes esperimentos hasta aquí indicados sobre las corrientes de induccion, se ve que, á pesar de su instantaneidad, poseen todas las propiedades de las corrientes voltáicas ordinarias. Lo mismo que estas, causan violentos efectos fisiológicos, producen otros luminosos, caloríficos y químicos, y dan á su vez orígen á nuevas corrientes inducidas. En fin, hacen girar la aguja de los galvanómetros é imantan las barras de acero, cuando pasan por un alambre de cobre arrollado en espiral alrededor de dichas barras.

La intensidad de la conmocion de las corrientes inducidas hace comparables sus efectos á los de la electricidad en el estado de ten-

sion (614). Con todo, como obran siempre sobre el galvanómetro, hay que admitir que, en los alambres sometidos á la induccion, se encuentra á la vez electricidad en el estado de tension y en el dinámico. En efecto, recogiendo de un modo contínuo la corriente inducida del mismo sentido, por medio de un conmutador consiguió M. Masson cargar el condensador. Pero esta hipótesis es aun mas probable en vista de los efectos anteriores obtenidos con el aparato de M. Ruhmkorff.

Las corrientes inducidas directa é inversa han sido comparadas entre sí bajo tres puntos de vista, que son: la energía de la conmocion, la amplitud de la desviacion del galvanómetro y la accion magnetizante sobre las barras de acero. Apreciadas así, ofrecen estas corrientes muy diversos resultados, pues parecen sensiblemente iguales en punto á la desviacion del galvanómetro, mientras que por lo que hace á la conmocion es muy viva la de la corriente directa, y casi nula la de la inversa. Igual diferencia se nota en la fuerza magnetizante, pues la directa imanta á saturacion, y la inversa no imanta.

* **707. Leyes de las corrientes de induccion.** — En su *Tratado especial sobre la induccion*, M. Matteucci deduce, de sus propios trabajos y de los de los señores Faraday, Lenz, Dove, Abria, Weber, Marianini y Felici, las siguientes leyes sobre las corrientes de induccion:

1.ª *La intensidad de las corrientes inducidas es proporcional á la de las corrientes inductoras.*

2.ª *Esta misma intensidad es proporcional al producto de las longitudes de los circuitos inductor é inducido.*

3.ª *La fuerza electro-motriz desarrollada por una cantidad dada de electricidad es la misma, cualquiera que sea la naturaleza, seccion y forma del circuito inductor.*

4.ª *La fuerza electro-motriz desarrollada por la induccion de una corriente sobre un circuito conductor cualquiera, es independiente de la naturaleza de este conductor.*

5.ª *El desarrollo de la induccion es independiente de la naturaleza del cuerpo aislador interpuesto entre los circuitos inductor é inducido.*

Esta última ley, segun lo hemos observado ya, no está acorde con las esperiencias de M. Faraday sobre la induccion de la electricidad al estado estático (590).

* **708. Calor desarrollado por la induccion de los imanes poderosos sobre los cuerpos en movimiento.** — Hablando del esperimento de Arago (696), se ha visto que un disco de cobre, girando sobre sí mismo, obra á distancia sobre un iman móvil para trasmitirle su movimiento de rotacion. Muy luego se verá (710) que recíprocamente un cubo de cobre, animado de un rápido movimiento de rotacion, es detenido bruscamente por la influencia de los polos de dos poderosos imanes (fig. 535). Es evidente que, en estos esperimentos, si se quiere impedir la rotacion de la aguja, ó que el cubo continúe girando, será menester gastar constantemente un cierto

trabajo mecánico para vencer la resistencia que resulta de la accion inductriz de los imanes. Pero, fundándose en la teoría de la trasformacion del trabajo mecánico en calor, que preocupa á los físicos desde algunos años á esta parte (548), se ha buscado cuál seria así la cantidad de calor desarrollada por las corrientes de induccion bajo la influencia de los imanes poderosos. M. Joule, con objeto de determinar el equivalente mecánico del calor, ha arrollado una bobina de induccion alrededor de un cilindro de hierro dulce, y habiendo encerrado el todo en un tubo de cristal lleno de agua, ha impreso al conjunto un rápido movimiento de rotacion entre las ramas de un

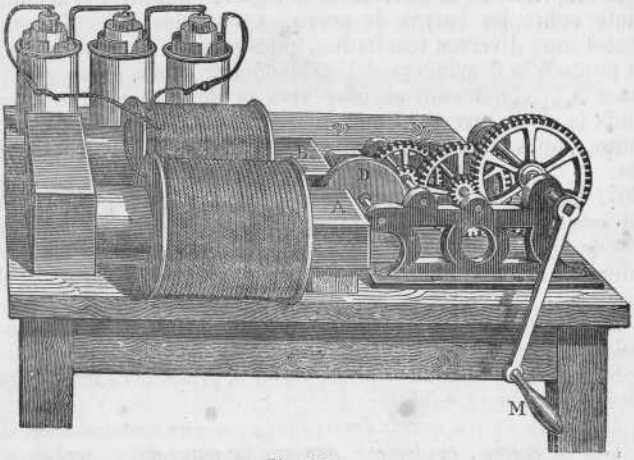


Fig. 532.

poderoso electro-iman. Un termómetro colocado en el líquido servia para medir la cantidad de calor desarrollada por las corrientes de induccion en el hierro dulce y en el alambre de cobre que lo envolvia.

M. Foucault ha hecho recientemente, con este objeto, un esperimento notable con el aparato representado en la fig. 532. Este aparato consiste en un poderoso electro-iman fijo horizontalmente sobre una tabla. Dos piezas de hierro dulce A y B estan en contacto con los polos del electro-iman, de manera que, imantándose ellas mismas por influencia, concentran sobre las dos caras de un disco metálico su accion magnética inductriz. En el disco de cobre D, de 75 milímetros de diámetro y 7 milímetros de espesor, se introduce en parte entre las A y B, donde él recibe, mediante un manubrio y una combinacion de ruedas dentadas, una velocidad de 150 á 200 vueltas por segundo.

Supuesto esto, en tanto que la corriente de la pila no pasa por el alambre del electro-iman, no se esperimenta mas que una débil resistencia á girar el manubrio, y si, una vez que ella ha tomado con

las ruedas y el disco un rápido movimiento de rotacion, se la abandona á sí misma, la rotacion continúa bastante tiempo, en virtud de la velocidad adquirida. Pero si se hace pasar la corriente, el disco y las otras piezas se paran casi intantáneamente, y si entonces se empuña de nuevo el manubrio, se esperimenta una resistencia considerable. Pero si á pesar de esta resistencia se continúa girando, aquí es donde la fuerza que se gasta se trasforma en calor, pues el disco se calienta de una manera notable. En un esperimento que hemos presenciado á M. Foucault, la temperatura del disco se elevó desde 10 hasta 61 grados en 3 minutos, siendo producida la corriente tan solo por tres pares de la pila de Bunsen. Con seis, es tal la resistencia, que no se podria girar mucho tiempo.

* CAPITULO VII.

EFECTOS OPTICOS DE LOS IMANES PODEROSOS; DIAMAGNETISMO.

709. **Efectos ópticos de los imanes poderosos.** — M. Faraday descubrió, en 1845, que un electro-iman poderoso ejerce en muchas sustancias trasparentes una accion tal, que si un rayo polarizado (525) los atraviesa en la direccion de la línea de los polos magnéticos, se desvía el plano de polarizacion á derecha ó á izquierda (531), segun el sentido de la imantacion.

La fig. 533 representa el aparato de M. Faraday, tal cual lo construye M. Ruhmkorff. Se compone de dos electro-imanes M y N sumamente poderosos, fijos en dos piezas de hierro O, O′, que pueden

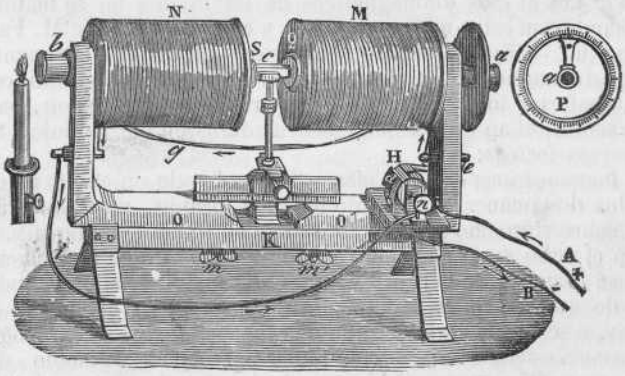


Fig. 533 (a = 43).

acercarse mas ó menos deslizándose sobre el pie K. La corriente de una pila de 10 á 11 pares de Bunsen entra por A, sigue por un conmutador H, por la bobina M, luego por el N, por el alambre *g*, baja por el *i*, pasa de nuevo al conmutador, y sale por B. Los dos cilindros

de hierro dulce S y Q, que ocupan el eje de las bobinas, llevan agujeros cilíndricos para el paso de los rayos luminosos. En fin, en *b* y en *a*, hay dos prismas de Nicol (529, 4.°), que sirven, el primero de polarizador, y el segundo de analizador. Gira este último, por medio de una alidada, en el centro de un círculo graduado, visto de frente en P.

Dispuestos estos dos prismas de modo que sus secciones principales sean perpendiculares entre sí, el prisma *a* estingue por completo la luz trasmitida al traves del prisma *b*. Si entonces se coloca en *c*, sobre el eje de las dos bobinas, una placa de caras paralelas de flint ó de vidrio, se estingue tambien la luz mientras no pasa la corriente; pero luego que se establecen las comunicaciones, reaparece la luz, pero colorada, y si se hace girar el analizador *a* á derecha ó á izquierda, en la direccion de la corriente, recorre la luz las diversas tintas del espectro, conforme sucede con las placas de cuarzo talladas perpendicularmente al eje (532). M. E. Becquerel ha hecho ver que muchas sustancias sólidas y líquidas pueden hacer girar así el plano de polarizacion bajo la influencia de imanes poderosos. M. Faraday admite que en estos esperimentos la rotacion del plano de polarizacion depende de una accion de los imanes sobre los rayos luminosos; y los señores Biot y Ed. Becquerel creen que procede de una accion de los imanes sobre los cuerpos trasparentes sometidos á su influencia, que es la hipótesis que generalmente se admite.

710. Efectos diamagnéticos de los imanes poderosos. — Se ha visto ya (532) que se llaman *diamagnéticos* los cuerpos que son repelidos por los imanes. Esta denominacion ha sido adoptada por M. Faraday, quien observó por primera vez esta especie de fenómeno, en 1847. Los efectos diamagnéticos de los imanes no se manifiestan sino cuando son estos muy poderosos, y con el aparato de M. Faraday es como (fig. 533) han sido descubiertos y estudiados. Encuéntranse cuerpos diamagnéticos lo mismo en los sólidos que en los líquidos y los gases, conforme lo demuestran los esperimentos que siguen, para los cuales se atornillan en las bobinas armaduras de hierro dulce S y Q, de diversas formas.

1.° *Diamagnetismo de los sólidos.*—Suspendiendo un cubito de cobre, entre los dos imanes, de un hilo de seda torcido, y girando rápidamente sobre sí mismo por efecto de la destorsion del hilo (fig. 535), se para el cubo en la posicion en que se encuentra en el momento en que pasa la corriente por las bobinas. Si se da á la pieza móvil la forma de una barrita rectangular, se pone en cruz con el eje de las bobinas, ó se dirige en el sentido de este eje, segun se componga de una sustancia diamagnética, como el bismuto y el antimonio, ó bien de una magnética, como el hierro, el niquel ó el cobalto.

2.° *Diamagnetismo de los líquidos.* — Los líquidos ofrecen tambien los fenómenos de magnetismo y de diamagnetismo. Para observarlos, se llenan con ellos unos tubitos muy delgados de vidrio que se suspenden en vez del cubo *m* (fig. 535). Si los líquidos son magnéticos, como las disoluciones de hierro, de niquel ó de cobalto, se dirigen los tubos

en el sentido del eje de los dos electro-imanes; pero, si son diamagnéticos, como el agua, el alcohol, el éter, la esencia de trementina y la mayor parte de las disoluciones salinas, se colocan los tubos en una direccion perpendicular al eje de los imanes.

La accion de los imanes poderosos sobre los líquidos magnéticos ó diamagnéticos se observan tambien, por medio del esperimento que sigue, que M. Plücher hizo por vez primera. Se vierte una disolucion de cloruro de hierro en un vidrio de reloj, y se pone este sobre las dos armaduras S y Q de los electro-imanes del aparato de Faraday.

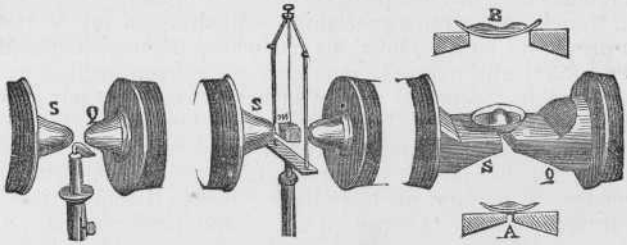


Fig. 534. Fig. 535. Fig. 536.

Apenas pasa la corriente por los electro-imanes, se ve que forma la disolucion, segun el intervalo de las bobinas, uno ó dos rehenchimientos A y B (fig. 536), que persisten mientras pasa la corriente, produciéndose en grados distintos con todos los líquidos magnéticos. Los diamagnéticos ofrecen efectos inversos, conforme de ello se cercioró M. Plücher con el mercurio, observando su curvatura en una moneda de plata recientemente amalgamada y puesta sobre las armaduras.

3.° *Diamagnetismo de los gases.*—M. Bancalary ha sido el primero en observar que la llama de una vela situada entre las dos bobinas del aparato de Faraday, es rechazada con fuerza por ellos (fig. 534). Todas las llamas presentan en grados diversos el mismo fenómeno, M. Quet ha obtenido efectos de repulsion sumamente intensos, sometiendo al mismo esperimento la luz eléctrica de la pila, obtenida con los dos conos de carbon (fig. 458).

Despues del esperimento de M. Bancalary, han hecho numerosas investigaciones los señores Faraday y Ed. Becquerel sobre el diamagnetismo de los gases, segun hemos dicho ya al hablar de la accion de los imanes poderosos sobre todos los cuerpos (552). Además, reconoció M. Faraday que el oxígeno, que es magnético á la temperatura ordinaria, se vuelve diamagnético á una temperatura muy elevada, y que, á menudo, el magnetismo y el diamagnetismo de una sustancia dependen del medio en que está. Por ejemplo, un cuerpo magnético en el vacío puede ser diamagnético en el aire.

4.° *Detonacion producida por la rotura de la corriente bajo la influencia de un poderoso electro-iman.*—Citarémos todavía, como efecto notable del aparato de M. Faraday, el siguiente esperimento debido á

M. Ruhmkorff. Cuando se colocan entre los dos polos S y Q de la figura 534 las dos estremidades del grueso alambre por el que pasa la corriente del electro-iman, es decir, cerrando la corriente entre los dos polos S y Q, este cierre tiene lugar sin chispa y sin ruido, ó bien con un ruido y una chispa débiles. Pero, en el momento en que se separan las dos estremidades del alambre, y que, por consiguiente, se interrumpe la corriente, se percibe una detonacion violenta, casi tan fuerte como la de un pistoletazo. Pareceria, pues, aquí que la intensidad de la extra-corriente (699) estaria poderosamente aumentada por la influencia de los dos polos de un electro-iman.

711. **Teoría del diamagnetismo.** — Muchas son las teorías que se han propuesto para esplicar los fenómenos diamagnéticos. M. Ed. Becquerel (552) admite que la repulsion que ejercen los imanes sobre ciertas sustancias, depende de que se hallan rodeadas por un medio mas magnético que ellas, lo cual es evidentemente una aplicacion del principio de Arquímedes. M. Plücher dió una teoría que difiere de la de M. Ed. Becquerel, pero apoyada tambien en el principio de Arquímedes. M. Faraday atribuye los fenómenos diamagnéticos á los de induccion, admitiendo que en un cuerpo diamagnético, como el bismuto, por ejemplo, se producen, al aproximar un poderoso iman, corrientes de induccion sobre las cuales reaccionan las de Ampere, es decir, las que este físico ha supuesto en los imanes (679). De suerte que, colocándose los polos del mismo nombre en presencia, hay repulsion, como en los solenoides (676). En las sustancias magnéticas, por el contrario, se producen corrientes orientadas de modo que estan el uno enfrente del otro los polos no idénticos, y en tal caso hay atraccion.

CAPITULO VIII.

CORRIENTES TERMO-ELECTRICAS.

712. **Esperimento de Seebeck.** — Hasta ahora solo hemos hablado de corrientes eléctricas desarrolladas por las acciones químicas, porque estas constituyen efectivamente el manantial mas poderoso de electricidad dinámica. El calor puede dar tambien orígen á corrientes, verdad es que muy débiles, pero notables por el enlace que establecen entre el calor y la electricidad, y por la aplicacion que han recibido en el aparato de M. Melloni. Estas corrientes han recibido el nombre de *corrientes termo-eléctricas*, para distinguirlas de las que proceden de acciones químicas, que se llaman *corrientes hidro-eléctricas*.

Sabíase ya que muchos cristales naturales, como la turmalina y el topacio, adquirian propiedades eléctricas cuando se les elevaba su temperatura, y Volta habia anunciado que una lámina de plata, calentada desigualmente en sus dos estremidades, constituia un elemento electro-motor; pero Seebeck, profesor en Berlin, fué el prime-

ro que, en 1821, demostró que el movimiento del calórico en un circuito metálico podia dar origen á corrientes eléctricas.

Compruébanse estas corrientes por medio de un aparatito (fig. 537) que consiste en una lámina de cobre *mm*, cuyas estremidades estan encorvadas y soldadas con una lámina de bismuto *op*. En el interior del circuito así formado hay una aguja imantada *a*, móvil sobre un eje. Dispuesto el aparato en la direccion del meridiano magnético, se calienta ligeramente una de las soldaduras, y entonces se desvía la aguja, indicando una corriente de *n* hácia *m*, es decir, de la soldadura caliente á la fria, en el cobre. Si, en vez de calentar la soldadura *n*, se la enfria con hielo, conservando á la otra su temperatura, se produce tambien una corriente, pero en sentido inverso, esto es, de *m* á *n*, y en ambos casos es tanto mas enérgica cuanto mayor es la *diferencia* de temperatura de las dos soldaduras.

713. **Causa de las corrientes termo-eléctricas.** — No pueden atribuirse al contacto las corrientes termo-eléctricas, porque se des-

Fig. 537 (a=17).

arrollan en circuitos constituidos por un solo metal; ni tampoco provienen de acciones químicas, pues M. Becquerel se ha cerciorado de que se originan igualmente en el vacío y en el hidrógeno. Observando estas corrientes por medio del galvanómetro, encontró el mismo físico que dependen siempre de la desigual propagacion del calórico al traves de las diferentes partes del circuito.

Para demostrarlo, se toma un arco formado de dos metales, y se reunen sus dos estremidades con las del alambre galvanométrico, ya simplemente por contacto, ya soldándolas entre sí. Mientras todos los puntos del circuito tienen igual temperatura, no indica el galvanómetro ninguna corriente; mas, si se calienta una soldadura, inmediatamente la desviacion de la aguja del multiplicador acusa el paso de una corriente.

Si todas las partes del circuito son homogéneas, no se manifiesta corriente alguna al calentar cualquiera de sus puntos, porque entonces se propaga el calórico con igualdad en todas direcciones; cual sucede, por ejemplo, si se reunen los dos estremos del alambre de

cobre que se arrolla alrededor del galvanómetro con otro alambre de cobre. Pero, si se destruye la homogeneidad de este último alambre en uno de sus puntos, torciéndole muchas veces sobre sí mismo, ó anudándole, y si se le calienta entonces cerca de este punto, la aguja indica, por su desviacion, una corriente que va del punto calentado á aquel en el cual ha sido destruida la homogeneidad. Calentando el otro lado de este último punto, se produce la corriente en sentido inverso.

714. **Poder termo-eléctrico de los metales.** — Llámase *poder termo-eléctrico* de un metal, la energía de la corriente producida por propagacion del calor en él. Para una misma diferencia de temperatura, entre dos puntos próximos, varía este poder segun los metales, y para un mismo metal aumenta con la diferencia de temperatura.

Formando circuitos de distintos metales, y elevando á 20 grados una soldadura, mientras se mantienen las otras á cero, pudo clasificar M. Becquerel los metales en el órden creciente de sus poderes termo-eléctricos, á saber: bismuto, platino, plata, estaño, plomo, cobre, oro, zinc, hierro y antimonio: cada uno es positivo comparado con los que le preceden, y negativo respecto de los que le siguen.

715. **Teoría de las corrientes termo-eléctricas.** — Para esplicar la produccion de las corrientes por la accion del calor, admite M. Becquerel que, cuando un circuito metálico se calienta en un punto, se descompone el fluido natural, de modo que, en el momento en que aumenta la temperatura de las moléculas, se apoderan estas de la electricidad positiva y repelen la negativa. Luego, calentándose á su vez las moléculas siguientes, se electrizan positivamente, cediendo su electricidad negativa á las primeras, y así sucesivamente á medida que se propaga el calórico por el circuito; de suerte que se produce una corriente de electricidad positiva de la region caliente á la fria, y otra de electricidad negativa en sentido contrario.

Propagándose el calórico en un circuito homogéneo con igualdad en todos sentidos, la parte calentada da orígen á dos corrientes contrarias y de la misma intensidad, cuyo efecto es nulo en la aguja del galvanómetro. Pero si pierde la homogeneidad el circuito, no siendo ya la misma la conductibilidad calorífica, y como se calienta el circuito mas en un sentido que en otro, se producen dos corrientes inversas de desigual intensidad, de suerte que la energía de la que se observa, es entonces la diferencia de las de estas dos. La corriente obtenida es, pues, tanto mas intensa, cuanto mayor es la diferencia de los poderes termo-eléctricos de los dos metales. Dedúcese su direccion de la teoría anterior, que dice que el polo positivo corresponde al metal de mas poder termo-eléctrico, y el negativo al otro.

716. **Propiedades de las corrientes termo-eléctricas.** — Las corrientes termo eléctricas se distinguen de las hidro-eléctricas en que, conducidas como estas por los metales, no lo son por los líquidos, ó á lo menos en grado muy remiso. Con todo, no depende esta diferencia de la naturaleza de las corrientes, sino de su tension, que es considerablemente mas débil que la de las hidro-eléctricas. En

efecto, M. Pouillet ha comprobado, por medio del galvanómetro diferencial, que la intensidad de la corriente termo-eléctrica, desarrollada por un par de bismuto y de antimonio, cuyas soldaduras ofrecen una diferencia de temperatura de 100 grados, es cien mil veces menor que la de la hidro-eléctrica de una pila de artesa ordinaria de 12 pares.

Como los líquidos no conducen, las corrientes termo-eléctricas, por su escasa tension, no producen estas, en general, ningun efecto químico; si bien M. Botto, de Turin, con 150 pares termo-eléctricos de platino y de hierro pudo observar indicios de descomposicion en los líquidos.

Las corrientes termo-eléctricas ejercen, lo mismo que las hidro-eléctricas, una accion directriz sobre la aguja imantada; pero como por su escasa tension se debilitan rápidamente, cuando crece la longitud del circuito que atraviesan, no se les debe hacer recorrer alambres largos cuando pasan por el circuito del galvanómetro. Por eso, en tal caso se forma el circuito con un alambre corto y grueso, mientras que en los galvanómetros destinados para las corrientes hidro-eléctricas el alambre es fino y largo.

717. **Pila termo-eléctrica de Nobili.** — Las *pilas termo-eléctricas* son unos aparatos que acumulan las tensiones termo-eléctricas que se producen en un circuito compuesto de muchos metales, cuando se calientan de dos en dos las soldaduras, permaneciendo las otras á una temperatura constante.

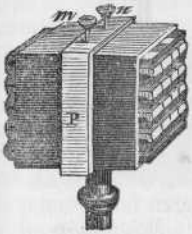


Fig. 538.

Fig. 539.

La primera pila de este género, construida por OErsted y Fourier, se componia de una série de barritas de bismuto y de antimonio, soldadas en línea recta ó en círculo. A cada dos soldaduras terminaban las barras de bismuto en una parte angular que se introducia en hielo á cero, mientras que se calentaban las otras soldaduras á 200 ó 300 grados, por medio de lamparillas.

M. Nobili ha modificado la forma de la pila termo-eléctrica, con objeto de que quepan mas pares en menos volúmen. Reunió los pares de bismuto y de antimonio de modo que, despues de haber formado una fila de cinco pares (fig. 539), el bismuto *b* se suelda lateralmente con el antimonio de una segunda fila semejante, luego el último bismuto de esta con el antimonio de una tercera fila, y así sucesivamente hasta cuatro filas verticales, que contengan reunidas 20 pares, principiando por un antimonio y acabando por un bismuto. Dispuestos de esta suerte los pares, se aislan entre sí por medio de tiritas de papel cubiertas de barniz, y encerradas luego en un estuche de cobre P (fig. 538), en términos de que solo las soldaduras aparezcan en los estremos de la pila. Dos varillas de cobre *m* y *n*, aisladas en un

anillo de marfil, comunican interiormente, la una con el primer antimonio, y representa el polo positivo, y la otra con el último bismuto, haciendo veces del negativo. Estas varillas comunican con las estremidades del alambre de un galvanómetro, cuando se desea observar la corriente termo-eléctrica.

718. **Termo-multiplicador de Melloni.** — La pila termo-eléctrica (fig. 538), combinada con el galvanómetro, ha pasado á ser, en manos de Melloni, el aparato termométrico mas sensible que se conoce. Dicho físico le impuso el nombre de *termo-multiplicador* (figura 540).

En una tabla de madera, sostenida por cuatro tornillos de nivel, está *de canto* una regla de cobre de un metro de longitud y dividida en centímetros. En esta regla se colocan, á distancias variables, por

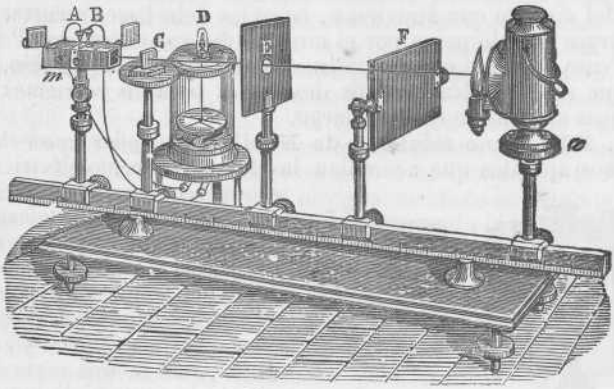


Fig. 540 (a — 42).

medio de tornillos de presion, diferentes piezas, que son : un pié *a* en el cual se pone una lámpara de Locatelli ú otro foco de calor, dos pantallas F y E, un segundo pié C que recibe los cuerpos sometidos al esperimento, y por último, la pila termo-eléctrica *m*. Cerca del aparato hay un galvanómetro D, de alambre corto y grueso, que comunica en A y en B con los dos polos de la pila. La sensibilidad de este instrumento es tal, que el calor de la mano basta, á la distancia de un metro, para desarrollar en la pila una corriente capaz de desviar la aguja del galvanómetro. Ya sabemos (658) de qué modo se gradúa este último instrumento, así como las importantes aplicaciones que Melloni ha hecho con su termo-multiplicador en el estudio del poder diatérmano de los cuerpos (365 á 375), y en la polarizacion del calor (543).

Para servirse del termo-multiplicador para la medida de temperaturas, hay que determinar primero la relacion de la desviacion de la aguja, y por lo mismo la intensidad de la corriente, con la diferencia de las temperaturas de las soldaduras. Averiguado esto, y cono-

cida la temperatura de las soldaduras no espuestas al foco de calor, la desviacion da la de las otras soldaduras, y por consiguiente, la temperatura del manantial.

CAPITULO IX.

ELECTRO-QUIMICA; TEORIA QUIMICA DE LA PILA; CORRIENTES DERIVADAS.

719. Electricidad procedente de las acciones químicas. — La teoría del contacto, que Volta habia propuesto para esplicar la produccion de la electricidad en la pila (623), fué muy pronto atacada por muchos físicos. Habiendo observado Fabroni, compatriota de Volta, que en la pila se oxidaban los discos de zinc en contacto con las rodajas aciduladas, creyó que esta oxidacion era la causa principal del desprendimiento de la electricidad. Wollaston, en Inglaterra, participó muy pronto de la misma opinion, que Davy apoyó con ingeniosos esperimentos.

Verdad es que, cogiendo con la mano la estremidad zinc de un sistema de dos placas de zinc y cobre soldadas por los estremos, mientras la estremidad cobre tocaba al platillo colector del electrómetro condensador, habia obtenido Volta señales sensibles de electricidad; pero si se coge el zinc con unas pinzas de madera, ha hecho ver M. de La Rive que desaparece todo indicio de electricidad, sucediendo otro tanto si el zinc se halla colocado en gases, como el hidrógeno ó el nitrógeno, que no ejercen sobre él accion alguna. M. de La Rive dedujo de aquí que la electricidad, en el esperimento de Volta, dependia de las acciones químicas que resultan de la traspiracion cutánea de la mano ó del oxígeno del aire.

Se demuestra el desarrollo de electricidad, en las acciones químicas, con el electrómetro condensador (fig. 431). Se pone en el platillo superior un disco de papel mojado, y encima una capsulita de zinc con agua y ácido sulfúrico, en cuyo líquido se introduce luego una lámina de platino que comunique con el suelo, haciendo tambien lo mismo con el platino inferior por el intermedio del dedo mojado. Cuando se interceptan las comunicaciones y se quita el platillo superior, se ve que los panes de oro han adquirido una cantidad sensible de electricidad positiva, lo cual demuestra que el platillo superior habia sido electrizado negativamente por la accion química del ácido sulfúrico sobre las paredes de la cápsula. En fin, M. Becquerel ha demostrado, por medio del galvanómetro, que toda accion química, por débil que sea, va acompañada siempre de un desprendimiento de electricidad.

A pesar de los esperimentos que acabamos de describir, no han abandonado completamente los físicos la teoría del contacto, pues muchos la sostienen aun, y en particular los señores Marianini, Ohm y Poggendorff. M. Becquerel, en su *Tratado de electro-química*, admite

que los efectos del contacto pueden tener lugar muy bien cuando las afinidades principian á ejercer su accion, y de consiguiente, antes que se efectúen las combinaciones, pero que estos efectos desaparecen ante los que producen las acciones químicas. En general, la opinion que hoy se sigue es que si el contacto desarrolla electricidad, es en cortísima cantidad, dependiendo los efectos de las pilas, sobre todo de la electricidad de las acciones químicas.

El estado actual de nuestros conocimientos sobre la teoría de la electricidad, está bien reasumido en los principios siguientes de M. Frankenheim, recientemente publicados en los *Anales* de Poggendorff.

«1.° Dos metales heterogéneos desarrollan, por su contacto, una corriente cuya intensidad, por lo menos dentro de ciertos límites, es una funcion de la temperatura de los metales; 2.° la verdadera electricidad de contacto no es la electricidad ordinaria de Volta, sino la de Seebeck; 3.° la corriente hidro-galvánica tiene su orígen en una accion química, y 4.° la electricidad ordinaria de frotamiento es en parte termo-eléctrica y en parte química, dominando, á no dudarlo, en nuestras máquinas eléctricas, esta última accion.»

720. **Leyes del desarrollo de electricidad en las acciones químicas.** — Todas las acciones químicas van acompañadas de un desarrollo de electricidad, en el cual se observan las leyes siguientes, establecidas por M. Becquerel y comprobadas por medio del condensador y del galvanómetro:

1.ª *En la combinacion del oxígeno con otro cuerpo, toma aquel la electricidad positiva, y el combustible la negativa* (1).

2.ª *En la combinacion de un ácido con una base, ó de cuerpos que se comporten como tales, el primero toma la electricidad positiva, y el segundo la negativa.*

3.ª *Cuando un ácido obra químicamente sobre un metal, aquel se electriza positivamente y este negativamente, lo cual es una consecuencia de la segunda ley.*

4.ª *En las descomposiciones, los efectos eléctricos son inversos de los anteriores.*

5.ª *En las dobles descomposiciones no se altera el equilibrio de las fuerzas eléctricas.*

Es enorme la cantidad de electricidad que se desprende en las acciones químicas. En efecto, M. Becquerel llegó á un resultado que asombra, pues la oxidacion de una cantidad de hidrógeno capaz de producir un miligramo de agua, desarrolla suficiente electricidad para cargar *veinte mil veces una superficie metálica de 1 metro cuadrado*, á un grado tal, que las chispas de la descarga saltan á un centímetro de distancia. MM. Faraday y Peltier han obtenido resultados análogos.

---

(1) En todos estos casos seria muy conveniente que los AA. de estas teorias dijesen *de dónde toman los cuerpos tales electricidades, y en virtud de qué accion*; pues una teoría eléctrica no queda satisfecha en tanto que no se nos diga cuál es el estado de un cuerpo *antes* de una accion, *en el momento*, y *despues* de la misma. *(N. de J. P.)*

721. Teoría química de la pila. — Admitiendo esclusivamente las acciones químicas como causa del desarrollo de la electricidad en la pila, M. de La Rive dió la teoría siguiente de este aparato.

Si se considera una pila de artesa AB (fig. 541), formada de pares de zinc y cobre, y con agua que lleve en disolucion ácido sulfúrico en los intervalos (628), el ácido de cada uno de ellos ataca al zinc, pero no ejerce accion alguna sobre el cobre á la temperatura ordinaria; de modo que en toda la pila hay desarrollo de electricidad positiva hácia el líquido y de negativa en el zinc de cada par (720, 3.°). En el intervalo *b*, en donde el líquido está al mismo tiempo en contacto con un

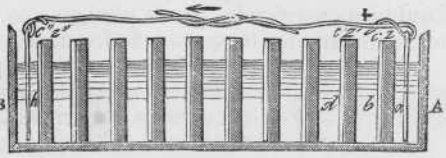


Fig. 541.

zinc y un cobre, la electricidad positiva del líquido se recompone constantemente con la contraria del par *cz*; de igual manera, en el intervalo *d*, el fluido positivo del líquido se combina con el negativo del par *z'c'*, y así sucesivamente en toda la pila; de suerte que solo las electricidades de las celdillas estremas *a* y *h* quedan libres, porque no pueden unirse con las de las inmediatas. Fácil es ver que entonces la celdilla *a* está electrizada positivamente por la accion de su ácido sobre el zinc *z*, y la *h* lo está negativamente por la electricidad que le comunica el par *z''c''*. Con todo, estas celdillas apenas conservan las electricidades desarrolladas por las acciones químicas, porque se recompone la mayor parte de ambos fluidos: 1.° en el contacto mismo del zinc y del líquido, á medida que se descompone la electricidad natural, y 2.° al traves de la pila, por los pares y el liquido acidulado.

En esta teoría, las electricidades contrarias de los pares interpolares forman constantemente fluido neutro, y por lo mismo, si se reunen los dos polos por un circuito metálico, este no es atravesado mas que por la electricidad que desarrolla un solo par. Fácil es ver que la tension de los polos aumenta con el número de los pares; pues, habiendo encontrado M. de La Rive que la conductibilidad de una masa líquida interrumpida por diafragmas metálicos está en razon inversa de su número, es claro que cuantos mas sean los pares interpolares, tanta mas dificultad encuentran en la pila para su recomposicion las electricidades contrarias acumuladas en los polos, y tanto mayor es la tension. Dedúcese tambien de lo dicho que, en los pares interpolares, la tension decrece de los polos á la parte media de la pila, pues, disminuyendo el intervalo de los pares, es menor la resistencia á la recomposicion. Por la misma razon es nula la tension en la parte central.

La resistencia á la recomposicion de las electricidades contrarias acumuladas en los dos polos, aumenta cuando es menos conductor el líquido interpolar, y por lo tanto, ha de suceder lo mismo con la tension. En efecto, M. de La Rive ha observado que, estando llenos los intervalos de la pila de agua acidulada ó de agua ordinaria, no varía la tension. En el primer caso es mucho mayor la produccion de electricidad, pero se recomponen mas fácilmente los fluidos contrarios.

Lo teoría de M. de La Rive se aplica á todas las pilas antes descritas, ya de un solo líquido, ya de dos (625 á 638).

722. **Trasportes verificados por las corrientes.** — En las descomposiciones químicas verificadas por la pila, no solo hay separacion de los elementos, sino tambien trasportes de los unos al polo positivo, y de los otros al negativo. Davy ha demostrado este fenómeno por medio de muchos esperimentos, si bien no citarémos mas que los dos que siguen:

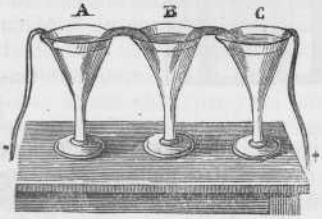


Fig. 542.

1.° Habiendo vertido una disolucion de sulfato de sosa en dos cápsulas reunidas por una torcida de amianto humedecida con la misma disolucion, se introduce en la una el electrodo positivo, y en la otra el negativo. Se descompone entonces la sal, y á las pocas horas, todo el ácido sulfúrico se encuentra en la primera cápsula, y la sosa en la segunda.

2.° Teniendo tres copas A, B, C (fig. 542), con una disolucion de sulfato de sosa la primera, con jarabe de violeta diluido la segunda, y con agua pura la tercera, se las pone en comunicacion entre sí por medio de torcidas de amianto humedecidas, y luego se hace pasar la corriente de C hácia A, por ejemplo. Se descompone entonces el sulfato de la copa A, en la cual, que es negativa, queda muy pronto la sosa, siendo trasportado todo el ácido á la copa positiva C. Si, por el contrario, va la corriente de A á C, á esta se dirige la sosa, quedándose el ácido en A; pero en ambos casos se observa el notable fenómeno de que la tintura de violeta de B, ni se enrojece, ni se enverdece por el paso del ácido ni de la base por su masa, fenómeno cuya esplicacion vamos á dar ahora.

723. **Hipótesis de Grotthuss sobre las descomposiciones electro-químicas.** — Grotthuss dió de las descomposiciones electro-químicas operadas por la pila la teoría que sigue: adoptando primero la hipótesis de que en todo compuesto binario, ó que se comporta como tal, uno de los elementos es electro-positivo y el otro electro-negativo (649), admite dicho físico que, bajo la influencia de las electricidades contrarias de los electrodos de la pila, se produce en el líquido en que penetran una série de composiciones y recomposiciones sucesivas de uno á otro polo, de suerte que solo los elementos de las moléculas estremas, por no recomponerse, quedan libres y se dirigen

á los polos. El agua, por ejemplo, como se compone de un átomo de oxígeno y de dos de hidrógeno, y como el primer gas es electro-negativo y el segundo electro-positivo, cuando dicho líquido es atravesado por una corriente suficientemente enérgica, la molécula *a*, en contacto con el polo positivo, se orienta (fig. 543), esto es, el oxígeno se encuentra atraido y el hidrógeno repelido. Dirigiéndose entonces el oxígeno de esta molécula al electrodo positivo, el hidrógeno que queda libre se une inmediatamente con el oxígeno de la molécula *b*, luego el hidrógeno de esta con el oxígeno *c*, y así sucesivamente hasta el polo negativo, en donde los últimos átomos de hidrógeno quedan libres y van al polo. La misma teoría se aplica á los óxidos metálicos, á los ácidos y á las sales, y esplica por qué en el esperimento del párrafo anterior no se enrojeció ni enverdeció la tintura de violeta de la copa B.

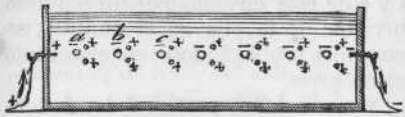


Fig. 543.

724. Leyes de las descomposiciones químicas por la pila.— M. Faraday dió á conocer esta notable ley de las descomposiciones por la pila: *Cuando una misma corriente actúa sucesivamente sobre una série de disoluciones, los pesos de los elementos separados estan en la misma relacion que sus equivalentes químicos.*

Los esperimentos que han conducido á esta ley se hicieron con voltámetros (649) reunidos entre sí por medio de alambres de platino y atravesados por la misma corriente. Así se ha encontrado, con disoluciones salinas de diversos metales, que las cantidades de metal depositadas sobre los alambres negativos, en los voltámetros, eran respectivamente proporcionales á los equivalentes de dichos metales.

725. Polaridad eléctrica. — La *polaridad eléctrica* es una propiedad particular que adquieren las láminas de platino que han servido para trasmitir la corriente á un líquido descomponible. Esta propiedad, indicada por M. de La Rive, consiste en que, retiradas de la primera disolucion é introducidas en agua pura, dan orígen dichas láminas á una corriente en sentido inverso de la que habian trasmitido, lo cual se comprueba haciéndolas comunicar con las estremidades del alambre de un galvanómetro. La corriente secundaria que así se desarrolla es tanto mas intensa, cuanto mas prolongada ha sido la accion de la corriente primera.

M. Becquerel ha dado la esplicacion de la polaridad que adquieren los metales, haciendo ver que depende de que, en la descomposicion de las sales, una capa de ácido se adniere á la lámina que hace veces de electrodo positivo, y otra capa de base en el negativo; porque basta introducir dos láminas de platino, una en el ácido y otra en una disolucion alcalina, para que adquieran la polaridad.

Las láminas de platino que han servido para la descomposicion del agua pura, adquieren tambien la polaridad eléctrica, aunque no puede atribuirse al efecto de un ácido ó de una base; pero M. Ma-

teucci ha hecho ver que proviene entonces del oxígeno y del hidrógeno que se adhieren respectivamente en cada lámina.

726. **Corrientes derivadas, leyes de la derivacion.**—Supongamos la corriente producida por un par de Bunsen recorriendo un alambre de cobre *rqpnm* (fig. 544), y consideremos el caso en que se reunen dos puntos cualesquiera *n* y *q* de este circuito por un segundo alambre *nxq*. Bifurcándose la corriente de la pila en el punto *q*, se divide en otras dos, la una que continúa propagándose en el sentido *qpnm*, y la otra que toma la direccion *qxnm*.

Supuesto esto, los dos puntos *q* y *n*, de donde parte y á donde termina el segundo conductor, han recibido el nombre de *puntos de derivacion*, el intervalo *qpn* que los separa el de *distancia de derivacion*, y

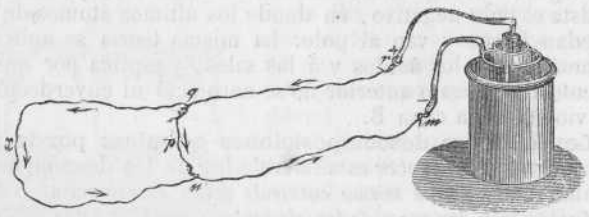


Fig. 544.

al alambre *qxn* el de *alambre de derivacion*. La corriente que recorre el alambre *qxn* se llama la *corriente derivada*; la que recorria el circuito *rqpnm* antes de la derivacion, es la *corriente primitiva*; la que atraviesa al mismo conductor despues de la derivacion, es la *corriente parcial*; y por último, se llama *corriente principal* la totalidad de la nueva corriente que recorre todo el conjunto del circuito cuando se añade el alambre de derivacion.

M. Pouillet, que ha hecho numerosas investigaciones sobre las corrientes derivadas, ha llegado á estas leyes, que la intensidad de la corriente derivada es directamente proporcional á la intensidad de la corriente primitiva y al intervalo de derivacion, pero en razon inversa de la seccion del alambre en este intervalo, y tambien en razon inversa de la conductibilidad del mismo alambre.

CAPITULO X.

INTENSIDAD Y VELOCIDAD DE LAS CORRIENTES ELECTRICAS.

727. **Rheostato.**—El *rheostato* sirve para aumentar ó disminuir la longitud del circuito que recorre una corriente, de modo que produzca en el galvanómetro una desviacion determinada. Este aparato, debido á M. Wheatstone, se compone de dos cilindros paralelos, el uno A de laton y el otro B de madera (fig. 545). Este último lleva en toda su longitud una ranura en hélice, y termina en la estremidad *a*

en un anillo de cobre, al cual se fija la punta de un alambre fino de laton. Este alambre, que tiene 40 metros de longitud, se arrolla mas ó menos en la ranura, pasa por el cilindro A, y despues de muchas vueltas en este cilindro se fija en su estremidad *e*. En fin, dos tornillos de presion *n* y *o*, que mantienen fijos los conductores de la corriente que se desea observar, comunican por dos láminas de acero, el uno con el cilindro de cobre A, y el otro con el anillo *a*.

Cuando una corriente entra en *o*, no atraviesa mas que la porcion de alambre arrollada en el cilindro B, en el cual estan aisladas las espiras por la ranura; pero luego que llega al cilindro A, que es metálico y que se halla en contacto con el alambre, pasa directamente de *m* á *n*. Por lo tanto, si se desea aumentar la longitud del circuito, basta hacer girar al manubrio *d* de derecha á izquierda; y si, por el contrario, se la quiere disminuir, se coloca el manubrio sobre el eje *c*, y girando entonces de izquierda á derecha, se arrolla el alambre sobre el cilindro A. Podemos, pues, disminuir así ó aumentar á voluntad la intensidad de la corriente, pues pronto se verá (729) que esta intensidad se halla en razon inversa de la longitud del circuito. En cuanto á esta, se la mide en metros y en centímetros, merced á dos agujas que ponen en movimiento, en la estremidad del aparato no visible en el dibujo, los cilindros A y B cuando giran á la vez.

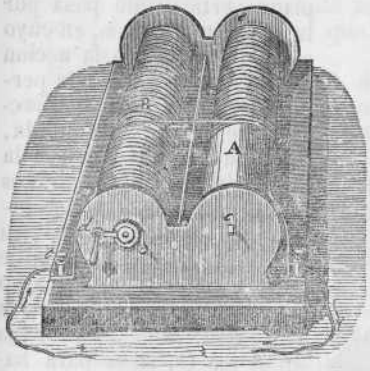


Fig. 545.

728. **Brújula de seno.** — La *brújula de seno* es un galvanómetro que mide las corrientes intensas, sin tener que recurrir á una tabla de graduacion (658). Este aparato, debido á M. Pouillet, difiere del galvanómetro ya descrito, en que el alambre de cobre por el cual pasa la corriente, da muy pocas vueltas, á veces una sola, alrededor de la aguja imantada. En el centro de un círculo horizontal N (fig. 546) hay una aguja imantada *m*; otra *n* de cobre plateado, y móvil juntamente con la primera, en la cual está fija, sirve de señal á la aguja *m* en el círculo graduado N (¹). Otro círculo M, de cobre, está dispuesto perpendicularmente al horizontal; y en él se arrolla el alambre de cobre que da paso á la corriente. Las dos puntas de este alambre, representadas en *i*, terminan en una pieza E, en la cual terminan dos alambres de cobre *a* y *b*, que comunican con el manantial eléctrico cuya corriente se quiere medir. En fin, los círculos N y M estan sos-

(¹) Correspondiendo el cero debajo mismo del anillo M, no se sabria colocar debidamente la aguja *m* en aquel punto; mientras que se conseguirá fácilmente sabiendo el ángulo que entre sí forman las dos agujas *m* y *n*. *(N. de J. P.)*

tenidos por un pie O, que puede girar alrededor de un eje que pasa por el centro de un círculo horizontal fijo H.

Dirigido el circuito galvanométrico M en el sentido del meridiano magnético, y de consiguiente, en el mismo plano que la aguja, se hace pasar la corriente por los alambres *a* y *b*. Luego que se desvian las agujas, se da vuelta al circuito M hasta que coincida con el plano vertical que pasa por la aguja imantada *m*, en cuyo caso, ejerciéndose la accion directriz de la corriente perpendicularmente á la direccion de la aguja imantada, demuestra el cálculo que la intensidad de la corriente es proporcional al seno del ángulo de desviacion de esta aguja, ángulo que se mide en el círculo H, por medio de un nónius que hay en la pieza C. Esta es la que, fija en el pie O, sirve para hacerle girar por medio de un boton A. Conocido el ángulo de desviacion, y por lo tanto su seno, se deduce de él la intensidad de la corriente, pues acabamos de ver que esta es proporcional al seno.

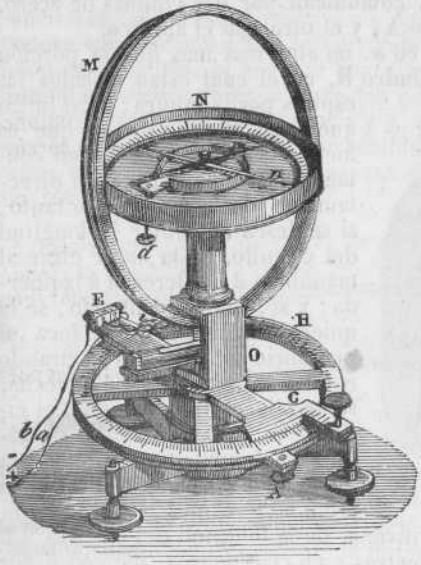


Fig. 546.

Para demostrar que la intensidad de la corriente es proporcional al seno del ángulo de desviacion, sean *mm'* (fig. 547) la direccion del meridiano magnético, *d* el ángulo de desviacion, I la intensidad de la corriente, y T la fuerza directriz de la tierra. Si se representa por *ak* la direccion y la intensidad de esta última fuerza, se la puede reemplazar por las dos componentes *ah* y *ac* (29). Como la primera no ejerce accion alguna directriz sobre la aguja, la *ac* es la que equilibra á I, de modo que es preciso que sea I = *ac*. Pero el triángulo rectángulo *ach* da *ac* = *ak cos cak* ó *ac* = T *sen d*, por ser el ángulo *cak* el complemento del *d*, y *ak* igual á T; y de consiguiente, por último, I = T *sen d*, que es lo que se queria demostrar.

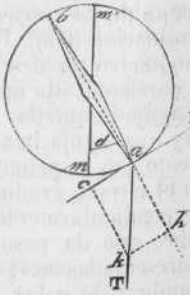


Fig. 547.

729. Leyes de la intensidad de las corrientes.—Llámanse *corrientes de igual intensidad* aquellas que, en igualdad de condiciones, producen la misma desviacion en una misma aguja imantada. Muchos físicos, y particularmente los Sres. Ohm, Pouillet, Faraday, Fechner y de La Rive, han tratado de comparar, bajo el punto de vista de su intensidad, las corrientes eléctricas originadas por diversos manantiales. Estas investigaciones, hechas con el galva-

nómetro, la brújula de seno y el rheostato, han conducido á las mismas leyes para las termo-eléctricas é hidro-eléctricas; sin mas que, en las primeras, se desprecia la influencia conductriz de la pila, porque siendo metálica y de cortas dimensiones, puede prescindirse de su resistencia; pero no sucede ya lo mismo con las últimas. En este caso, hay que tomar en cuenta la resistencia de la pila, conforme lo hizo M. Pouillet, añadiendo á la longitud del alambre interpolar la del que, por su resistencia, produciria en la corriente la misma diminucion de intensidad que causa la pila por su débil conductibilidad. El circuito enteramente metálico, que se supone que entonces recorre la corriente, es lo que M. Pouillet ha denominado *corriente reducida*.

Hé aquí las diferentes leyes de las corrientes eléctricas, sea cual fuere el manantial de que dimanen:

1.ª *La intensidad de una corriente es directamente proporcional á la suma de las fuerzas electro-motoras que estan en actividad en el circuito;* entendiéndose aquí por fuerza electro-motora la causa, sea cual fuere, que produce un desarrollo de electricidad dinámica;

2.ª *La intensidad es la misma en todos los puntos del circuito;*

3.ª *Ella está en razon inversa de la longitud reducida de todas las partes del circuito;*

4.ª *Ella está en razon directa de la seccion y de la conductibilidad del alambre que trasmite la corriente.*

Dedúcese de estas dos últimas leyes, que la intensidad permanece constante cuando varía la seccion como la longitud del alambre.

M. Pouillet ha encontrado que, así en los líquidos como en los sólidos, la intensidad de la corriente está en razon directa de la seccion de la columna líquida que atraviesa, é inversa de su longitud, siempre que valga esta por lo menos cinco ó seis veces el diámetro de la seccion.

730. **Conductibilidad para las corrientes hidro-eléctricas.**— El poder conductor de los cuerpos, para las corrientes hidro-eléctricas, varía con la energía de estas y con los diversos conductores que ya ha atravesado. En efecto, M. de La Rive observó que las corrientes atraviesan con tanta mas facilidad las placas metálicas y los líquidos, cuantas mas han atravesado, propiedad análoga á la que se nota en los poderes diatérmanos (371).

Por medio del voltámetro (648) encontró Davy que la conductibilidad de un mismo metal es proporcional á la seccion del alambre, y está en razon inversa de su longitud. M. Becquerel se cercioró de la exactitud de esta ley, por medio de un galvanómetro de dos alambres. En punto á la conductibilidad eléctrica de los diferentes metales, encontró M. Ed. Becquerel que, á cero, sus poderes conductores relativos pueden estar representados por los números siguientes: plata recocida, 100, cobre recocido, 91,5: oro recocido, 64,9; zinc, 24; estaño, 14; hierro, 12,3; plomo, 8,9; platino, 7,9, y mercurio, 1,739.

Comparando entre sí los poderes conductores de los diversos líqui-

dos, y tomando como unidad el del agua destilada, obtuvo M. Pouillet estos resultados: agua que contiene $^1/_{20000}$ de ácido nítrico, 6; agua saturada de sulfato de zinc, 167; idem de sulfato de cobre, 400. En cuanto á la relacion entre la conductibilidad de los metales y la de los líquidos, es esta última inmensamente mas débil, pues, segun el mismo físico, el cobre conduce 16 millones de veces mas que la disolucion saturada de sulfato de cobre, lo cual equivale á 6,400 millones de veces mas que el agua destilada.

En fin, se ha observado que la elevacion de temperatura aumenta el poder conductor de los líquidos, y disminuye el de los metales.

La conductibilidad de los líquidos compuestos ha sido considerada hasta ahora, por la mayor parte de los físicos, como una conductibilidad puramente *electrolítica*, esto es, procedente de la descomposicion química (719). Sin embargo, M. Faraday, al dar á conocer su ley general de las descomposiciones electrolíticas (648), habia anunciado ya que ella comportaria algunas restricciones en el caso de que fuesen capaces los líquidos de conducir la electricidad sin descomponerse.

La conductibilidad puramente electrolítica ha sido sostenida, sobre todo por M. Buff; pero M. Leon Foucault ha demostrado recientemente, por medio de delicados esperimentos, que los líquidos poseen tambien una conductibilidad propia, ó *conductibilidad física*, á la manera de los metales, sin mas diferencia que el ser esta última mucho mas débil que la electrolítica, si bien puede ejercer una influencia sensible en los efectos químicos de las corrientes y en la ley de M. Faraday.

751. **Velocidad de la electricidad.**—Numerosas tentativas se han hecho para determinar la velocidad de propagacion de la electricidad en los alambres. En 1834 se sirvió M. Wheatstone de un espejo giratorio semejante al que describimos hablando de la velocidad de la luz (fig. 240). Por el retardo, en un tiempo dado, en verse la imágen de la chispa producida por una botella de Leyden cuando pasaba la electricidad por un largo alambre, encontró M. Wheatstone que dicho fluido, en un alambre de laton de 2 milímetros de diámetro, se propagaba con una velocidad de 460000 quilómetros por segundo, velocidad que corresponde á vez y media la de la luz (1). M. Walker,

---

(1) A pesar de la analogía que existe entre el modo de determinar la velocidad de la luz y la de la electricidad, segun el procedimiento de Wheatstone, creemos que no será superfluo dar una rápida descripcion de su aplicacion al fluido eléctrico, atendido el gran partido que el hombre saca hoy de ella. Estriba este procedimiento en los efectos de la reflexion de un rayo luminoso sobre un espejo plano que gira sobre su eje.

Supongamos, pues, un espejo girando sobre un eje horizontal con un movimiento uniforme, y cuya velocidad podemos variar á voluntad. Un rayo de luz, procedente de un punto luminoso situado á una distancia determinada, que venga á reflejarse sobre este espejo, producirá una imágen que tambien estará representada por un punto, mientras que el espejo esté quieto, ó mientras el tiempo empleado por el espejo para cambiar de posicion sea mayor que el tiempo necesario para la produccion del punto luminoso. Pero si fuese menor el tiempo empleado por el espejo que el empleado en la produccion del punto luminoso, la imágen, recibida en una pantalla, no seria ya un punto, sino una línea ó arco luminoso de tanta mayor longitud, cuanto mayor fuese el tiempo empleado en su produccion; y además, sabemos (411, nota) que la imágen producida por reflexion se

en América, hizo en 1840 varios esperimentos sobre el mismo punto, por medio de señales que trasmitian los alambres de los telégrafos eléctricos, y encontró que la velocidad de la electricidad era de 30000 quilómetros por segundo, ó sea 15 veces mas pequeña que la anterior.

---

mueve con una velocidad angular dupla de la del espejo. Supongamos ahora que el punto luminoso sea una chispa eléctrica; su imágen se nos representa por un punto en tanto que el espejo está fijo, ó que dá menos de 50 vueltas por segundo; si tiene mas velocidad, ya se nos representa por un arco luminoso, y Wheatstone observó que cuando el espejo daba 800 vueltas por segundo, el arco luminoso presentaba una estension de 24°.

De este esperimento deducimos que la produccion de la chispa eléctrica necesita un tiempo, si bien muy pequeño, y tambien podemos determinar el valor de este tiempo para una imágen de estension determinada. Efectivamente, el número de grados recorridos por el espejo, durante un segundo, es de $360° \times 800$; pero como la velocidad angular de la imágen es (411, nota) dupla de la del espejo, el número de grados que esta ha recorrido en un segundo, será $2 \times 360° \times 800 = 576{,}000°$; de modo que, si la imágen solo hubiese presentado un grado de estension, el tiempo empleado en la produccion de uno de sus puntos luminosos seria $\frac{1}{576{,}000}$ de segundo; pero como nos ha presentado una estension de 24°, el tiempo quedará representado por $\frac{24}{576{,}000} = \frac{1}{24{,}000}$ de segundo.

Para determinar la velocidad de propagacion en los cuerpos buenos conductores, dispuso Wheatstone seis esferas metálicas iguales, y en línea recta, sobre una tabla circular

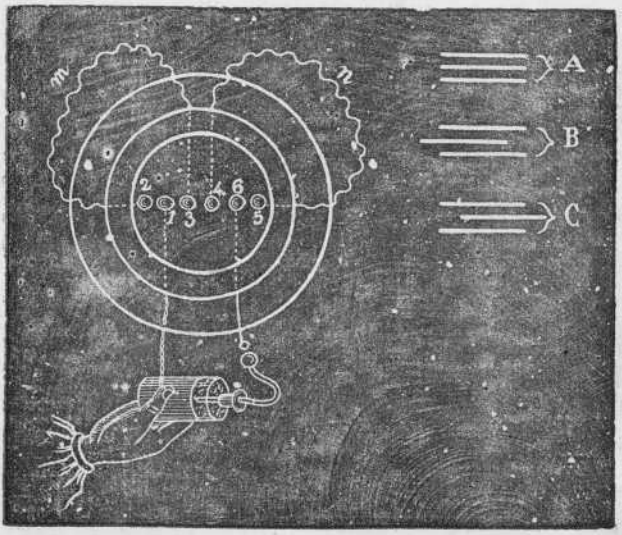


Fig. 548.

(fig. 518), relacionadas entre sí, de manera que las del número 1 y 6 pudiesen comunicar con las guarniciones de una botella de Leyden, las del número 2 y 3 estaban en comunicacion por medio de un alambre de cobre de 402 metros de longitud por 1,7 milímetros de diámetro, lo mismo que las esferas 4 y 5. Cada una de las distancias entre 1 y 2, 3 y 4, 5 y 6, era de 2,5 milímetros; las otras dos distancias eran algo mayores. Si ahora verificamos la descarga de una botella de Leyden á beneficio de las esferas números 1 y 6, se comprende, por solo la inspeccion de la figura, y por lo que llevamos dicho, que la chispa solo

En 1850, los señores Fizeau y Gounelle, esperimentando con los alambres telegráficos de Paris á Amiens y á Rouen, obtuvieron los resultados siguientes:

1.° En un alambre de hierro de 4 y medio milímetros de diámetro, se propaga la electricidad con una velocidad de 101,700 quilómetros por segundo;

2.° En uno de cobre de 2 y medio milímetros de diámetro, la velocidad es de 177,700 quilómetros;

3.° Las dos electricidades se propagan con igual velocidad;

4.° El número y la naturaleza de los elementos que forman la pila, y de consiguiente, la tension de la electricidad y la intensidad de la corriente, no influyen en la velocidad de propagacion;

5.° En conductores de diferente naturaleza, las velocidades no son proporcionales á las conductibilidades eléctricas.

En los esperimentos hechos entre los observatorios de Greenwich y de Edimburgo, con alambres de cobre, se ha encontrado por velocidad de la electricidad 12,200 quilómetros; y entre los observatorios de Greenwich y de Bruselas, por medio de un alambre sub-marino, tan solo se han encontrado 4,300 quilómetros; pero, en este último caso, el alambre de cobre, recubierto de guta-percha, estaba en gran parte sumergido en el mar. M. Faraday ha hecho ver que esta enorme diferencia es debida á la accion por influencia que el alambre ejerce al traves de la guta-percha en el cual está sumergido (705). Parece, pues, que los números de MM. Fizeau y Gounelle representan con mas fidelidad la velocidad de la electricidad en los alambres metálicos.

---

saltará entre las esferas 1 y 2, 3 y 4, 5 y 6, de modo que tendrémos asi tres chispas. Ahora bien, como ya sabemos que la imágen de cada una de estas chispas se nos representa por un arco luminoso de 24° cuando la velocidad del espejo es de 800 vueltas por segundo, las estremidades de dichos arcos luminosos coincidirán en línea recta, en tanto que sea nulo el tiempo de propagacion al traves de los alambres *m* y *n*; pero dejarán de coincidir en el caso de necesitar el fluido eléctrico algun tiempo para atravesar dichos alambres, pues la chispa del medio tardaria ese mismo tiempo en principiar y en acabar; por manera que el estremo del arco luminoso que ella produciria no coincidiria en línea recta con los estremos de los arcos luminosos de las otras dos. La figura nos representa en A la posicion de los tres arcos luminosos en el primer caso supuesto; y en B ó en C, la del segundo, segun el sentido en que gire el espejo.

Wheatstone valuó esta separacion en medio grado, cuando la velocidad del espejo era de 800 vueltas por segundo. De modo que, habiendo visto anteriormente que cuando la imágen presentaba un grado de estension, el tiempo empleado para su produccion era $\frac{1}{576,000}$ de segundo, ahora que la diferencia entre los estremos de los arcos solo es de medio grado, el tiempo trascurrido habrá sido mitad del anterior, ó sea $\frac{1}{1.152,000}$ de segundo. Pero como en este tiempo ha recorrido la electricidad el alambre *m*, por ejemplo, podrémos formar la siguiente proporcion: si en $\frac{1''}{1.152,000}$ recorre la electricidad 402 metros que tiene el alambre *m*, en 1'' recorrerá 402m×1.152,000 = 463.104,000 metros, ó próximamente 460,000 quilómetros, que equivalen á 92,000 leguas de á 5 quilómetros, que nos representan su velocidad al traves de los alambres de cobre. *(N. de J. P.)*

CAPITULO XI.

ELECTRICIDAD ANIMAL, APLICACION DE LA ELECTRICIDAD A LA TERAPEUTICA.

732. **Corriente propia de los animales.**—La electricidad animal ha sido, segun sabemos, un objeto de viva discusion entre los fisiologistas y los fisicos (622 y 623). Desde el tiempo de Galvani se han hecho numerosos esperimentos, especialmente por Aldini, Humboldt, Lehot, Nobili, Marianini y Matteucci

M. Nobili fué el primero que observó con el galvanómetro, en ranas preparadas como la de Galvani (fig. 443), una corriente que llamó *corriente propia* de la rana. Introducia, al efecto, los miembros crurales de la rana en una cápsula llena de agua salada, y luego los nervios lumbares en una segunda cápsula llena de una disolucion análoga, y cerraba el circuito, sumergiendo en cada cápsula una punta del alambre de un galvanómetro muy sensible. Obtenia asi una desviacion de 10 á 30 grados, que indicaban una corriente que se dirigia desde los pies á la cabeza del animal.

M. Matteucci ha obtenido efectos análogos formando pilas con muslos de rana. Al efecto, tomaba las mitades de muslo mas próximas á la pierna, las desollaba conservándoles el nervio lumbar, y las disponia en séries, de modo que el nervio de cada una se aplicase en la parte muscular de la siguiente. Cerrado en seguida el circuito con el alambre de un galvanómetro, obtuvo M. Matteucci, con 8 mitades de muslos, una desviacion de 12 grados.

El mismo fisico formó tambien pilas de muslos de rana separando el nervio lumbar y haciendo tocar el interior del músculo de cada muslo la superficie esterna del siguiente. Siempre observó, en los músculos de los animales vivos ó recientemente muertos, una corriente, al cerrar el circuito, que iba del interior del músculo á su superficie. M. Matteucci designa esta corriente con el nombre de *corriente muscular*, que distingue de la *corriente propia* de la rana. En esta encontró siempre á la vez las dos corrientes, y en los demás animales solo la muscular.

M. del Bois-Reymond ha dado á conocer recientemente nuevas investigaciones sobre las corrientes musculares en el hombre. Atendida la gran resistencia del cuerpo humano, hubo de recurrir á un galvanómetro de veinte y cuatro mil vueltas. M. del Bois-Reymond ha comprobado que, haciendo comunicar los dos estremos del alambre galvanométrico con dos puntos simétricos del cuerpo, por ejemplo, con las dos manos ó con los dos pies, da el galvanómetro, primero, indicaciones muy irregulares, pero que pronto se produce una corriente cuya direccion permanece constante cuando se repite muchas veces el esperimento, aun á grandes intervalos. No tiene esta corriente la misma intensidad en todos los individuos, sino que puede mudar de direccion en uno mismo, si bien en épocas muy distantes, porque persiste á veces por muchos meses en una direccion constante

733. **Peces eléctricos.**—Llámanse *peces eléctricos* á los que poseen la notable propiepad, cuando se los irrita, de hacer esperimentar á los que los tocan conmociones comparables á las de la botella de Leyden. Muchas especies hay de peces eléctricos, pero los mas conocidos son la tremielga, el gimnoto y el siluro. La tremielga, que es muy comun en el Mediterráneo, ha sido estudiada con especial esmero por los señores Becquerel y Breschet, en Francia, y por M. Matteucci, en Italia; y el gimnoto por los señores Humboldt y Bompland, en la América del Sur, y por M. Faraday, que se los proporcionó vivos, en Inglaterra

La conmocion que producen los peces eléctricos les sirve de arma ofensiva y defensiva, voluntaria por su parte, pero que se debilita gradualmente á medida que se renueva y que pierden su vitalidad dichos animales, porque la accion eléctrica determina muy pronto en ellos una considerable estenuacion.

Esta conmocion es muy violenta: segun Faraday, equivale la del gimnoto á la de una batería eléctrica de 15 bocales (612), midiendo la superficie total de las armaduras 2 ½ metros cuadrados, con lo cual se esplica por qué sucumben á veces caballos á las reiteradas descargas de los gimnotos.

Muchos esperimentos prueban que la causa de las conmociones es ciertamente la electricidad. En efecto, si tocando con una mano el dorso del animal, se pasa la otra ó una varilla metálica por el vientre, se siente una violenta conmocion en los puños y en los brazos, mientras que si se hace lo mismo con un cuerpo aislador, es nula la conmocion. Además, cuando se hacen comunicar las dos puntas del alambre del galvanómetro, la una con el dorso del animal, y la otra con el vientre, á cada descarga se desvia la aguja y vuelve inmediatamente al cero, lo cual demuestra que hay corriente instantánea; y por otra parte, el sentido de la desviacion indica que la corriente va del dorso al vientre del pez. En fin, si se hace pasar la corriente de una tremielga por una hélice en cuyo centro haya una barrita de acero (fig. 496), queda esta imantada por el paso de la descarga.

Por medio del galvanómetro comprobó M. Matteucci los hechos que siguen:

1.° Mientras es vivaz la tremielga, puede causar la conmocion por cualquiera punto de su cuerpo; mas á medida que se estenúa la vitalidad del animal, las partes que pueden pro-

ducir la conmocion se acercan mas y mas al órgano que sirve de asiento al desarrollo de la electricidad.

2.º Un punto cualquiera del dorso es siempre positivo con relacion al punto correspondiente del vientre.

3.º De dos puntos desigualmente lejanos del órgano eléctrico, el mas inmediato desempeña siempre el papel de polo positivo, y el mas apartado el de negativo; sucediendo lo inverso con los puntos del vientre.

El órgano que da origen á la electricidad en la tremielga, es doble, y consta de dos partes simétricas, situadas á ambos lados de la cabeza y adheridas á los huesos del cráneo por su cara interna. Estas dos partes se reunen entre sí delante de los huesos de la nariz, pero estan separadas de la piel por una gran aponeurosis. Segun M. Matteucci, cada uno de estos órganos se compone de un número bastante considerable de pequeñas masas prismáticas, las unas al lado de las otras, y que van de la cara esterna á la interna, de modo que su seccion perpendicular á las aristas de los prismas ofrece el aspecto de los alvéolos de un panal de miel. Estos prismas estan divididos, perpendicularmente á sus aristas, por una série de diafragmas, que forman una série de vesículitas idénticas entre sí y llenas de 9 partes de agua por 1 de albúmina, y de un poco de sal comun.

M Matteucci, fundándose en el siguiente esperimento, mira cada una de estas vesículitas como el órgano elemental del aparato eléctrico. Al la del aparato de una tremielga viva una masa de estas vejiguillas que tenga el tamaño de la cabeza de un gran alfiler, y la pone en contacto con los nervios de una rana muerta, preparada por el método de Galvani (figura 443); observando que, cuando escita esta masa vesicular pinchándola con un cuerpo puntiagudo, se man fiestan contracciones en la rana.

M. Matteucci ha buscado, además, la influencia del cerebro en la descarga; y al efecto, puso á descubierto el cerebro de una remielga viva, y observó que se pueden irritar los tres primeros lóbulos sin que se produzca la descarga, y que, separándolos, continúa poseyendo el animal la facultad de causar la conmocion. Lo contrario sucede con el cuarto lobulo, que no puede ser irritado sin que se manifieste al instante la descarga, pero amputándolo desaparece todo desarrollo de electricidad, aun cuando queden intactos los demás lóbulos. Se ha llegado así á admitir que el foco primero de la electricidad elaborada seria el cuarto lóbulo, desde donde se trasmitiria, por el intermedio de los nervios, á los órganos que acabamos de describir, órganos que obrarian como multiplicadores. En los demás peces electricos, el cerebro es tambien, al parecer, el punto de partida de la electricidad.

Fundándose los físicos en la considerable cantidad de electricidad que se desarrolla en la economía de ciertos peces, trataron de averiguar si se elaboraba en los demas animales, no ya en suficiente cantidad para producir conmociones como las de la botella de Leyden, sino para originar acciones lentas y desempeñar funciones esenciales de la vida, como las secreciones, la digestion, etc.

731. **Aplicacion de la electricidad á la terapéutica.** — Las primeras aplicaciones de la electricidad á la medicina datan desde el descubrimiento de la botella de Leyden. Nollet y Boze fueron, al parecer, los primeros físicos que pensaron en la aplicacion de la electricidad, y muy pronto las chispas y las fricciones eléctricas se convirtieron en una panacea universal; pero preciso es confesar que los primeros ensayos no correspondieron á las esperanzas de los esperimentadores.

Apenas se descubrió la electricidad dinámica, propuso Galvani su aplicacion á la medicina; y despues, muchos físicos y fisiólogos han tratado esta cuestion; pero no obstante, reina aun hoy dia una grande incertidumbre sobre los efectos reales de la electricidad, sobre los casos en que hay que aplicarla, y en fin, sobre el mejor modo de aplicacion. Sin embargo, todos los prácticos convienen en preferir el uso de las corrientes al de la electricidad estática, y salvo en un corto número de casos, las interrumpidas á las continuas. Hay una diferencia entre las corrientes de la pila y las de induccion (693), y además, varian los efectos de estas, segun se haga uso de las de induccion de primero ó de segundo órden 700).

En efecto, las corrientes de induccion, aunque muy intensas, ejercen una accion química muy débil, y por lo mismo, cuando atraviesan los órganos, no producen en ellos los efectos químicos que las de la pila, y de consiguiente, tampoco los desorganizan. Además, para la electrizacion de los músculos de la cara deben preferirse las corrientes de induccion, porque el doctor Duchenne (de Boloña), que ha hecho numerosas investigaciones sobre las aplicaciones médicas de la electricidad, ha comprobado que estas corrientes obran muy débilmente sobre la retina, mientras que las de la pila lo efectúan con mucha viveza, pudiendo afectar peligrosamente dicho órgano, segun lo han demostrado funestos accidentes. Al decir del doctor Duchenne, la corriente inducida de primer órden determina vivas contracciones musculares; pero afecta muy poco la sensibilidad cutánea, mientras que la de segundo órden exalta, por el contrario, en términos que deben proscribirse á las personas de piel muy irritable.

De todo lo que precede, debemos deducir que no han de aplicarse las corrientes á la terapéutica sino con un profundo conocimiento de sus diversas propiedades. Además, se usarán con mucha prudencia, porque su accion, demasiado prolongada, puede acarrear graves accidentes. M. Matteucci, en sus lecciones sobre los fenómenos físicos de los cuerpos vivos, se espresa así: «Se principiará siempre empleando una corriente muy débil. Esta precaucion me parece hoy mas interesante, desde que he visto un paralítico atacado

de convulsiones verdaderamente tetánicas por la accion de la corriente producida por un solo elemento. Procúrese no prolongar jamás su paso, sobre todo si la corriente es enérgica. Aplíquese la corriente interrumpida mejor que la continua; pero se darán algunos momentos de descanso al enfermo antes de las *veinte*, ó á lo sumo *treinta* sacudidas.»

Muchos aparatos se han ideado para aplicar á la terapéutica las corrientes interrumpidas, obtenidas, ya por la induccion de las corrientes, ya por la de los imanes, ya por la misma pila. El doctor Rogneta, italiano, construyó en Paris el primer aparato de esta especie, y despues dieron á conocer otros varios los señores Masson, Dujardin, Glœsner, Breton y Duchenne. Describirémos tres de ellos, que serán: dos del doctor Duchenne, que dan, el uno la corriente inducida del primer órden, y el otro la del primero ó del segundo, á voluntad; y el tercer aparato, inventado por M. Pulvermacher, da la corriente ordinaria de la pila, pero interrumpida y con gran tension.

735. **Aparato electro-voltáico del doctor Duchenne.**—Se compone este aparato de una bobina de dos alambres, análogo á la que hemos descrito ya al hablar de las corrientes de induccion (fig. 514), y encerrada en un estuche de laton V (fig. 549). Esta bobina se halla fija en una caja de madera que tiene dos cajones: el primero contiene una brújula

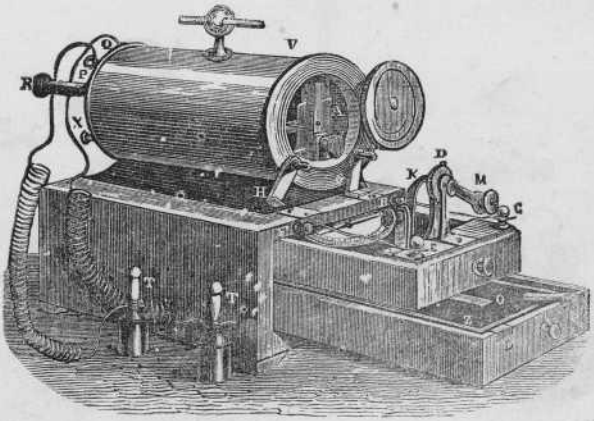


Fig. 549 (a = 35).

que hace veces de galvanómetro, y que sirve para medir la intensidad de la corriente inductora por la desviacion que imprime á la aguja; y el segundo con una pila de carbon dispuesta de modo que presente el menor volúmen posible. El elemento zinc Z tiene la forma de una cavetilla, en la cual se echa una disolucion de sal comun y una placa rectangular O, de carbon de coke bien calcinado, como el de la pila de Bunsen. En la parte central del carbon hay una pequeña cavidad, donde se vierte un poco de ácido nítrico, que es absorbido. Dos laminitas de cobre L y N comunican, la primera con el zinc, y representa el polo negativo, y la segunda con el carbon para hacer veces del positivo. Cuando estan cerrados los cajones, los polos L y N se hallan en contacto con las estremidades inferiores de los botones de cobre E y C, partiendo de estos últimos dos alambres de cobre EF y CB, que conducen la corriente á las piezas H y G, la primera de las cuales es móvil. Cuando esta desciende, pasa la corriente; pero si sube, segun se ve en el grabado, se interrumpe esta.

Como no principia la corriente inducida sino en el momento en que la inductora principia ó termina, conviene que esta última sufra continuas intermitencias. Estas pueden ser rápidas ó lentas, á voluntad, en el aparato del doctor Duchenne. En las rápidas pasa la corriente por una pieza A de hierro dulce, que oscila con rapidez bajo la influencia de un haz de alambre de hierro dulce, situado en el eje de la bobina, y que se imanta temporalmente mientras circula la corriente. Esta pieza A es la que, en su movimiento de vaiven, interrumpe y restablece la corriente inductora, y por lo tanto, produce la inducida.

Para las intermitencias lentas se fija la pieza oscilante por medio de una varilla *a*, y luego, en vez de hacer pasar la corriente por A, lo efectúa por una lámina elástica K y por los dientes de una rueda de madera D, que son de metal y comunican con el pié I y el boton C. Girando el manubrio M, se interrumpe la corriente siempre que K deja de tocar un diente, y como estos llegan á cuatro, hay cuatro intermitencias por revolucion, lo cual

permite, dando vueltas con mas ó menos rapidez, variar á voluntad el número de las intermitencias, y por lo mismo, de las conmociones en un tiempo dado.

Para trasmitir las conmociones, se hacen llegar las dos puntas del alambre de induccion á dos botones P y Q, en los cuales se fijan dos largos alambres de cobre cubiertos de seda y terminados por dos escitadores con mangos de vidrio T, T. Estos escitadores se aplican en los órganos, de modo que pase la corriente por la region que se desea.

En fin, el aparato lleva un *graduador* que modifica la intensidad de la corriente. Consiste en un cilindro de cobre que envuelve á la bobina y que se puede tirar de él mas ó menos, como de un cajon, por medio de una varilla graduada R. Se nota el máximum de intensidad cuando el graduador descubre toda la bobina, y el mínimum cuando nada de él sale. Esta influencia del cilindro-cubierta, observada por M. Dore y por M. Duchenne, se esplica por corrientes de induccion, que se producen en su masa.

736. **Aparato electro-magnético del doctor Duchenne.** — M. Duchenne usa tambien, en su práctica, un segundo aparato, en el cual no funciona la pila, sino la accion inductora de un poderoso iman, para desarrollar la corriente, lo mismo que en el

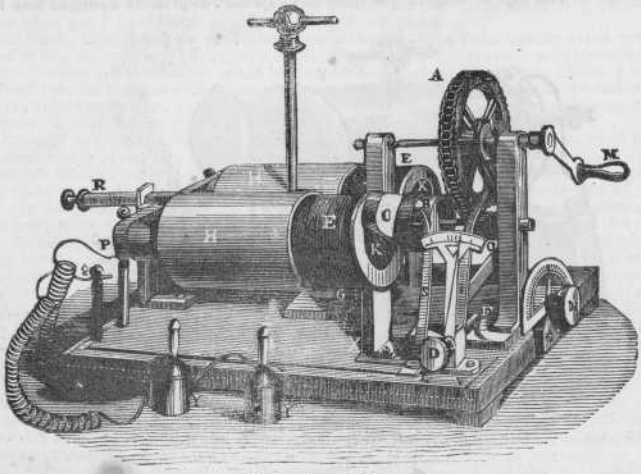


Fig. 550 (a = 36).

aparato de Clarke (704). El iman KK (fig. 550) tiene dos ramas, reunidas en sus estremidades posteriores por una armadura de hierro dulce, y delante de las anteriores hay otra de la misma sustancia C, que puede girar libremente sobre un eje horizontal, merced á un piñon O, á una gran rueda A, á una cadena á la Vaucanson y á un manubrio M.

En las dos ramas de los imanes se arrolla un alambre de cobre cubierto de seda, que recibe la induccion de aquellos, y luego sobre el primer alambre otro EE que da paso á la corriente inducida de segundo órden.

Ahora bien, cuando se comunica á la pieza C un movimiento de rotacion mas ó menos rápido, imantándose ella siempre que pasa por delante de los polos de los imanes KK, ejerce en estos, en punto á la distribucion del magnetismo, una reaccion que origina en el primer alambre una corriente de induccion del primer órden, mientras que esta desarrolla á la vez en el EE otra de segundo órden. Se pueden recoger por separado estas corrientes, por medio de un sistema de piezas P ó Q, dobles, pero no visible en nuestro dibujo mas que una de ellas en cada sistema. La corriente se dirige en seguida por alambres de cobre arrollados en espiral á dos escitadores Y, Y, que se cogen con la mano por sus mangos de vidrio, y que se dirigen á voluntad sobre las partes enfermas, con objeto de que pase por estas la corriente. Las intermitencias necesarias para la formacion de las corrientes inducidas se obtienen mediante un conmutador B, análogo al del aparato de Clarke, y una série de piezas S, I, D, F, en cuyos pormenores no entrarémos.

Por último, se regula la intensidad de las corrientes por medio de un boton de tornillo N, que acerca ó aleja los imanes de la pieza C; pero el principal regulador consta de dos cilindros de cobre H, H, que envuelven las bobinas, cubriéndolas mas ó menos, segun la direccion de un tirador R, al cual estan fijas. Llegan á su mínimum de intensidad las conmociones, cuando los cilindros cubren por completo las bobinas, y á su máximum, cuando se hallan estas completamente descubiertas, fenómenos que se esplican por las corrientes de induccion que se desarrollan en la masa de los cilindros.

Como no podemos describir aquí los efectos terapéuticos de estos aparatos, nos limitarémos á decir que su eficacia ha sido comprobada, sobre todo en las parálisis, y mas particularmente en las parálisis saturninas. Para mas pormenores, remitimos al lector á la grande obra que ha publicado M. Duchenne con el título *De la electrizacion localizada y de su aplicacion á la fisiologia, á la patologia y á la terapéutica.*

737. **Cadena galvánica de M. Pulvermacher.** — M. Pulvermacher ha ideado recientemente una nueva pila, notable por su gran tension y por la facilidad con que funciona. Se parece mucho á la de columna (625), y está representada en la fig. 551, en el momento en que se recibe la conmocion, y en la 552 se ven sus detalles.

Se compone de una série de cilindritos de madera M y N, en los cuales se arrollan, el uno al lado del otro, sin tocarse, un alambre de zinc y otro de cobre. En cada una de sus

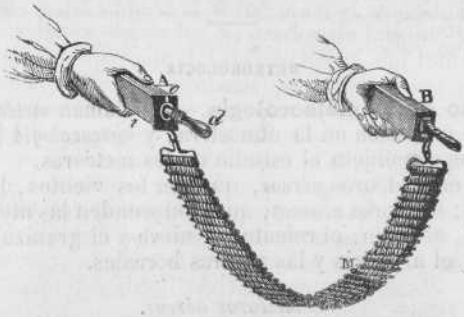


Fig. 551.

puntas, el alambre de zinc *ab* del cilindro M se articula con el de cobre del N, por medio de dos pequeños anillos de cobre implantados en la madera; luego el zinc de N se une del mismo modo con el cobre del tercer cilindro, y así sucesivamente, en términos de que siempre el zinc de un cilindro forma con el cobre del siguiente un par comparable á los de la pila de columna. Formando así el todo una especie de cadena que se coge por los dos estremos, se introduce en una vasija con vinagre mas ó menos diluido en agua. Los cilindritos de madera, que son porosos, se empapan entonces en el líquido, hacen el oficio de las rodajas aciduladas de la pila de columna, y la accion química que se produce entre el zinc y el ácido acético da orígen á una corriente, tanto mas intensa, cuanto mas numerosos son los pares. Con una cadena de 120 pares se reciben muy fuertes sacudidas.

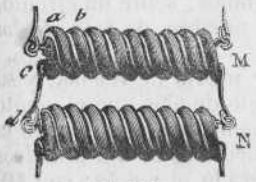


Fig. 552.

Para interrumpir la corriente, segun es necesario para las conmociones, M. Pulvermacher hace uso de dos armaduras A y B (fig. 551), en las cuales se fijan los dos polos de la pila M. La B sirve para establecer mejor el contacto con la mano; pero la A, además de tener el mismo objeto, contribuye á la interrupcion de la corriente. Contiene, al efecto, un pequeño movimiento de relojería que hace oscilar una pieza, de modo que, unas veces comunica interiormente, y otras no, el polo de la pila con la pared *i* de la armadura. La rapidez de las oscilaciones, y de consiguiente, el número de sacudidas pueden variar en ciertos límites por medio de un pequeño regulador *o* que se hace marchar con la mano. Por último, se hace subir el movimiento de relojería, dando vuelta á una llave *d* que sirve de puño á la armadura.

ELEMENTOS

DE METEOROLOGIA Y DE CLIMATOLOGIA.

METEOROLOGIA.

738. Objeto de la meteorología.—Se llaman *metéoros* los fenómenos que se producen en la atmósfera, y *meteorología* la parte de la física que tiene por objeto el estudio de los metéoros.

Se dividen en metéoros *aéreos*, que son los vientos, los huracanes y las trombas; metéoros *acuosos*, que comprenden las nieblas, las nubes, la lluvia, el rocío, el relente, la nieve y el granizo, y *luminosos*, como el rayo, el arco iris y las auroras boreales.

Metéoros aéreos.

739. Direccion y velocidad de los vientos.—Los vientos son corrientes que se manifiestan en la atmósfera con direcciones y velocidades muy variables. Aunque soplan en todas direcciones, se distinguen ocho principales, que son: el *norte*, el *nordeste*, el *este*, el *sudeste*, el *sur*, el *sudoeste*, el *oeste* y el *noroeste*. Los marinos dividen además los intervalos entre estas ocho direcciones en otras cuatro, cuyo conjunto hace 32 direcciones, que se designan respectivamente bajo el nombre de *rumbo*. El trazado de estos 32 rumbos, sobre un círculo, en forma de estrella, es conocido bajo el nombre de *rosa de los vientos*.

La direccion del viento se determina por medio de veletas, y su velocidad con el *anemómetro*, ó sea un molinete de alas que el viento hace girar, y del número de vueltas en un tiempo dado se deduce la velocidad. En nuestros climas la velocidad media es de 5 á 6 metros por segundo. Con una de 2 metros es moderado el viento; con 10, fresco; con 20, fuerte; con 25, hay tempestad, y con 40, huracan.

740. Causas de los vientos.—Los vientos reconocen por causa una falta de equilibrio en cualquiera parte de la atmósfera, procedente de una diferencia de temperatura entre los paises próximos. Por ejemplo, si la temperatura del suelo sube en cierta estension, el aire en contacto con él se calienta, se dilata y asciende hácia las altas regiones de la atmósfera, donde circula, produciendo vientos que soplan de las regiones cálidas á las frias. Además, roto el equilibrio en el nivel del suelo, reproducen al mismo tiempo en las capas inferiores corrientes en sentido contrario á las primeras, por efecto del esceso de peso que hay lateralmente sobre las capas superiores de la atmósfera, á consecuencia del aire que á ellas afluyó.

741. Vientos regulares, periódicos y variables. — En virtud de la direccion mas ó menos constante en que soplan los vientos, se los puede clasificar en tres grandes divisiones, á saber: vientos regulares, periódicos é irregulares.

1.ª Son *vientos regulares* los que soplan todo el año en una direccion sensiblemente constante. Conocidos tambien con el nombre de *vientos alíseos*, se observan lejos de las costas, sin interrupcion, en las regiones ecuatoriales, soplando del nordeste al sudoeste en el hemisferio boreal, y del sudeste al noroeste en el austral. Reinan á ambos lados del ecuador, hasta los 30 grados de latitud, y su direccion sigue el movimiento aparente del sol, es decir, del este al oeste.

Como los vientos alíseos reconocen necesariamente por causa, lo mismo que los demás vientos, variaciones de temperatura en la atmósfera, se esplican por el mayor calor que hay de oriente á occidente á causa de la rotacion de la tierra. Como este calor hace subir constantemente á la atmósfera el aire de las regiones ecuatoriales, es este reemplazado por otro mas denso que en cada hemisferio va del polo al ecuador; pero, combinándose estas corrientes con el movimiento de rotacion, adquieren, respecto al ecuador, la direccion inclinada y constante que constituye los vientos alíseos.

2.ª Los *vientos periódicos* son los que con regularidad soplan en la misma direccion, en las mismas estaciones ó en las mismas horas del dia; tales son: el monzon, el simoun y la brisa. Son *monzones* los vientos que soplan seis meses en una direccion y seis en otra. Obsérvaseles principalmente en el mar de Arabia, en el golfo de Arabia, en el de Bengala y en el mar de la China. Estos vientos se dirigen hácia los continentes en verano, y en sentido contrario en invierno.

El *simoun* es un viento cálido que sopla de los desiertos del Asia y del Africa, y que está caracterizado por su alta temperatura y por las arenas que levanta y trasporta por la atmósfera. Cuando sopla, se oscurece el aire, se seca la piel, la respiracion se acelera y la sed se hace ardiente.

Se le conoce con el nombre de *sirocco* en Italia y en Argel, donde sopla del gran desierto de Sahara. Llámase *chamsin* en Egipto, en cuyo pais se deja sentir desde fines de abril hasta junio. Los indígenas del Africa se cubren el cuerpo con manteca para preservarse de los efectos de una traspiracion cutánea demasiado rápida ocasionada por dicho viento.

La *brisa* es un viento que sopla en las costas del mar, hácia la tierra durante el dia, y de la tierra hácia el mar de noche, es decir, de la region mas fria á la mas caliente. En efecto, calentándose de dia el suelo mas que la mar, el aire se calienta mas en aquel que en esta, sube y es reemplazado por una corriente de aire mas densa, que va de mar á tierra. De noche se enfria mas el suelo que el agua del mar por la radiacion, y se produce el mismo fenómeno en sentido contrario. La brisa de mar principia despues de la salida del sol, aumenta hasta las tres de la tarde, y decrece hasta la noche, trasformándose en brisa de tierra despues de la puesta del sol. Las brisas de

mar y de tierra no se notan mas que á poca distancia de las costas. Son regulares entre los trópicos, lo son menos en nuestras regiones, y se observan indicios de ellas hasta en las costas de la Groenlandia. La proximidad de las montañas da orígen tambien á brisas periódicas diurnas.

3.ª Los *vientos variables* son los que soplan unas veces en una direccion, otras en otra, sin sujecion á ley alguna. En las latitudes medias es muy variable la direccion de los vientos; pero, si se avanza hácia los polos, aumenta esta irregularidad, y en la zona glacial soplan á veces los vientos desde muchos puntos del horizonte. Al contrario, se vuelven mas y mas regulares al acercarse á la zona tórrida. El viento del suroeste domina en el norte de Francia, en Inglaterra y en Alemania; en el mediodía de Francia la direccion de los vientos se inclina mas hácia el norte, y en España é Italia el viento norte es el predominante.

742. **Trombas.** — Las *trombas* son masas de vapores en suspension en las capas inferiores de la atmósfera que atraviesan, animadas las

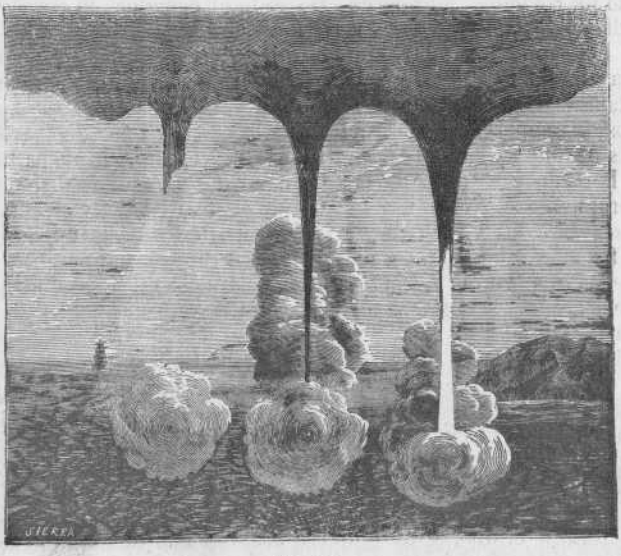


Fig. 553.

mas de las veces de un movimiento giratorio bastante rápido para arrancar de raiz los árboles, derribar las casas, destrozar y derruir cuanto se opone á su marcha.

Estos metéoros, que van generalmente acompañados de granizo y de lluvia, lanzan á menudo rayos, dejando oir en toda la zona que recorren el ruido de un carromato que pasa por un camino pedre-

goso. Muchas trombas ó mangas no poseen movimiento giratorio, y la cuarta parte de ellas se forma en una atmósfera tranquila.

Las trombas se manifiestan en los mares lo mismo que en los continentes, pero entonces el fenómeno presenta un aspecto muy notable. Las aguas se agitan y se elevan en forma de cono, al paso que las nubes bajan constituyendo un cono invertido; los dos conos se reunen por sus vértices y dan orígen á una columna contínua del mar á las nubes (fig. 553). Sin embargo, el agua de las trombas no es salada, ni aun en alta mar, lo cual prueba que se componen sobre todo de vapores condensados, y no de agua del mar elevada por aspiracion.

Se ignora el orígen de las trombas. M. Kæmtz admite que dependen principalmente de dos vientos opuestos que pasan el uno al lado del otro, ó bien de un viento muy fuerte que reina en las altas regiones de la atmósfera. Peltier y otros muchos físicos refieren las trombas á una causa eléctrica.

Metéoros acuosos.

743. **Nieblas.** — Las *nieblas* son masas de vapor acuoso que, condensadas en la atmósfera, ocupan sus regiones bajas y enturbian su trasparencia.

Las nieblas se forman cuando el suelo húmedo es mas caliente que el aire; los vapores que entonces suben se condensan y se hacen visibles, si bien es preciso que llegue el aire á su punto de saturacion (291), pues de lo contrario no tiene lugar la condensacion. Las nieblas se pueden formar tambien cuando una corriente de aire caliente y húmedo pasa por encima de un rio cuya temperatura es inferior á la suya, porque enfriándose entonces el aire, luego de saturado, se condensan los vapores.

744. **Nubes.**—Las *nubes* son tambien masas de vapores condensados en gotitas de estremada pequeñez, así como las nieblas, de las cuales solo diñeren en que ocupan las regiones altas de la atmósfera, pues siempre resultan de la condensacion de los vapores que suben de la tierra. Las nubes se dividen por su aspecto en cuatro especies principales, que son: los *cirrus*, los *cumulus*, los *stratus* y los *nimbus*. Estas cuatro especies de nubes estan representadas en la figura 544, y designadas respectivamente por cuatro, tres, dos ó un ave volando.

Los *cirrus* son nubecillas blanquizcas que ofrecen el aspecto de filamentos delgados bastante semejantes á lana cardada. Son las nubes mas altas, y, atendida la baja temperatura de las regiones que ocupan, se las cree formadas de partículas heladas ó de copos de nieve. Su aparicion precede á menudo á un cambio de tiempo.

Los *cumulus* son nubes redondeadas que parecen montañas amontonadas unas sobre otras. Son mas frecuentes en verano que en invierno, y formándose por la mañana se disipan generalmente por la tarde. Si, por el contrario, aumentan entonces, y sobre todo, si las coronan algunos cirrus, deben aguardarse ó lluvia ó tempestades.

Los *stratus* son capas nebulosas horizontales, muy anchas y contí-

nuas, que se forman á la puesta del sol y desaparecen á su salida. Son frecuentes en el otoño, raras en la primavera, y mas bajas que las anteriores.

Por último, los *nimbus* ó nubes de lluvia no afectan forma alguna característica, distinguiéndose tan solo por un color gris uniforme y por sus bordes franjeados.

La altura de las nubes es variable; mas, por término medio, es de 1200 á 1400 metros en invierno, y de 3000 á 4000 en verano. Pero á menudo es mucho mayor, pues Gay-Lussac en su ascension aereostática, á una altura de 7016 metros sobre el nivel del mar, observó

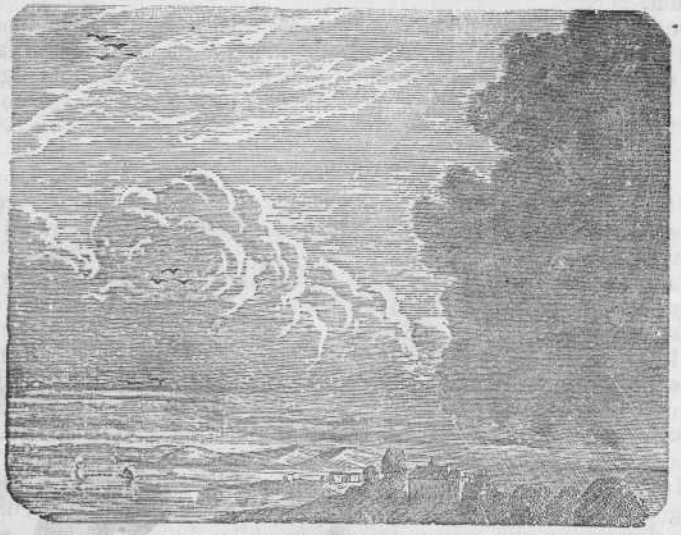


Fig. 354.

encima de los cirrus que se hallaban, al parecer, á gran distancia. M. d'Abbadie ha observado en Etiopia nubes tempestuosas cuya altura no pasaba de 212 metros sobre el nivel del suelo.

Para esplicar la suspension de las nubes en la atmósfera, Halley fué el primero que propuso la hipótesis de los vapores vesiculares (307), hipótesis que consiste en suponer á las nubes formadas de una multitud de vesículas sumamente pequeñas, huecas como las burbujas de jabon, y llenas de un aire mas caliente que el ambiente por un efecto de absorcion del calor solar; de modo que estas vesículas flotarian en el aire á la manera que pequeños globos aerostáticos. Esta teoría, sostenida por Saussure, por Kratzenstein, Bravais y el mayor número de físicos, fué universalmente adoptada en la enseñanza; pero combatida al principio por Desaguliers, luego por Monge, cuenta hoy con numerosos adversarios. Estos admiten que las nubes y las nieblas están formadas de gotitas de agua sumamente pequeñas, ma-

cizas y flotando en la atmósfera á consecuencia de las corrientes ascendentes de aire caliente, del mismo modo que el polvo fino es elevado por los vientos. En cuanto á la inmovilidad que ordinariamente presentan las nubes, en sentido vertical, ella no seria mas que aparente, segun estos físicos. Con frecuencia las nubes caen lentamente; pero entonces su parte inferior se va disipando contínuamente en las capas de aire mas caliente que atraviesa, mientras que su parte superior crece sin cesar por la adicion de nuevos vapores que se condensan; lo cual esplica cómo las nubes conservan, al parecer, una altura constante.

745. **Lluvia.** — La *lluvia* es la caida, en el estado de gotitas, del agua que procede de la condensacion, en las altas regiones de la atmósfera, de los vapores que se elevan del suelo.

Se mide la cantidad de lluvia que cae anualmente en un lugar, por medio del *pluviómetro ó udómetro*. Consiste en una vasija cilíndrica M (fig. 555 y 556), cerrada por su parte superior con una tapadera B en

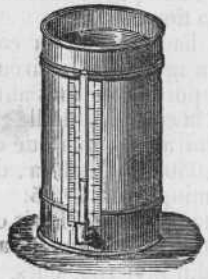


Fig. 555.

Fig. 556.

forma de embudo, en el cual cae el agua de lluvia. Esta penetra en seguida en el interior de la vasija por un pequeño orificio, de modo que se vea libre en lo posible de la evaporacion. De la base del aparato parte un tubo de vidrio A, en el cual sube el agua á la misma altura que en el interior del pluviómetro, altura que se mide por medio de una escala graduada en milímetros, situada al lado del tubo (fig. 555). Puesto el aparato en un sitio descubierto, si al cabo de un mes, por ejemplo, la altura del agua en el tubo es de 5 centímetros, es señal de que en la vasija llega á la misma altura, y de consiguiente, que si el agua caida se estendiese sobre el suelo, sin evaporacion ni infiltracion, habria en todo él una capa de 5 centímetros.

Se ha observado, en el observatorio de Paris, que la cantidad de lluvia recogida en el pluviómetro es tanto mayor, cuanto menos elevado está este instrumento sobre la superficie del suelo. Igual observacion se ha hecho en Inglaterra y en América. Se ha esplicado desde luego este fenómeno, diciendo que las gotas de lluvia que estan, en general, mas frias que las capas de aire que atraviesan, condensan el vapor contenido en estas capas, y van, por consiguiente, aumen-

tando de volúmen; lo cual hace que caiga mas lluvia en la superficie del suelo que á una cierta altura. Pero á esta teoría se ha objetado que el esceso de agua que cae sobre la superficie del suelo sobre la que cae á una cierta altura, escede seis ó siete veces á la que podria resultar de la condensacion, aun durante todo el tránsito de las gotas de lluvia desde las nubes hasta la tierra. Se ha atribuido, pues, esta diferencia á una causa paramente local, y se admite hoy que semejante diferencia es ocasionada por remolinos que se producen en el aire alrededor del pluviómetro, de una manera tanto mas sensible, cuanto mas elevado se encuentra sobre el suelo: estos remolinos producen el efecto de dispersar las gotitas que tienden á caer en el instrumento, y disminuyen de este modo el agua que él recibe.

Sin embargo, es evidente que si las gotas de lluvia atraviesan un aire húmedo, ellas pueden, en virtud de su temperatura, condensar vapor y aumentar de volúmen. Si ellas atraviesan, por el contrario, un aire seco, las gotitas tienden á evaporarse, y entonces cae menos lluvia en el suelo que á una cierta altura; aun puede suceder, por esta misma razon, que la lluvia no llegue á la tierra.

Muchas circunstancias locales pueden hacer variar la cantidad de agua que cae en diversos paises, pero en igualdad de circunstancias, debe llover mas en los países cálidos, porque es mas abundante la vaporizacion. Se observa, en efecto, que la cantidad de lluvia decrece del ecuador á los polos. En Paris, la altura de agua que cae anualmente es de $0^m,564$; en Burdeos, de $0^m,650$; en Madera, de $0^m,767$; en la Habana, de $2^m,52$, y en Santo Domingo, de $2^m,73$.

La cantidad de lluvia varía con las estaciones. En Paris cae, en invierno, una altura de agua igual á $0^m,107$; en la primavera, $0^m,174$, en verano, $0^m,161$, y en otoño, $0^m,122$. En invierno, pues, es cuando menos agua cae.

746. **Rocío, relente, escarcha.** — El *rocío* no es mas que el vapor que se deposita en gotitas sobre los cuerpos durante la noche. Este fenómeno depende del enfriamiento que sufren, por efecto de la radiacion nocturna (405), los cuerpos que estan en la superficie del suelo. Descendiendo entonces su temperatura muchos grados bajo la del aire, sucede, sobre todo en las estaciones calurosas, que tal temperatura llega á ser inferior á la de saturacion de la atmósfera. Llegado este momento, las capas de aire, en contacto con los cuerpos, y sensiblemente á su misma temperatura, dejan depositar parte del vapor que contienen, fenómeno análogo al que se produce cuando, en un pieza caliente y húmeda, se entra una botella de agua fresca, pues los vapores se condensan en sus paredes.

Segun esta teoría, debida al Inglés Weils, todas las causas que favorecen al enfriamiento de los cuerpos, aumentan la cantidad de rocío. Estas causas son: el poder emisivo de los cuerpos, el estado del cielo y la agitacion del aire. Los cuerpos de gran poder emisivo (361) se enfrian mas, y por lo mismo, han de condensar mas vapor. En efecto, el depósito de rocío es nulo en los metales cuyo poder emisivo es débil, sobre todo si estan pulimentados; mientras que la tierra, la

arena, el vidrio y las plantas, que lo tienen muy considerable, se cubren con abundancia de rocío.

El estado del cielo influye tambien mucho en el rocío. Si está despejado, los espacios planetarios, que se hallan á una temperatura muy baja, solo envian á la tierra una cantidad inapreciable de calor, y enfriándose entonces rápidamente el suelo por la radiacion nocturna, se nota un abundante depósito de rocío. Pero si hay nubes, estas, cuya temperatura es mucho menos baja que la de los espacios planetarios, radian hácia el suelo, y los cuerpos de la superficie de la tierra se enfrian muy poco, por lo cual no hay depósito de rocío.

Tambien influye el viento en la cantidad de vapor que se deposita. Si es débil, puede aumentarla renovando el aire; y si es mas fuerte, puede disminuirla, porque el aire, al renovarse, calienta los cuerpos con su contacto. Por último, crece el rocío con la humedad del aire, porque se halla este mas cerca de su punto de saturacion.

El *relente* es una precipitacion de agua bajo la forma de finísima lluvia, sin que se perciba nube alguna. Este fenómeno se produce durante los grandes calores, en las regiones húmedas, á la puesta del sol, cuando las capas inferiores del aire bajan á una temperatura inferior á su punto de saturacion.

La *escarcha* resulta, lo mismo que el rocío, de los vapores contenidos en la atmósfera que se condensan sobre los cuerpos á una temperatura inferior á cero. La forma esponjosa que presentan los cristalitos de que está formada, hace ver que aquí se congelan los vapores sin pasar por el estado líquido. La escarcha se deposita, lo mismo que el rocío, sobre los cuerpos que mas radian, tales como los tallos y hojas de los vegetales, y el depósito se verifica principalmente sobre las partes dirigidas hácia el cielo.

747. **Nieve, granizo, aguanieve.** — La *nieve* es agua solidificada en cristalitos en forma de estrellas, diversamente ramificados y flotantes en la atmósfera. Estos cristales proceden de la congelacion de las gotitas que forman las nubes cuando la temperatura de estas últimas desciende bajo cero. Son tanto mas regulares, cuanto mas tranquilo está el aire en que se forman. Para observarlos se los recibe sobre un cuerpo negro y se los mira con una buena lente. La regularidad, y al mismo tiempo la variedad de sus formas, son verdaderamente admirables. La fig. 557 representa algunas de las formas de los cristales de nieve cuando se los observa con el microscopio. Sus variedades llegan á muchos centenares.

Nieva tanto mas en un punto, cuanto mas cerca está de los polos, ó mas alto sobre el nivel del mar. Hácia los polos, la tierra está constantemente cubierta de nieve, y lo propio sucede en las altas montañas, donde reinan nieves perpétuas, aun en las regiones ecuatoriales.

Otro fenómeno de esta misma especie, que se verifica con menos frecuencia, es el llamado *grésil* por los franceses, de cuya palabra no tenemos debida equivalencia en español, sino es en las provincias, como en Aragon, donde le llaman *amargura*, y en Valencia *peste*. Es tambien agua solidificada, y se compone de agujitas de hielo apreta-

das entre sí de un modo confuso. Se atribuye su formacion á la congelacion brusca del vapor de las nubes en un aire agitado.

El *aguanieve* (¹), llamada en francés *verglas* (cristal de hielo), es una capa de hielo, lisa y trasparente, que se forma en el suelo en la superficie de los cuerpos. La condicion necesaria para su formacion es que,

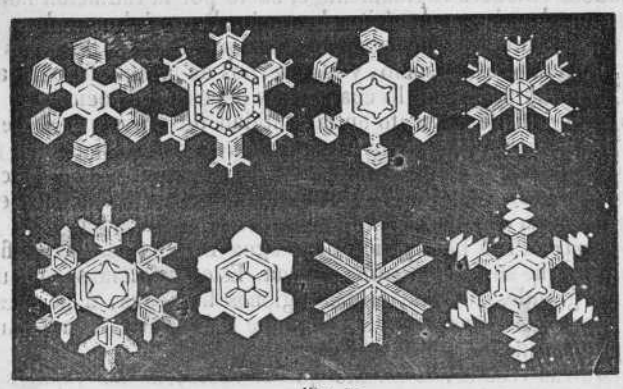


Fig. 55.

estando bajo cero la temperatura del suelo, caiga un poco de lluvia despues de algunos dias de frio contínuo; se congela al instante el agua, pero si continúa lloviendo, se calienta la tierra y no hay congelacion.

748. **Granizo.** — El *granizo* es una masa de glóbulos de hielo compactos, mas ó menos voluminosos, que caen de la atmósfera. En nuestros climas, cae principalmente el granizo durante la primavera y el verano, en las horas mas calurosas del dia, y raras veces de noche. El granizo va precedido siempre de un ruido particular.

El granizo es generalmente precursor de las tempestades; casi nunca las acompaña, y menos las sigue. El tamaño de las piedras es muy variable, pero con frecuencia llega al de una nuez pequeña, y hasta se han observado grandes como un huevo de paloma y del peso de 200 á 300 gramos. Ninguna teoría esplica de un modo satisfactorio la formacion del pedrisco, y sobre todo, cómo pueden llegar á adquirir tanto peso antes de caer. En la teoría de Volta (605), las piedras son sucesivamente atraidas por dos nubes cargadas de electricidades contrarias; pero, si esto sucediese con la piedra, con mas razon deberian atraerse las dos nubes y confundirse en una sola.

Meléoros luminosos.

749. **Electricidad atmosférica; esperimento de Franklin.** — Los fenómenos luminosos mas frecuentes y mas notables por sus efectos son los producidos por la electricidad libre que se encuentra en

(¹) Aunque sea esta la voz mas comun que se hace en los diccionarios de la palabra *verglas*, no la consideramos muy á propósito; y creemos que la palabra *gelicidio*, que usa Gildo, es mas á propósito por provenir de la latina *gelum*. (*N. de J. P.*)

la atmósfera. Los primeros físicos que observaron la chispa eléctrica, la compararon al instante al resplandor del relámpago, y el chasquido que produce, al ruido del trueno. Pero Franklin fué quien, por medio de las baterías eléctricas que habia inventado, pudo establecer un completo paralelo entre el rayo y la electricidad, é indicar, en una memoria publicada en 1749, los esperimentos que debian hacerse para atraer de las nubes de tempestad su electricidad con puntas metálicas. Guiado el físico frances Dalibard por las ideas teóricas de Franklin, colocó en un jardin, en Marly, cerca de Paris, una barra de hierro aislada, de 35 metros de altura, la cual, por la influencia de una nube tempestuosa, dió, el 10 de mayo de 1752, chispas bastante fuertes para cargar muchas botellas de Leyden. Sin embargo, Franklin se disponia por su parte á hacer el esperimento que habia anunciado; pero, mientras estaba aguardando para esto que estuviese terminado un campanario en construccion, le ocurrió la idea de valerse de una cometa, armada con una punta metálica, que podia llegar á muy altas regiones en la atmósfera. En junio de 1752, con un tiempo borrascoso, y sin tener noticia del esperimento de Dalibard, se fué á un campo, cerca de Filadelfia, en compañía de su hijo, aun muy jóven. Echó á volar la cometa, atando una llave al bramante, y á aquella un cordon de seda que habia de aislar al aparato, atándolo luego á un árbol. Habiendo presentado la mano á la llave, no saltó primero chispa alguna, y ya principiaba á desesperar del buen resultado, cuando, habiendo sobrevenido una ligera lluvia, se hizo el bramante buen conductor, y la llave dió la deseada chispa. La emocion del célebre físico fué tan viva, segun él mismo lo refiere en sus cartas, que no pudo contener las lágrimas.

Franklin, que habia descubierto el poder de las puntas (585), pero que ignoraba su teoría, pensaba que la cometa atraia la electricidad de la nube; pero, segun la teoría de la electrizacion por influencia (589), debe esplicarse el fenómeno por la influencia que la nube tempestuosa ejercia sobre la cometa y el bramante.

750. **Aparatos para apreciar la electricidad de la atmósfera.** —Los aparatos que dan á conocer la presencia de la electricidad en la atmósfera son: el electrómetro de esferas de médula de saúco, de pajas ó de panes de oro, el aparato de Dalibart, las flechas lanzadas á la atmósfera, y tambien las cometas ó los globos cautivos.

Para observar la electricidad en un tiempo sereno, en que de ordinario es débil la tension, se usa de preferencia el electrómetro que Saussure habia aplicado á este género de investigaciones. Es un electrómetro semejante al que ya hemos descrito (597), pero en el cual el eje que lleva los panes de oro ó las pajas, se continúa por encima con un conductor de seis decímetros de altura, terminado en esfera ó en punta. Para preservar al aparato de la lluvia, se cubre con una tapadera cónica de laton y de un decímetro de diámetro. La caja de vidrio, que es cuadrada, en vez de redonda, como lo es en la figura 407, no tiene mas de cinco centímetros de lado y un cuadrante dividido, aplicado en su cara anterior, indica el ángulo de desviacion

de los panes de oro ó de las pajas. Este electrómetro no da signos de electricidad atmosférica, si no se le eleva en la atmósfera de modo que se encuentre en capas de aire cuyo estado eléctrico sea sup rior al suyo. Una elevacion de tres decímetros basta para obtener una divergencia de 20 grados á consecuencia del esceso de electricidad.

Saussure se sirvió tambien, para reconocer la electricidad de la atmósfera, de una esfera de cobre que lanzaba verticalmente con la mano. Esta esfera estaba atada en la estremidad de un alambre atado por la otra estremidad á un anillo que podia correr á lo largo del conductor del electrómetro. De la desviacion de las pajas ó de los panes de oro se deducia el estado eléctrico del aire á la altura á que llegaba la esfera. M. Becquerel, en varios esperimentos que hizo en el monte San Bernardo, perfeccionó el aparato de Saussure, reemplazando la esfera por una flecha que se lanzaba á la atmósfera con un arco muy tenso. Un hilo de seda cubierto de oropel, de 80 metros de longitud, estaba fijo en un estremo de la flecha y comunicaba por el otro con la varilla de un electrómetro de pajas.

Peltier se valió de un electrómetro de panes de oro, que llevaba en la parte superior un globo de cobre algo grueso. Con este instrumento, se coloca el observador en un sitio que domine los puntos que le rodean, y basta entonces elevar el electrómetro muy poco, tan solo algunos decímetros, para que dé muestras de electricidad.

Cuando se quiere observar la electricidad de las nubes, como la tension eléctrica es entonces muy considerable, sirve una larga barra metálica terminada en punta, cual la que adoptó Dalibard. Se aisla bien esta barra, se la clava en el remate de un edificio, y por su parte inferior se la pone en comunicacion con un electrómetro, ó bien con un campanario eléctrico (fig. 446), que anuncia la presencia de las nubes tempestuosas. Con todo, como la barra puede dar entonces chispas peligrosas, hay que colocar al lado una esfera metálica, cuya comunicacion con el suelo esté bien establecida, y que se halle mas cerca de la barra que el mismo esperimentador, á fin de que, si estalla la chispa, no la reciba este sino la esfera. Richmann, profesor en San Petersburgo, fué muerto en un esperimento de este género por una chispa que le dió en la frente.

Por último, se ha hecho uso tambien de cometas con una punta, como en el esperimento de Franklin, y que comunican con un electrómetro por medio de una cuerda cubierta de oropel. Se ha acudido igualmente á globos hechos cautivos por cuerdas metálicas.

751. **Electricidad habitual de la atmósfera.** — Por medio de los diversos aparatos que acabamos de describir, se ha descubierto que, no solo posee electricidad la atmósfera mientras hay tempestad, sino en todas épocas, unas veces positiva y otras negativa. Cuando el cielo está sereno y sin nubes, se observa constantemente electricidad positiva en la atmósfera, pero varía su intensidad segun la altura de los lugares y las horas del dia. En los sitios mas altos y aislados se observa el máximum de intensidad. En las casas, en las calles y debajo de los árboles no se nota vestigio alguno de electricidad positiva;

y esta no es sensible en las ciudades, sino en las grandes plazas, en los pretiles de los rios y en los puentes. En todos los casos, no se observa electricidad positiva sino á cierta altura sobre el suelo. En campo raso se hace sensible á $1^{m},30$ de altura, aumentando luego bajo una ley desconocida y que depende del estado higrométrico del aire.

A la salida del sol, es débil el esceso de electricidad positiva de la atmósfera; aumenta hasta las ocho ó las once, segun las estaciones, y entonces adquiere un primer máximum; decrece en seguida rápidamente hasta poco antes de la puesta del sol, para aumentar de nuevo y llegar á un segundo máximum pocas horas despues de su puesta, disminuyendo luego en todo el resto de la noche. Estos periodos crecientes y decrecientes, que se observan durante todo el año, son tanto mas sensibles, cuanto mas sereno está el cielo y mas tranquilo el tiempo. Por último, la electricidad positiva de los tiempos serenos es mucho mas intensa en invierno que en verano.

Cuando el cielo está cubierto, se observa en la atmósfera, ya la electricidad positiva, ya la negativa. Sucede aun á menudo que la electricidad cambia de signo muchas veces en un dia por el paso de una nube electrizada. Durante las tempestades, y mientras está lloviendo ó nevando, la atmósfera se halla electrizada positivamente un dia, negativamente otro, y los dos números de dias son sensiblemente iguales. La tension eléctrica puede llegar á ser bastante intensa para dar la lluvia chispeante, que es un fenómeno que muchas veces se ha observado.

La electricidad del suelo, conforme Peltier observó con un multiplicador, es constantemente negativa; pero en diversos grados, segun el estado higrométrico y la temperatura del aire.

752. **Causas de la electricidad de la atmósfera.** — Diferentes hipótesis se han inventado para esplicar el orígen de la electricidad de la atmósfera. Unos la han atribuido al rozamiento del aire contra el suelo; otros á la vegetacion de las plantas, á la evaporacion del agua; algunos han comparado tambien la tierra á una vasta pila voltáica (625); varios á un aparato termo eléctrico (712). Muchas de estas causas pueden concurrir, en efecto, al fenómeno.

Volta hizo ver que la evaporacion del agua produce electricidad; y despues encontró Pouillet que, si el agua es destilada, jamás la produce la evaporacion; pero que si contiene en disolucion, aunque no sea mas que una mínima cantidad de un álcali ó de una sal, se electriza el vapor positivamente y la disolucion negativamente. Lo inverso sucede si el agua está combinada con un ácido. Desde entonces se ha admitido que las aguas que hay en la superficie de la tierra y en los mares, por contener siempre en disolucion materias salinas, emiten vapores que han de estar electrizados positivamente y el suelo negativamente.

Para comprobar el desarrollo de la electricidad por evaporacion, se calienta bien una cápsula de platino, se vierte en ella una corta cantidad de líquido, y se la coloca en el platillo superior del electrómetro condensador (fig 432), cuidando de hacer comunicar el platillo inferior con el suelo. Evaporada el agua de la cápsula, se interrumpe la comunicacion con el suelo y se quita el platillo superior. Los panes

de oro divergen entonces, si el agua tenia en disolucion algunas sustancias estrañas, pero quedan en reposo si estaba destilada.

Fundándose M. Pouillet en este esperimento, atribuyó el desarrollo de la electricidad por evaporacion á la separacion de las moléculas de agua de las sustancias disueltas; pero M. Reich y Riess, en Alemania, han demostrado que puede atribuirse la electricidad desprendida durante la evaporacion al rozamiento de las partículas de agua que arrastra el vapor contra las paredes de la vasija, de la misma manera que en la máquina de Armstrong (601). A consecuencia de recientes esperimentos, acaba de obtener M. Gaugain el mismo resultado, deduciendo de él que no tenemos ya derecho para atribuir la electricidad de la atmósfera á las segregaciones químicas que se operan durante la evaporacion tranquila de las aguas de los mares.

En cuanto á la hipótesis que consiste en considerar á la tierra como un inmenso manantial de electricidad voltáica debida á las acciones químicas, M. Becquerel ha hecho conocer recientemente numerosos esperimentos, de los que se deduce que en el contacto de las tierras y de las aguas hay siempre desarrollo de electricidad: la tierra toma un notable esceso de electricidad positiva ó negativa, y el agua un esceso correspondiente de electricidad de nombre contrario, segun la naturaleza de las sales ú otros compuestos habidos en disolucion en el agua. Este es un hecho general que, segun los trabajos de Becquerel, no tiene escepcion.

M. Becquerel hacia los esperimentos con un multiplicador ordinario, cuyo alambre estaba puesto en comunicacion con dos láminas de platino que se sumergian en los terrenos ó aguas cuyo estado eléctrico se deseaba conocer. Así es como él ha manifestado que, cuando dos terrenos húmedos estan en contacto, aquel que contiene la disolucion mas concentrada es el que toma un esceso de electricidad positiva. Del mismo modo ha encontrado que, en la proximacion de un rio, aun á una distancia bastante grande, la tierra y los cuerpos existentes en su superficie poseian un esceso de electricidad negativa, mientras que el agua y las plantas acuáticas que sobrenadaban en su superficie estaban cargadas de electricidad positiva. Pero, segun la naturaleza de las sustancias disueltas en las aguas, pueden producirse efectos contrarios.

Teniendo las aguas, segun los esperimentos de Becquerel, ya un estado positivo, ya un estado negativo, y las tierras un estado contrario, resulta que, al evaporarse el agua, debe esparcir en la atmósfera un esceso de electricidad positiva ó negativa, mientras que la tierra, por los vapores que se desprenden en su superficie, deja escapar un esceso de electricidad contraria. Pero estos escesos de electricidad deben intervenir necesariamente en la distribucion de la electricidad esparcida en la atmósfera, y pueden servir para esplicar cómo las nubes estan electrizadas, ya positiva, ya negativamente (753).

753. **Electricidad de las nubes.** — En general, las nubes estan todas electrizadas, ya positiva, ya negativamente, no difiriendo entre sí mas que en una tension eléctrica mayor ó menor. Fácilmente

se esplica la formacion de las nubes positivas, pues los vapores que se desprenden del suelo y van á condensarse en las altas regiones de la atmósfera para constituir las nubes, se hallan á su vez electrizados positivamente. En cuanto á las nubes negativas, se admite que resultan de nieblas que, por su contacto con el suelo, se cargaron de fluido negativo que conservan en seguida al elevarse por la atmósfera; ó bien que, separadas de la tierra por capas de aire cargadas de humedad, se han electrizado negativamente por la influencia de nubes positivas que han repelido al suelo la electricidad positiva.

Pero los esperimentos citados (752) de M. Becquerel bastan para dar la esplicacion de los dos estados eléctricos que pueden presentar las nubes.

754. **Relámpago.** — El *relámpago* es una luz deslumbradora proyectada por la chispa eléctrica que estalla de las nubes cargadas de electricidad. La luz de los relámpagos es blanca en las regiones bajas de la atmósfera; pero en las altas, en donde está mas enrarecido el aire, toma una tinta violácea, lo mismo que en tal caso se nota en la chispa de la máquina eléctrica (615).

Los relámpagos tienen á veces muchas leguas de longitud. Su paso por el aire se opera siempre en zigzag, atribuyéndose este fenómeno á la resistencia que á una gran descarga opone el aire comprimido. La chispa se desvía entonces de la línea recta para tomar la direccion en que es menor la resistencia. En efecto, en el vacío se efectúa en línea recta la trasmision eléctrica.

Se pueden distinguir cuatro especies de relámpagos, á saber: 1.ª Los relámpagos en zigzag, que se mueven con suma velocidad, bajo la forma de una ráfaga de fuego de contornos perfectamente determinados, y en todo comparables á la chispa de las máquinas eléctricas. 2.ª Los relámpagos que, en vez de ser lineares, como los anteriores, abrazan todo el horizonte sin ofrecer ningun contorno aparente, cual lo haria el resplandor rápido de materias inflamables que entrasen en esplosion. Estos relámpagos, que son los mas frecuentes, se producen, al parecer, en el seno mismo de la nube é iluminan su masa. 3.ª Los relámpagos llamados *de calor*, porque brillan en las noches de verano, sin que en el horizonte se perciba nube alguna y sin que tampoco se perciba ruido. Numerosas hipótesis se han propuesto para esplicar el orígen de estos relámpagos; pero la mas probable es la que dice que no son mas que relámpagos ordinarios que estallan en nubes situadas debajo del horizonte, á distancias tales, que el observador no puede oir el trueno. 4.ª Los relámpagos que aparecen bajo la forma de globos de fuego. Estos, que son visibles á veces durante mas de diez segundos, van de las nubes á la tierra con bastante lentitud para que el ojo pueda seguirles. Estos globos rebotan á menudo en la superficie del suelo, y otras veces se dividen y estallan con un ruido comparable á la detonacion de muchos cañonazos. Se ha notado que bajo esta forma penetra, en general, en nuestras casas el rayo. Se desconoce el orígen de estos relámpagos.

La duracion del relámpago de las tres primeras especies no llega á

un milésimo de segundo, conforme lo comprobó M. Wheatstone, por medio de una rueda que se hace girar con bastante velocidad para que sus radios sean invisibles; pero iluminándolos con la luz de un relámpago, la duracion de este es tan corta, que, sea cual fuere la velocidad de rotacion de la rueda, aparece completamente inmóvil, es decir, que su traslacion no se hace sensible durante el relámpago.

755. **Ruido del trueno** — El *trueno* es la detonacion violenta que sucede al relámpago en las nubes tempestuosas. El relámpago y la detonacion son siempre simultáneos; pero se nota un intervalo de muchos segundos entre estos dos fenómenos, porque el sonido solo recorre 337 metros por segundo (203), mientras que la luz no emplea mas que un intervalo inapreciable para propagarse de la nube al ojo del observador (410). De consiguiente, este no oye el ruido del trueno sino cinco ó diez segundos, por ejemplo, despues del relámpago, segun diste de la nube tempestuosa cinco ó diez veces 337 metros.

El ruido del trueno resulta de la conmocion que escita en la nube y en el aire la descarga eléctrica, conmocion que hace sensible el esperimento del termómetro de Kinnersley (618). Cerca del sitio en que salta el relámpago, el ruido del trueno es seco y de corta duracion; pero á mayor distancia se oye una série de ruidos que se suceden con rapidez; y á mayor distancia aun, el ruido, débil en un principio, se trasforma en un redoble prolongado y de desigual intensidad. Se han propuesto muchas hipótesis para esplicar este retumbo del trueno; pero ninguna satisface por completo. Unos lo han atribuido á la reflexion del sonido sobre la tierra y las nubes; otros han considerado el relámpago, no como una sola chispa eléctrica, sino como una série de chispas elementales que dan orígen cada una á una detonacion particular. Partiendo estas detonaciones particulares de puntos diversamente lejanos y de zonas de desigual densidad, no solo llegan al oido del observador sucesivamente, sino que tambien le allegan sonidos de distinta intensidad, originándose así la duracion y la desigualdad del retumbo. Por último, se ha atribuido este fenómeno á los zigzags del relámpago, admitiendo que hay un máximum de compresion del aire en cada ángulo saliente, lo cual produciria la desigual intensidad del sonido.

756. **Efectos del rayo.** — El *rayo* es la descarga eléctrica entre una nube tempestuosa y el suelo. Este, por la influencia de la electricidad de la nube, se carga de fluido contrario, y cuando el esfuerzo que hacen las dos electricidades para reunirse supera la resistencia del aire, brota la chispa, lo cual se espresa diciendo que el rayo *cae*. Se admite, de ordinario, que el relámpago se mueve de arriba abajo; pero á menudo se observa una direccion opuesta, siendo probable que estalle al mismo tiempo de la nube y del suelo.

Segun la primera ley de las atracciones eléctricas (581), el rayo debe caer sobre los objetos mas cercanos á la nube y sobre los mejores conductores; y en efecto, se observa que los árboles, los edificios altos y los metales, son los heridos mas particularmente por el rayo.

Por eso es imprudente colocarse debajo de los árboles en tiempo de tempestad, sobre todo si son buenos conductores, como el roble y el olmo; si bien el peligro es menor debajo de los resinosos, como los pinos, porque conducen mal la electricidad.

Los efectos del rayo son muy variados y de la misma naturaleza que los de las baterías (614), pero muchísimo mas intensos. El rayo mata al hombre y á los animales, inflama las materias combustibles, y reduce á astillas los cuerpos poco conductores. Al penetrar en el suelo, funde las sustancias silíceas que encuentra, y produce así en la direccion de la descarga tubos vitrificados que se han denominado *tubos fulminarios ó fulguritas*, y que llegan á tener hasta diez metros de longitud. Por último, al caer sobre las barras de hierro las imanta, é invierte á menudo los polos de las agujas de las brújulas.

El rayo difunde, en general, por su tránsito un olor que se ha comparado con el del azufre inflamado ó de una materia fosforosa. Atribuyóse primero este olor á un compuesto oxigenado que se formaba bajo la influencia de la descarga eléctrica, al cual dieron el nombre de *ozona* ú *ozono;* pero M. Schœnbein, en 1840, y luego los señores Marignac y de La Rive, y por fin, Ed. Becquerel y Frémy, han demostrado que la ozona no es mas que oxígeno electrizado.

757. **Choque de retroceso.** — El *choque de retroceso* es una conmocion violenta y hasta mortal que sienten á veces los hombres y los animales á distancia bastante considerable del punto en donde estalla el rayo. Este fenómeno reconoce por causa la accion por influencia que la nube tempestuosa ejerce sobre todos los cuerpos situados en su esfera de actividad. Estos cuerpos se encuentran entonces, lo mismo que el suelo, cargados de electricidad contraria á la de la nube, pero si esta se descarga por la recomposicion de su fluido con el del suelo, en el acto cesa la influencia, y recobrando bruscamente los cuerpos su estado neutro, se origina la sacudida que caracteriza al choque por retroceso. Se hace sensible este fenómeno colocando una rana cerca de una gran máquina eléctrica, pues á cada chispa que se saca de esta, esperimenta el animal una brusca sacudida.

758. **Pararayos.** — Un *pararayos* es una barra de hierro que sirve para dar mas fácil paso á la electricidad del suelo, atraida por la contraria de las nubes tempestuosas. Franklin inventó, en 1755, los pararayos.

Se distinguen en todo pararayos dos partes, que son : la barra y el conductor. La *barra* es de hierro y rectilínea, está terminada en punta, se la clava verticalmente en los tejados de los edificios que se desean preservar, tiene de seis á nueve metros de altura, y su seccion en la base es un cuadrado de cinco á seis centímetros de lado. El *conductor* es una varilla de hierro que desciende desde el pie de la barra hasta el suelo, en donde penetra profundamente. Como las varillas de hierro no pueden seguir con facilidad, á causa de su rigidez, los contornos de los edificios, es preferible formar el conductor con cuerdas de alambre, como las de los puentes colgantes. La Academia de Ciencias ha publicado recientemente un dictámen sobre los pararayos, en el

cual recomienda que se usen mas bien alambres de cobre que de hierro en la fabricacion de las cuerdas metálicas que han de servir de conductores, pues el cobre conduce la electricidad mejor que el hierro. Estas cuerdas deben tener, dice el dictámen, un centímetro cuadrado de seccion metálica, los alambres de 1 á 1,5 milímetros de diámetro, y pueden reunirse en tres cordoncitos, como de ordinario se hacen las cuerdas. Tambien aconseja que se termine la barra de los pararayos en una punta de cobre y no de platino, siempre por la mayor conductibilidad de aquel.

El conductor va de ordinario á un pozo, y para establecer mejor la comunicacion con el suelo, se le dan dos ó tres ramificaciones. Si no hay en las inmediaciones pozo alguno, se abre en el suelo un hoyo de cuatro á seis metros de profundidad, y despues de haber introducido en él el pie del conductor, se acaba de rellenar el resto con el cisco de retama, que conduce bien.

La teoría de los pararayos se funda en la electrizacion por influencia y en el poder de las puntas (585). Franklin, que apenas hubo comprobado la identidad del rayo y de la electricidad, pensó en aplicar el poder de las puntas á los pararayos, admitia que estos se apoderaban del fluido de las nubes tempestuosas; pero precisamente sucede lo contrario. Cuando una nube tempestuosa electrizada positivamente, por ejemplo, se eleva en la atmósfera, obra por influencia sobre la tierra, repele á lo lejos el fluido positivo y atrae el negativo que se acumula en los cuerpos de la superficie del suelo, con tanta mas abundancia, cuanto mayor es la altura á que se encuentran estos. Los mas altos son entonces los de mayor tension, y de consiguiente, los mas espuestos á la descarga eléctrica; pero si poseen puntas metálicas como las barras de los pararayos, el fluido negativo, atraido del suelo por la influencia de la nube, se va á la atmósfera y neutraliza el positivo de la nube. Por lo tanto, no solo un pararayos se opone á la acumulacion de la electricidad en la superficie de la tierra, sino que tambien tiende á hacer recobrar á las nubes tempestuosas su estado natural, doble efecto que previene la caida del rayo. Sin embargo, es á veces tan abundante el desarrollo de electricidad, que no basta el pararayos para descargar el suelo, y estalla el rayo; pero entonces el pararayos recibe la descarga, por razon de su mayor conductibilidad, y queda preservado el edificio.

La esperiencia ha enseñado que una barra de pararayos protege eficazmente á su alrededor un espacio circular de un radio doble de su altura. De consiguiente, un edificio de 64 metros de longitud quedará preservado por dos barras de 8 metros, que disten entre sí 32.

Para que sea eficaz un pararayos, debe satisfacer las siguientes condiciones: 1.ª la barra debe ser bastante gruesa para que no la funda el rayo si cae en ella; 2.ª ha de terminar en punta, á fin de que dé mas fácil salida á la electricidad que se desprende del suelo, y esta punta se hace de platino ó de cobre dorado, á fin de evitar la oxidacion; 3.ª el conductor no ha de ofrecer ninguna solucion de continuidad desde la barra al suelo; 4.ª la comunicacion entre este y

aquella ha de ser lo mas íntima posible, y 5.ª si el edificio lleva piezas metálicas de gran estension, como una cubierta de zinc, canalones de metal, armaduras de hierro, etc., se hará que comuniquen con el conductor del pararayos.

Si no se satisfacen las tres últimas condiciones, hay esposicion de *descargas laterales*, esto es, que acaso la chispa eléctrica estalle entre el conductor y el edificio, y en tal caso el pararayos aumenta el peligro.

759. **Arco iris.**— El *arco iris* es un metéoro luminoso que aparece en las nubes opuestas al sol cuando se resuelven en lluvia. Consta de siete arcos concéntricos que presentan sucesivamente los colores

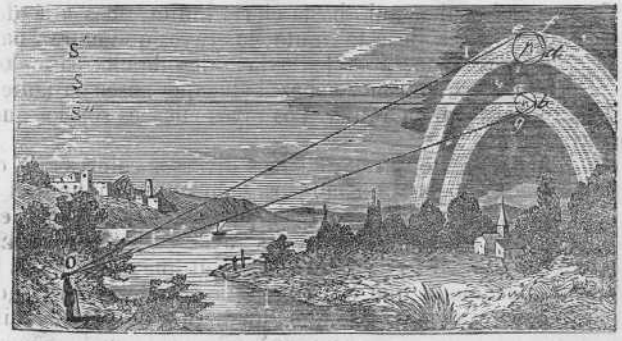


Fig. 558.

del espectro solar, pero á veces no hay mas que un solo arco, si bien lo regular es que se vean dos: el uno interior, de colores muy vivos, y el otro esterior, mas pálido y con el órden de los colores invertido. En el interno, el rojo es el color mas alto, y en el otro, el violado. Raras veces se ven tres arcos iris, por mas que la teoría diga que pueden formarse mayor número, pues sus colores son tan débiles, que quedan invisibles.

El fenómeno del arco iris procede de la luz blanca del sol en el momento en que penetra en las gotas de lluvia, y de su reflexion en su cara interna. Se observa, en efecto, en las gotas de rocío, en los chorros ó surtidores de agua, y en una palabra, donde quiera que la luz solar penetre en gotas de agua bajo cierto ángulo (40°).

La aparicion del arco iris y su estension dependen de la posicion del observador y de la luz del sol encima del horizonte, de donde debemos deducir que todos los rayos refractados por las gotas de lluvia y reflejados sobre su concavidad hacia el ojo del espectador no son propios para producir el fenómeno. Los que pueden originarlo se llaman *rayos eficaces*.

Para darse cuenta de esta eficacia, sea una gota de agua *n* (figura 558), en la cual penetra un rayo solar S*a*. En el punto de incidencia *a*, parte de la luz se refleja sobre la superficie del líquido, y

la otra penetra en él descomponiéndose, y atraviesa la gota en la direccion *ab*. Llegada á *b*, una porcion de la luz emerge fuera de la gota de lluvia, y el resto se refleja en la superficie cóncava y va á salir por *g*; mas en este punto la luz se refleja tambien parcialmente, y la restante emerge en una direccion *g*O, que forma con el rayo incidente S*a*, un ángulo que se llama *ángulo de desviacion*. Los rayos, tales como *g*O, salidos por el lado del observador, son los que determinan en la retina la sensacion de los colores, con la condicion, sin embargo, de que la luz sea suficientemente intensa.

El cálculo hace ver que, para una série de rayos paral los que caen sobre una misma gota, y que no sufren mas que una reflexion en su interior, el ángulo de desviacion aumenta sucesivamente desde el rayo S″*n*, para el cual es nulo hasta cierto límite, mas allá del cual decrece, y que, cerca de este límite, los rayos que entran paralelamente á sí mismos en una gota de lluvia, salen de ella paralelos entre sí. Resulta de este paralelismo un haz de luz que posee bastante intensidad para impresionar la retina. Los rayos eficaces son los que salen paralelos entre sí.

Siendo desigualmente refrangibles los diversos colores que componen la luz blanca, no es el mismo para todos el máximum del ángulo de desviacion. El cálculo enseña que, para los rayos rojos, el valor de dicho ángulo correspondiente á los rayos eficaces es de 42° 2′, y para los violados de 40° 17′. Síguese de aquí que, para todas las gotas colocadas de modo que los rayos que van del sol á la gota formen, con las que van de esta al ojo, un ángulo de 42° 2′, recibe este órgano la sensacion del color rojo; lo cual sucede evidentemente con todas las gotas situadas en la circunferencia de la base de un cono cuyo vértice coincide con el ojo del observador, cuyo eje sea paralelo á los rayos solares, y en el cual el ángulo formado por dos generatrices opuestas sea de 84° 4′. Tal es la formacion de la faja roja del arco iris. Para la faja violada, el ángulo del cono es de 80° 34′.

Los conos correspondientes á cada faja tienen el mismo eje, que se llama *eje de vision*. Paralela esta recta á los rayos del sol, cuando se halla este astro en el horizonte, queda horizontal el eje de vision, y el arco iris aparece bajo la forma de una semi-circunferencia. Si sube el sol, el eje de vision baja, y con él el arco iris. Por último, cuando el sol llega á la altura de 42° 2′, el arco desaparece por completo debajo del horizonte. Por eso el fenómeno del arco iris se presenta tan solo por la mañana ó por la tarde.

Todo cuanto precede se aplica al arco interior. El esterior se compone de rayos que han sufrido dos reflexiones, segun lo demuestra el rayo S′*idfi*O en la gota *p*. El ángulo S′IO, formado por los rayos emergente é incidente, se llama tambien ángulo de desviacion, pero aquí no es susceptible de un máximum, sino de un mínimum que varía para cada especie de rayos, y al cual corresponden igualmente los eficaces. Se comprueba por el cálculo que, para los rayos violados, el ángulo mínimum es de 54° 7′, y para los rojos tan solo de 50° 57′; lo cual esplica por qué el arco rojo es aquí interior y el violado este-

rior. Como á cada reflexion interior en la gota de lluvia hay pérdida de luz, el arco iris esterno es siempre mas pálido que el interno, dejando aquel de ser visible cuando el sol está á mas de 54 grados sobre el horizonte.

La luna produce á veces arcos iris, como el sol, pero son muy pálidos.

760. **Aurora boreal.**—Se llama *aurora boreal*, ó mejor *aurora polar*, un fenómeno luminoso sumamente notable que aparece con frecuencia en la atmósfera en los dos polos terrestres. Cuando se produce en el polo norte, se le denomina *aurora boreal*, y *aurora austral* si tiene lugar en el otro polo. Las auroras boreales son, al parecer, mas

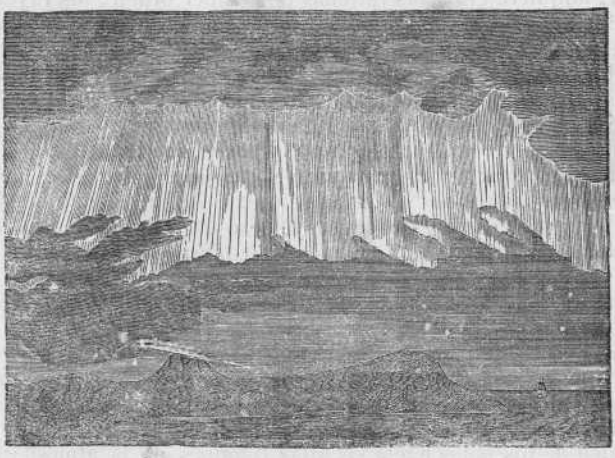


Fig. 559.

numerosas que las australes, si bien acaso dependa esto de la mayor facilidad con que aquellas pueden ser observadas. Vamos á tomar del *Tratado de Meteorología* de los señores Becquerel la siguiente descripcion de una aurora boreal vista en Bossekop, en la Laponia noruegana, á 70 grados de latitud, en el invierno de 1838 á 1839.

Por la tarde, entre 4 y 8, la niebla que reina habitualmente en el norte de Bossekop, se colora en su parte superior. Este resplandor se vuelve mas regular y forma un arco vago, de un amarillo pálido, con su concavidad mirando hácia la tierra, y con el vértice situado sensiblemente en el meridiano magnético.

Muy pronto varias estrías negruzcas separan con regularidad las partes iluminadas del arco; y varios rayos luminosos se forman, se alargan y se acortan lenta ó instantáneamente, aumentando y disminuyendo de un modo rápido su brilio. Los pies de estos rayos ofrecen siempre la luz mas viva y constituyen un arco mas ó menos regular. Es muy varia la longitud de los rayos, pero todos convergen hácia un

mismo punto del cielo, indicado por la prolongacion de la estremidad sur de la aguja de inclinacion; y á veces los rayos se prolongan hasta su punto de concurso, figurando así el fragmento de una cúpula luminosa.

El arco continúa subiendo hácia el cenit, presentando en su brillo un movimiento ondulatorio. A veces uno de sus pies, y aun los dos, abandonan el horizonte. Entonces los pliegues son mas pronunciados y mas numerosos; el arco ya no es mas que una larga faja de rayos, que se contornea y se separa en muchas partes, formando graciosas curvas que se doblan sobre sí mismas y ofrecen la llamada *corona boreal* (fig. 559). Como el brillo de los rayos varía súbitamente de intensidad, adquiere el de las estrellas de primer órden; los rayos se lanzan con rapidez, y las curvas se forman y se desarrollan como los pliegues y repliegues de una serpiente. Luego se coloran los rayos, poniéndose roja la base, verde el centro, y conservando su tinte amarillo el resto. Por fin, el brillo disminuye, los colores desaparecen, y todo se debilita poco á poco ó se apaga de improviso.

La comision científica del Norte ha observado, en 200 dias, 150 auroras boreales; mas por lo visto son completamente escepcionales en los polos las noches sin aurora boreal, de suerte que puede admitirse que todas las noches las hay, pero de intensidad muy variable. Las auroras boreales son visibles á distancias considerables del polo y en una estension inmensa, como que á veces una misma ha sido observada al mismo tiempo en Moscou, en Varsovia, en Roma y en Cádiz.

Se han emitido muchas hipótesis sobre la causa de las auroras boreales. La direccion constante de sus arcos con relacion al meridiano magnético, y las perturbaciones que ejercen en las brújulas (556), revelan que hay que atribuirlas á corrientes eléctricas que se desprenden de los polos hácia las altas regiones de la atmósfera. Segun M. de La Rive, la aurora boreal depende de descargas eléctricas en las regiones polares, entre la electricidad positiva de la atmósfera y la negativa del globo; electricidades separadas á su vez por la accion directa ó indirecta del sol, principalmente en las regiones ecuatoriales.

CLIMATOLOGIA.

761. **Temperaturas medias.** — Se llama *temperatura media*, ó simplemente *temperatura* de un dia, la que se obtiene haciendo la suma de 24 observaciones termométricas tomadas sucesivamente de hora en hora, y dividiéndola por 24. La esperiencia ha demostrado que se obtiene muy aproximadamente esta temperatura, tomando la media entre las temperaturas máximum y mínimum del dia y de la noche, las cuales se determinan por medio de los termómetros de máxima y de mínima. Deben hallarse estos fuera del alcance de los rayos solares, elevados sobre el suelo y apartados de todo cuerpo que pueda influir en ellos con su radiacion.

La temperatura de un mes es la media de la de los 30 dias, y la

del año la media de la de los 12 meses. Por último, la temperatura de un lugar es la media de su temperatura anual durante muchos años. La temperatura de Paris es de 10° 8 (1). En todos los casos, estas temperaturas son las del aire y no las del suelo (390).

762. **Causas que modifican la temperatura del aire.** — Las causas que hacen variar la temperatura del aire son principalmente la latitud, la altura, la direccion de los vientos y la proximidad de los mares.

1.ª *Influencia de la latitud.* — La influencia de la latitud resulta de la mayor ó menor oblicuidad de los rayos solares, porque siendo tanto mas considerable la cantidad de calor absorbida, cuanto mas se acercan los rayos á la incidencia normal (363), es claro que el calor que el suelo absorba decrece del ecuador á los polos, pues los rayos son cada vez mas y mas oblícuos relativamente al horizonte. Con todo, esta pérdida se halla compensada en parte, durante el verano, en las zonas templadas y en las glaciales, por la longitud de los dias. En el ecuador, en donde es constante esta longitud, es casi invariable la temperatura; en la latitud de Paris, y aun en las regiones mas septentrionales, en que los dias son muy desiguales, la temperatura varía mucho; pero, en verano, sube á veces casi tanto como en el ecuador. Por lo demás, el descenso de temperatura que resulta de la latitud es lento; y así, en Francia, por ejemplo, es preciso avanzar hácia el norte 185 quilómetros para encontrar un enfriamiento de un grado en la temperatura media del aire.

2.ª *Influencia de la altura.* — La elevacion sobre el nivel de los mares comunica á la temperatura de la atmósfera un decrecimiento mucho mas rápido que el que resulta de la latitud. En efecto, en una ascension al Mont-Blanc, observó Saussure un descenso de temperatura de 1 grado por una altura de 144 metros, y M. de Humboldt, en el Chimborazo, encontró 1 grado por una altura de 218 metros; pero tomando la media entre estos dos números, se obtiene un enfriamiento de 1 grado por una altura de 181 metros, de modo que el descenso de temperatura viene á ser mil veces mas rápido para la altura que para la latitud.

El enfriamiento del aire, á medida que se sube en las altas regiones de la atmósfera, se comprueba en las ascensiones aerostáticas; y además, lo revelan tambien las nieves perpétuas que cubren las cúspides de las altas montañas. Las causas son el gran enrarecimiento del aire, el cual disminuye necesariamente su poder absorbente, la distancia del suelo que no puede calentar al aire por su contacto, y por último, el gran poder diatérmano de los gases.

No se conoce la ley del descenso de la temperatura, á medida que se sube en la atmósfera, á causa de las muchas causas perturbadoras que tienden á modificarla, cuales son los vientos reinantes, el grado de humedad, la hora del dia, etc. La esperiencia enseña que la diferencia de temperatura de dos lugares desigualmente elevados no es

(1) La de Madrid es de 14°. *(N. de J. P.)*

proporcional á la diferencia de nivel; mas para alturas poco considerables puede admitirse de un modo aproximado esta ley. Se evalúa por término medio el descenso de la temperatura del aire en 1 grado por 187 metros de elevacion en la zona tórrida, y en 1 grado por 150 en la templada; pero estos números se hallan sujetos á muchas variaciones, segun las circunstancias locales.

3.ª *Influencia de la direccion de los vientos.* —Participando necesariamente los vientos de la temperatura de las regiones que han atravesado, su direccion, para un mismo lugar, influye mucho en la temperatura del aire. En Paris, el viento mas cálido es el del sur, siguiendo luego el sudeste, el sudoeste, el oeste, el este, el noroeste, el norte, y por último, el nordeste, que es el mas frio. Por lo demás, el carácter de los vientos cambia con las estaciones, y así el viento del este, por ejemplo, que es frio en invierno, es cálido en verano.

4.ª *Influencia de la proximidad de los mares.* —La proximidad de los mares tiende á hacer subir la temperatura del aire y á volverla mas uniforme. En efecto, se observa que, en los trópicos y en las regiones polares sobre todo, es siempre mas alta la temperatura de los mares que la de la atmósfera. En cuanto á la uniformidad de temperatura de los mares, demuestra la esperiencia que en las regiones templadas, es decir, de 25 á 50 grados de latitud, la diferencia entre el máximum y el mínimum de un dia no pasa, en el mar, de 2 á 3 grados, mientras que en los continentes llega á 12 ó 15 grados. En las islas es muy sensible la uniformidad de temperatura, aun durante los mas fuertes calores. Penetrando en los continentes, los inviernos, en igualdad de latitud, se vuelven mas frios, y se hace mayor la diferencia entre las temperaturas de los inviernos y de los veranos.

763. **Líneas isotermas.** —Cuando se unen entre sí, en un mapa, todos los puntos que tienen la misma temperatura media, se obtienen curvas que M. de Humboldt dió á conocer designándolas con el nombre de *líneas isotermas*. Si la temperatura de un lugar no variase sino con la oblicuidad de los rayos solares, es decir, con la latitud, las líneas isotermas serian todas paralelas al Ecuador; pero, como varía por muchas causas locales, y sobre todo por la altura, dichas líneas son siempre mas ó menos sinuosas. Con todo, en los mares se alejan poco del paralelismo. Se consideran tambien *líneas isóteras* (de igual verano), y *líneas isoquimenas* (de igual invierno). Por último, se entiende por *zona isoterma* el espacio comprendido entre dos líneas isotermas.

764. **Climas.** —Se da el nombre de *climas* á cierto número de zonas isotermas caracterizadas por sus temperaturas media anual, estivales é invernales, y por los límites en que todas ellas estan incluidas. Se distinguen siete climas clasificados por sus temperaturas medias, á saber: 1.° *clima tórrido ó ardiente*, de 27°,5 á 25 grados; — 2.° *cálido*, de 25 á 20 grados; — 3.° *suave*, de 20 á 15 grados; — 4.° *templado*, de 15 á 10 grados; — 5.° *frio*, de 10 á 5 grados; — 6.° *muy frio*, de 5 grados á cero; 7.° *glacial*, bajo cero.

Estos climas se dividen á su vez en *climas constantes*, cuya diferencia de temperatura entre el invierno y el verano no pasa de 6 ú 8 gra-

dos; en *variables*, cuya diferencia está entre 16 y 20 grados; y en *escesivos*, en los que dicha diferencia escede de 30 grados. Los climas de Paris y de Lóndres son variables; y los de Pekin y de Nueva-York escesivos. Los climas de las islas son generalmente poco variables, por ser casi constante la temperatura del mar; y de aquí la division de los climas en *marinos* y *continentales*. El carácter de los primeros es que la diferencia de temperatura entre el verano y el invierno es siempre mucho menor que en los segundos. Ultimamente, la temperatura mas ó menos elevada no es el único carácter que determina los climas; ellos lo son todavía por la mayor ó menor humedad del aire, por la cantidad y frecuencia de las lluvias, por el número de tempestades, por la direccion é intensidad de los vientos, y finalmente, por la naturaleza del terreno. Todas estas causas reunidas hacen que el estudio de los climas, ó la *climatologia*, sea todavía una ciencia muy poco conocida.

765. **Distribucion de la temperatura en la superficie del globo.**—La temperatura del aire en la superficie del globo va decreciendo del Ecuador á los polos; pero se halla sometida á tantas causas perturbadoras y tan locales, que su decrecimiento no parece sometido á ninguna ley general. Hoy por hoy solo es dable comprobar, por medio de numerosas observaciones, la temperatura media, la máxima y la mínima de cada lugar. El cuadro siguiente ofrece un resúmen de la distribucion del calor en el hemisferio septentrional.

Temperaturas medias á diversas latitudes.

Abysinia.	31°,0	Paris.	10°,8
Calcuta.	28°,5	Lóndres.	10°,4
Jamaica.	26°,1	Bruselas.	10°,2
Senegal (San Luis). . .	24°,6	Estrasburgo.	9°,8
Rio-Janeiro.	23°,1	Ginebra.	9°,7
El Cairo.	22°,4	Boston.	9°,3
Constantina.	17°,2	Estokolmo.	5°,6
Nápoles.	16°,7	Moscou.	3°,6
Méjico.	16°,6	San Petersburgo. . .	3°,5
Marsella.	14°,1	Monte Saint-Gothard.—	1°,0
Constantinopla. . . .	13°,7	Mar de Groelandia. —	7°,7
Pekin.	12°,7	Isla Mellville. . . —	18°,7

Las temperaturas anteriores son las medias. La temperatura mas alta observada en la superficie del globo fué de 47°,4 en Esné, en Egipto, y la mas baja, de—56°,7 en Fort-Reliance, en el norte de la América, lo cual da una diferencia de 104°,1 entre las mas altas y las mas bajas temperaturas observadas en los diferentes puntos del globo.

La temperatura mas alta observada en Paris fué de 38°,4, el 8 de julio de 1793, y la mas baja de —23°,5, el 26 de diciembre de 1798.

Como no han llegado los navegantes hasta los polos de la tierra, á causa de los hielos, no se conoce la temperatura de aquellos puntos. Se ha admitido *à priori* en nuestro hemisferio la existencia de un solo

polo glacial, es decir, de un solo punto ofreciendo un máximum de frio. Pero las inflexiones que presentan las líneas isotermas en el hemisferio boreal, ha hecho ver que en este hemisferio existen dos polos de frio, el uno en Asia, al norte del golfo Taymour, y el otro en América, al norte del estrecho Barrow, ambos cerca de 15 grados del polo boreal de la tierra. Se ha valuado la temperatura media del primero de estos polos en —17 grados, y la del segundo en —19. En cuanto al hemisferio austral, no se poseen bastantes observaciones para saber si se encuentran allí uno ó dos polos de frio, ni para determinar la posicion.

766. **Temperatura de los lagos, de los mares y de los manantiales.** — La temperatura del mar entre los trópicos es generalmente casi la del aire, y en las regiones polares siempre es algo mas alta que la de la atmósfera.

La temperatura del mar, en la zona tórrida, es constantemente de 26 á 27 grados en la superficie; disminuye cuando aumenta la profundidad, y en las regiones templadas y tropicales se mantiene á grandes profundidades entre 2°,5 y 3°,5. Se esplica la baja temperatura de las capas inferiores por el efecto de corrientes submarinas que trasportan hácia el Ecuador el agua fria de los mares polares.

La temperatura de los lagos presenta variaciones mucho mayores que la de los mares; pues su superficie, que puede congelarse durante el invierno, se calienta en verano hasta 20 ó 25 grados. El fondo, por el contrario, conserva sensiblemente una temperatura de 4 grados, que es la del máximum de densidad del agua (271).

Los manantiales, que proceden de las aguas pluviales infiltradas en la corteza del globo, á profundidades mas ó menos considerables, tienden necesariamente á ponerse en equilibrio de temperatura con las capas terrestres que atraviesan (390). Por lo tanto, cuando llegan á la superficie del suelo, su temperatura procede de la profundidad á que han llegado, y si esta es la de la capa invariable, la temperatura de los manantiales es de 11 á 12 grados en nuestro pais, donde tal es el calor de dicha capa, y al mismo tiempo la media anual. Con todo, si el manantial es poco copioso, su temperatura sube en verano y se enfria en invierno por la de las capas que atraviesa para llegar de la invariable á la superficie del suelo. Pero si los manantiales proceden de una profundidad mayor que la de la capa invariable, su temperatura puede ser mucho mas elevada que la media del lugar, y toman entonces el nombre de *aguas termales*. He aquí la temperatura de algunas aguas termales.

En Francia :	Vichy	40°
—	Mont Dore.	44°
—	Bourbonne.	50°
—	Dax (Landes).	60°
—	Chaudes-Aigues	88°
En América :	Trincheras, cerca de Puerto-Cabello.	97°
En Islandia :	El Gran-Geyser, á 20 metros de profundidad..	124°

Las aguas termales adquieren, por su alta temperatura, la propiedad de disolver muchas sustancias minerales que encuentran á su paso, y se designan entonces con el nombre de *aguas minerales*. Las sustancias disueltas suelen ser, las mas de las veces, los ácidos carbónico [1], sulfhídrico, sulfúrico, ó sulfuros, hiposulfitos, sulfatos, carbonatos, cloruros y ioduros.

La abundancia de lluvias ó la sequía no modifica, en general, la temperatura de las aguas termales; pero sí lo efectúan los terremotos, pues se ha visto en ciertos casos que, á consecuencia de estos, se elevaba unas veces y otras descendia.

767. Distribucion de las aguas en la superficie del globo.— La distribucion de las aguas en la superficie del globo influye mucho en los climas. Las aguas ofrecen una superficie mucho mayor que la de los continentes, y su distribucion es muy desigual en los dos hemisferios. En efecto, valiendo la superficie del globo 5100000 miriámetros cuadrados, se ve que la de los mares y lagos es de 3700000, y la de los continentes é islas de 1400000, es decir, que la superficie de las aguas es casi tres veces mayor que la de las tierras. En el hemisferio austral, la superficie de los mares es mayor que en el boreal en la razon de 13 á 9.

La profundidad de los mares es muy variable. La sonda llega al fondo, en general, á 300 ó 400 metros; pero en alta mar desciende frecuentemente á 1200, y á veces no lo toca hasta 4000.

Segun estos números, la masa total de las aguas en la superficie del globo no pasa de una capa líquida de 1000 metros de altura que envolveria ó cubriria toda la tierra.

---

[1] El A. pone en vez de *ácido carbónico* al *ácido sulfuroso*, lo cual debe de ser una distraccion ó errata, pues aquel, y no este, es el que se encuentra en las aguas minerales. *(N. de J. P.)*

FIN.

APENDICE.—PRIMERA PARTE.

PROBLEMAS DE FISICA

CON SOLUCION

DADOS COMO TEMAS DE COMPOSICION Á LA FACULTAD DE CIENCIAS DE PARIS

Desde 1853 á 1857.

PROBLEMAS SOBRE LOS PESOS ESPECIFICOS.

I.

En una vasija cilíndrica, cuyo diámetro interior vale 0m,1, y que se apoya por su base sobre un plano horizontal, se vierten 12 quilógramos de mercurio, ¿á qué altura subirá el mercurio en el cilindro, siendo la densidad de aquel 13,596?

Si se representa por R el radio interior de la vasija, su fondo interno lo estará por πR^2, y como, segun el enunciado $R=5$ centimetros, y $\pi=3,141592...$, el fondo de la vasija vale $3,141592 \times 25 = 78$cent.cuad.,54.

De consiguiente, representando por A la altura á que llega el mercurio en la vasija, el volúmen de este líquido es 78cent.cuad.,54×A. Pero, segun la fórmula $P=VD$ [1], se tiene tambien $V=\frac{P}{D}=\frac{12000gr}{13,596}=882$cent.cub.,612; de modo que resulta $78,54 \times A = 882,612$, de donde $A=11c,24$.

II.

Calcular el peso del mercurio, á la temperatura de 26 grados centígrados, que contendria una vasija cónica de 0m,87 de altura, y de un radio igual á 0m,23 en la base.—Se sabe que la densidad del mercurio, á la temperatura de cero, es 13,596, sirviendo de unidad la densidad del agua (á 4 grados), y el coeficiente de dilatacion cúbica del mercurio es 0,00018.

Sean V el volúmen del cono, en decímetros cúbicos, R el radio de su base, y A su altura. Se sabe en geometria,

$$\text{que } V=\pi R^2 \times \frac{A}{3} = 3,1416 \times (2d,3)^2 \times \frac{8,7}{3}.$$

Efectuando los cálculos, resulta V= 48dec.cúb..195.

Para obtener el peso del mercurio contenido, falta, segun la fórmula $P=VD$, multiplicar el número 48,195, que se acaba de obtener, por la densidad del mercurio á 26 grados.

---

[1] En las aplicaciones de la fórmula $P=VD$, es de observar, conforme se dijo en el párrafo 107, que contado V en decimetros cúbicos, debe serlo P en quilógramos, y si V en centimetros cúbicos, P en gramos, y reciprocamente, si P es evaluado en quilógramos ó gramos, V lo será en decimetros ó en centimetros cúbicos. Por último, si el volúmen V estuviese medido en metros cúbicos, como sucede en algunos problemas que resolverémos, cada unidad de P corresponderia á 1000 quilógramos, porque conteniendo un metro cúbico 1000 decímetros cúbicos, es claro que un metro cúbico de agua pesa 1000 quilógramos, y de consiguiente, que para otra sustancia, dos, tres veces mas densa que el agua, el metro cúbico pesa dos, tres veces 1000 quilógramos.

Debe observarse tambien que la fórmula $P=VD$ no se aplica inmediatamente á los gases. Por eso en todos los problemas en que se trate de calcular el peso de cierto volúmen de gas, se averiguará primero el de igual volúmen de aire, fundándose en que un litro de aire á cero y á la presion de 0m,76, pesa 1gr,3; y luego se multiplicará el peso obtenido por la densidad del gas dado, supuesto que las densidades ó los pesos especificos de los gases marcan el peso de estos cuerpos con relacion al aire.

Representando por d' esta densidad y por d la del mercurio á cero, se ha visto (261, 4.° que $d' = \frac{d}{1+Dt}$, siendo D el coeficiente de dilatacion del mercurio.

Suponiendo, pues, $D = 0{,}00018$, $t = 25$ y $d = 13{,}596$, se tiene

$$d' = \frac{13{,}596}{1+0{,}00018\times 26} = 13{,}533.$$

Por lo tanto, el peso pedido es $P = 48$dec.cúb.,$195 \times 13{,}533 = 652$quil.,$123$.

III.

Un rodillo cilíndrico de madera de roble tiene 0m,3 de diámetro, 2m,5 de longitud, y es de 1,17 su peso específico; se pide el volúmen y el peso del rodillo.

Sean R el radio del rodillo, L su longitud y V su volúmen. Tomemos $V = \pi R^2 L = 3{,}141592 \times 2$dec.cuad.,$25 \times 25$d. $= 176$dec.cúb.,71; y representando por P su peso, resulta, segun la fórmula $P = VD$, $P = 176$dec.cúb.,71×1quil.,$17 = 206$quil.,76.

IV.

Una copa de forma cónica tiene interiormente 0m,06 de diámetro en el borde. Llenósela por completo de mercurio, de agua y de aceite, en proporcion tal que la capa formada por cada uno de estos líquidos tiene 0m,05 de espesor. Se sabe que la densidad del mercurio es 13,596, la del aceite 0,915 y la del agua 1. Calcúlese el peso del mercurio, del agua y del aceite, despreciando la influencia de la temperatura en la densidad de estos líquidos.

Fig. 560.

Segun el enunciado se tiene $om = 3c$ (fig. 560), y $ok = ki = ia = 5$. Además, los triángulos oma, kna é ipa son semejantes, y por lo mismo

$$ip = \frac{1}{3}\,om = 1, \text{ y } kn = \frac{2}{3}\,om = 2.$$

Ahora bien, encontrándose el mercurio en la parte inferior, y luego el agua y el aceite (89), el volúmen del cono abp ocupado por el mercurio será igual á

$$\pi \overline{ip}^2 \times \frac{ai}{3} = \frac{3{,}1416 \times 1 \times 5}{3} = 5\text{c.cúb.},236.$$

Los volúmenes del agua y del aceite son troncos de conos que se miden por medio de la fórmula conocida $\pi(R^2 + r^2 + Rr) \times \frac{A}{3}$, en la cual R y r son los radios de las bases del tronco y A su altura. De consiguiente, el volúmen de agua

$$bcnp = \frac{3{,}141592 \times 5}{3}(4 + 1 + 2) = 36\text{c.cúb.},652,$$

y el volúmen de aceite $cdmn = \frac{3{,}14159 \times 5}{3}(9 + 4 + 6) = 99$c.cúb.,$484$.

Conocidos estos volúmenes, se tendrán los pesos pedidos por la fórmula $P = VD$, multiplicando cada volúmen por la densidad correspondiente: resulta, pues, peso del mercurio $5{,}236 \times 13{,}596 = 71$gr,$188$; el del agua $36{,}652 \times 1 = 36$gr,652, y el del aceite $99{,}484 \times 0{,}915 = 91$gr,$027$.

V.

Un paralelipípedo de hielo cuyas dimensiones son 10m,50, 15m,75 y 20m,45, se introduce en el agua de mar. Siendo la densidad del hielo 0,930, y la del agua de mar 1,026, se pide la altura del paralelipípedo sobre la superficie del mar.

Supongamos el paralelipípedo dispuesto segun se ve en la fig. 561, y sean sus tres aristas AB, AC y AD respectivamente iguales á 20m,45, 15m,75 y 10m,50. Como el volúmen de un paralelipípedo es igual al producto de sus tres dimensiones, si se representa por V el volúmen de toda la masa de hielo, se tendrá, en decimetros cúbicos, $V = 204{,}5 \times 157{,}5 \times 105 = 3381918$d.cúb.,$75$; y segun la fórmula $P = VD$, su peso es $V \times 0{,}93 = 3145184$quil.,$44$.

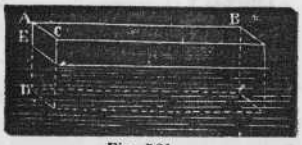


Fig. 561.

Ahora bien, si se representa por x la altura DE de la porcion sumergida, el volúmen de esta será $AB \times AC \times x$, ó $204{,}5 \times 157{,}5 \times x = 32208{,}75 \times x$.

Tal es el volúmen de agua de mar desalojado por el hielo, y segun la fórmula $P = VD$, su peso $P = 32208,75 \times 1,026 \times x$.

Segun la condicion de equilibrio de los cuerpos flotantes (98), el peso del agua desalojada es igual al peso de todo el cuerpo flotante, y por lo tanto, $32208,75 \times 1,026 \times x = 3145184,44$, de donde $x = 95$dec.,17

De consiguiente, la altura fuera del agua es $105 - 95,7 = 9$dec.,3.

VI.

El aire pesa $\frac{1}{770}$ del peso del agua: se pide cuál es el peso del aire contenido en un cilindro de 0m,8 de altura, y de 0m,3 de circunferencia en la base. (Se prescindirá de la temperatura).

Siendo R el radio de la base, resulta $2\pi R = 3$ decímetros,

$$\text{de donde } R = \frac{3}{2 \times 3,1416} = 0\text{dec.},477.$$

Sabemos que el volúmen de un cilindro tiene por medida el producto de su base por su altura, es decir, $\pi R^2 \times A$, fórmula que da para el volúmen del cilindro en cuestion $3,1416 \times (0\text{dec.},477)^2 \times 8\text{dec.} = 5$dec.cúb.,718cent.cúb. Si el cilindro estuviese lleno de agua, el peso correspondiente al volúmen que acabamos de obtener, sería 5quil.,718gr.; y de consiguiente, supuesto que está lleno de aire que pesa 770 veces menos, el peso del aire del cilindro es $\frac{5\text{quil},718}{770} = 7\text{gr},426$.

VII.

La altura interior de un cilindro hueco es de 369 milímetros, y su diámetro de 246, se pide el peso del alcohol que contendrá, siendo 0,863 la densidad de este líquido.

La fórmula $P = VD$ da $P = \pi R^2 AD = 15$quil.,136gr,5.

VIII.

Se fabrican con oro, cuya densidad es 19,362, hojas que tienen un diezmilésimo de milímetro de espesor. ¿Qué superficie se podrá cubrir con 10 gramos de oro?

Llamando x á la superficie pedida, en centímetros cuadrados, se tiene

$$x \times 0\text{c},00001 \times 19,362 = 10\text{gr.}, \text{ de donde } x = 5\text{m.cuad.},16\text{d.cuad.},47\text{c.cuad.}$$

IX.

Se da un cilindro de hierro del peso de 21 quilógramos; su altura es de 2m,50; la densidad del hierro vale 7,788. Se pide el diámetro del cilindro.

Representando por R el radio del cilindro, su volúmen es $\pi R^2 A$, y como su peso es P, resulta $\pi R^2 AD = P$, de donde $R = \sqrt{\frac{P}{\pi AD}}$; reemplazando, se obtiene

$$R = \sqrt{\frac{21}{611,6695}} = \sqrt{0,0343} = 0\text{d},18.$$

X.

Dos vasijas de formas cónicas y del mismo peso tienen interiormente 6m,25 de altura, y 0m,12 de diámetro en su borde superior. La una está llena de ácido sulfúrico cuya densidad es 1,84, y la otra de éter que tiene por peso específico 0,71. Se pide la diferencia de los pesos de las dos vasijas cuando están así llenas.

$$\text{Tenemos } V = \frac{\pi R^2 A}{3} = \frac{3,1416 \times 36 \times 25\text{c.}}{3} = 942\text{cent.cúb.},48.$$

Para el ácido sulfúrico se tiene $P = 942,48 \times 1,84$.

Para el éter. . . . . $P' = 942,48 \times 0,71$.

de donde la diferencia $(P - P') = (1,84 - 0,71)\,942,48 = 1$quil.,065gr.

XI.

Dada una esfera de cobre de 0m,18 de radio, hueca, y que contiene una esfera de platino de 0m,05 de radio, de tal suerte que no hay ningun vacío entre las dos esferas, se pide el peso de la masa así formada, sabiendo que la densidad del platino es de 21,50, y la del cobre 8,85.

Volúmen del platino $=\frac{4\pi r^3}{3}$, volúmen del cobre $=\frac{4\pi(R^3-r^3)}{3}$; peso del platino $=\frac{21,50\times4\pi r^3}{3}$, peso del cobre $=\frac{8,85\times4\pi(R^3-r^3)}{3}$. Suma de los pesos $=\frac{4\pi}{3}(21,5r^3+8,85R^3-8,85r^3)=4,1888(12,65\times5^3+8,85\times18^3)=222$quil.,820gr,91.

XII.

La pirámide mayor de Egipto es de base cuadrada; el lado de la base es de 23m,48, y la altura era primitivamente de 146m,18 sobre el nivel del suelo. Se pide el peso de esta pirámide, admitiendo que está llena, y que la piedra de que consta tiene 2,75 de densidad.

$$V=(23m,48)^2\times\frac{146m,18}{3};$$

$$P=(23m,48)^2\times\frac{146,18}{3}\times2,75\times1000\text{quil.}=80\ 590\ 554\text{quil.},272\text{gr.}$$

XIII.

Calcular el peso de un fragmento de granito que tiene la forma de un tronco de pirámide de bases cuadradas, sabiendo que el lado de la base inferior es 3m,55, el de la superior 0m,87, la altura del tronco 2m,78, y el peso del metro cúbico de granito 2780 quilógramos.

Volúmen del tronco $=15$m.cúb.,241,721; peso $=2780$quil.$\times15,241721=42371$quil.,984gr.

XIV.

Se pide el precio de un tubo de conduccion, de fundicion, que tenga 0m,245 de diámetro interior, 0m,014 de espesor, y 2134m. de longitud. La densidad de la fundicion es 7,207, y su precio 0fr,20 el quilógramo.

$V=\pi A(R^2-r^2)=3,1416\times2134$m. $\times$ 0m,cuad.,003626 $=24$m.cúb.,309dec.cúb.,336c.cúb.; peso $=24$m.cúb.,309336$\times7,207\times1000=175197$quil.,385gr. : precio $=35039$fr,48.

XV.

Un alambre cilíndrico de plata, de 0m,0015 de diámetro, pesa 3gr,2875 : se desea cubrirlo con una capa de oro de 0m,0004 de espesor. Se pide el peso del oro que se gastará, sabiendo que la densidad de la plata es 10,47, y la del oro 19,26.

Sean r el radio del cilindro de plata, y R el radio del mismo cilindro cubierto de oro. Tenemos

$r=0$c,075, $R=0$c,095, y $r^2=0$cent.cúb.,005625, $R^2=0$cent.cúb.,009025.

Volúmen del cilindro de plata $=\pi r^2A=0,0176715A$.

Peso del mismo $=0,0176715\times10,47\times A=3$gr,2875; de donde $A=17$c,768.

Volúmen de la capa de oro $=\pi A(R^2-r^2)=3,1416\times17,768\times0,0034=0$c.cúb.,189787.

XVI.

Se tiene en un tubo capilar una columna de mercurio que, á cero, pesa 1gr, y su longitud es de 0m,137. Se pide el diámetro del tubo, sabiendo que la densidad del mercurio es 13,598.

Se tiene $P=\pi r^2AD$, de donde $r=\sqrt{\frac{P}{\pi AD}}=\sqrt{\frac{1}{3,1416\times13,7\times13,598}}$;

de donde $r=0$c,0413, y de consiguiente, el diámetro $=0$m,000826.

XVII.

¿Qué esfuerzo exigiria, para ser sostenido en mercurio á cero, un decímetro cúbico de platino, suponiendo la densidad de aquel líquido igual á 13,6, y la del platino á 21,5?

Segun la fórmula $P=VD$, el peso del decímetro cúbico de platino, en quilógramos, es $1\times21,5=21$quil.,5; por la misma fórmula, el peso del mercurio desalojado por el platino es $1\times13,6=13$quil.,6. En virtud del principio de Arquimedes, el platino sumergido pierde parte de su peso igual al del mercurio que desaloja: su peso en este líquido es, pues, 21quil.,5 $-$ 13quil.,6, ó 7quil.,9. Tal es, por lo tanto, el esfuerzo necesario para tenerle en suspension en medio de la masa de mercurio.

XVIII.

Se emplea, como medida de litro, una vasija cilíndrica que tiene interiormente una altura dos veces mayor que el diámetro de la base. Esta vasija es de zinc, cuya densidad es de 7,19, y sus paredes tienen 0m,005 de espesor. Se pide su peso.

El volúmen interior $=\pi r^2 a = 4\pi r^3$, puesto que $a=4r$. Siendo 1 el volúmen, se tiene

$$4\pi r^3 = 1, \text{ de donde } r = \sqrt[3]{\frac{1}{4\times 3,1416}} = \sqrt[3]{0,079577} = 0d,430, \text{ y } a = 1d,72.$$

Representando por R el radio esterior, y por v el volúmen del zinc que entra en la pared lateral, no comprendido el fondo, resulta

$$v = \pi a (R^2 - r^2) = 3,1416 \times 1d,72 \times 0,0455 = 0dec.cúb.,245861.$$

En cuanto al volúmen del fondo, es igual á $\pi R^2 \times 0d,05 = 0$ dec.cúb.,036191; luego el volúmen total del zinc es $0,245861 + 0,036191 = 0$dec.cúb.,282052, y de aquí el peso $P = 0,282052 \times 7,19 = 2$quil.,027gr,954.

XIX.

Una bala de fundicion pesa 12 quilógramos; la densidad de la fundicion es 7,35. Se pide el radio de esta bala y el peso de oro necesario para formar alrededor de ella una capa de 0,0006 de espesor, siendo la densidad del oro 19,26.

Segun la fórmula $P = VD$, se tiene $V = \frac{P}{D} = \frac{12}{7,35} = 1$dec.cúb.,63265. Teniendo la bala la forma esférica, su volúmen está representado por la fórmula $\frac{4\pi R^3}{3}$: tenemos $\frac{4\pi R^3}{3} = 1$dec.cúb.,63265, ó $4\pi R^3 = 4,89795$,

$$\text{de donde } R = \sqrt[3]{\frac{4,89795}{12,56636}} = \sqrt[3]{0,389766} = 0d,730.$$

Para calcular el volúmen de la capa de oro, sea R′ el radio esterior, que es igual á $0d,730 + 0d,006 = 0d,736$: equivaliendo el volúmen V de esta capa á la diferencia entre el volúmen total y el de la bala, se tiene

$$V = \frac{4\pi}{3}(R'^3 - R^3) = \frac{4\times 3,1416 \times 0,009669}{3} = 0\text{dec.cúb.},0405015:$$

de donde el peso del oro es 40cent.cúb.,5015 $\times$ 19,26 $=$ 780gr,059.

XX.

Un pedazo de cobre de forma cúbica y del peso de 1quil.,75, aplicado á un torno, queda reducido á una esfera del diámetro de 0,75 de la longitud del lado del cubo primitivo. Siendo la densidad del cobre 8,85, se pide el peso de las limaduras obtenidas.

Sea V el volúmen del cubo; $V = \frac{P}{D} = \frac{1\text{quil.},75}{8,85} = 0$dec.cúb.,197740; de donde el lado del cubo $= \sqrt[3]{0,197740} = 0d,582$.

Por lo tanto, el diámetro de la esfera $= 0,582 \times 0,75 = 0d,4365$, su volúmen $= \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4\times 3,1416 \times (0,21825)^3}{3} = 0$dec.cúb.,043548, y su peso $= 0,043548 \times 8,85 = 385$gr,402; y por fin, el peso de las limaduras es $= 1$quil.,750 $-$ 0quil.,385 $=$ 1quil.,365.

XXI.

Se tiene un fragmento de basalto de la forma de un prisma recto, cuya base es un hexágono regular; el radio del círculo circunscrito al hexágono es de 0m,63; la altura del prisma de 2m,45, y la densidad del basalto 2,85. ¿Cuál es su peso?

Sean R y r los radios de los círculos circunscrito é inscrito en el hexágono, y se tiene

$$r = \sqrt{R^2 - \frac{R^2}{4}} = \frac{R}{2}\sqrt{3}.$$

Reemplazando R por su valor 0m,63, se encuentra $r = 0m,54558$; de consiguiente, la superficie del hexágono $6 \times 0m,63 \times \frac{0,54558}{2} = 0m.cuad.,974484$.

El volúmen del prisma es, pues, 0m,cuad.,974484 × 2m,45, y su peso 0m.cúb.,974484 × 2m,45 × 2,85 = 6804quil.,335gr.

XXII.

Siendo el peso específico del mercurio 13,59 á 0°, se pide cuál es á 100° el volúmen de 40 quilógramos.

Segun la fórmula $P = VD$, que da $V = \frac{P}{D}$, el volúmen de 40quil. á cero es $\frac{40}{13,59}$; de consiguiente, á 100° es $\frac{40}{13,59}\left(1 + \frac{1}{5550} \times 100\right)$ (261), siendo $\frac{1}{5550}$ el coeficiente de dilatacion del mercurio. Efectuando los cálculos se obtiene V = 2lit.,996.

XXIII.

Determinar los volúmenes de dos líquidos cuyos pesos específicos son 1,3 y 0,7, sabiéndose que si se los mezcla, el volúmen es igual á 3 litros, y la densidad á 0,9.

Sean v y v' los dos volúmenes pedidos: en primer lugar, $v + v' = 3$lit. [1], y por la fórmula $P = VD$, siendo el peso de cada líquido $v \times 1,3$ y $v' \times 0,7$, se tiene $1,3.\ v + 0,7.\ v' = 0,9 \times 3$ [2]. Resolviendo las ecuaciones [1] y [2], sale $v = 1$, $v' = 2$.

XXIV.

Una lámina triangular de cobre, de 0m,005 de espesor y de 1m,25 de lado, está cubierta de una capa de plata de 0m,00015 de grueso. La densidad del cobre es 8,95, y la de la plata 10,47. Se pide el peso de la lámina así plateada.

Llamando S la superficie del triángulo, a su lado y V el volúmen de la lámina, se tiene

$$S = \frac{a^2}{4}\sqrt{3} = \frac{(1m,25)^2}{4} \times 1,7321 = 676dec.cuad.,6015cent.cuad.,56;$$

$$V = 676dec.cuad.,60156 \times 0,05 = 33dec.cúb.,830cent.cúb.,078;$$

$$\text{Peso del cobre} = 33,830078 \times 8,95 = 302quil.,779gr,198;$$

$$\text{Volúmen de la plata} = 2 \times 676dec.cuad.,60156 \times 0,0015 = 2dec.cúb.,02980468;$$

$$\text{Peso de la plata} = 2,02980468 \times 10,47 = 21quil.,252gr,045;$$

$$\text{Peso total} = 302quil.,779gr,198 + 21quil.,252gr,045 = 324quil.,031gr,243.$$

XXV.

¿Cuál es el diámetro de un alambre de platino que pesa 28 gramos por metro de longitud, sabiendo que la densidad del platino es 22,06?

Sea V el volúmen de un metro de alambre, en centímetros cúbicos, se tiene $V = \pi r^2 \times 100$, y el peso $28gr = \pi r^2 \times 100 \times 22,06$; de donde $r^2 = \frac{28}{3,1416 \times 2206} = 0,00404$, y $r = 0c,063$. El diámetro pedido es, pues, 0c,126.

XXVI.

Una esfera de vidrio pesa 1 quilógramo; se busca cuál es su superficie, sabiendo que la densidad del vidrio es 2,7.

Segun la fórmnla $P = VD$, se tiene $V = \frac{P}{D} = \frac{1000gr.}{2,7} = 370c.cúb.,3707$.

Pero siendo el volúmen de la esfera $\frac{4\pi R^3}{3}$, se tiene $\frac{4\pi R^3}{3} = 370c.cúb.,3707$; de donde $R = 4c,45$.

Pero llamando S á la superficie de la esfera, se sabe que

$$S = 4\pi R^2 = 2d.cuad.,48c.cuad.,846.$$

XXVII.

Las nuevas décimas pesan 10gr., y estan compuestas de una aleacion de 0,95 de cobre, 0,04 de estaño, y 0,01 de zinc; la densidad del cobre es 8,85, la del estaño 7,29, y la del zinc 7,12; se pregunta cuántas de estas piezas serian necesarias para proporcionar el metal necesario á la fabricacion de una esfera de igual aleacion, de 0m,25 de diámetro á cero.

El volúmen v de una pieza de 10 céntimos, es, segun el enunciado y segun la fórmula

$$V=\frac{P}{D},\ v=\frac{9,5}{8,85}+\frac{0,4}{7,29}+\frac{0,1}{7,12}=\frac{17491735}{15311916}.$$

Pero siendo el volúmen de la esfera $\frac{4\pi R^3}{3}$, el número de piezas es

$$\frac{4\pi R^3}{3}:v=\frac{4\times 3,1416\times \overline{12c,5}^3}{3}\times\frac{15311916}{17491735}=7161,7.$$

XXVIII.

Una copa de forma cónica tiene la cavidad de un litro; en su borde superior tiene de diámetro 0m,25, está llena de agua y mercurio, siendo iguales las cantidades en peso de ambos liquidos, y la densidad del mercurio 13,598, se pregunta cuál será la altura de la capa formada por el agua.

Sea V el volúmen total del cono, A su altura, R el radio de su base, v el volúmen del agua, v' el del mercurio, y d la densidad de este; se tiene

$$V=\frac{1}{3}\pi R^2A\ [1],\ v+v'=1\ [2],\ \text{y}\ v=v'd\ [3].$$

Haciendo en la ecuacion [1] $V=1$ y $R=0,125$, se obtiene $A=0.06111$; y las ecuaciones [2] y [3] dan $v'=0$lit.,068302, y $v=0$lit.,931498.

Pero siendo semejantes los volúmenes V y v, resulta que son entre sí como los cubos de sus alturas, es decir, que $V:v'::A^3:a'^3$, de donde

$$a'=A\sqrt[3]{v'}=6c,111\sqrt[3]{0,068512}=2c,4994,\ \text{y}\ a=A-a'=3c,6116.$$

XXIX.

Una de las ramas de un sifon está llena de mercurio hasta una altura de 0m,175, la otra lo está de otro liquido hasta la altura de 0m,42; ambas columnas se hacen equilibrio; se pide la densidad del otro liquido con relacion al mercurio y al agua.

Representando por d la densidad con relacion al mercurio, y por d' la densidad con relacion al agua, se tiene $1\times 0,175=0,42\times d$, y $13,6\times 0,175=0,42\times d'$; de donde $d=0,416$ y $d'=5,666$.

XXX.

Un cuerpo pesa en el aire 7gr,234, en el agua 4gr,525, en otro liquido 5gr,417; encontrar la densidad del cuerpo, y la del segundo liquido con relacion al agua.

Densidad del cuerpo $=2,670$; la del liquido $=0,670$.

XXXI.

Una esfera hueca de plata pesa, cuando está vacia, 726gr.03; y cuando está llena de agua á 4°, 2521gr,35: siendo la densidad de la plata 10,47, se pide cuál es la circunferencia esterior de esta esfera.

Siendo el peso del agua contenida en la esfera 2521gr,35 — 726gr,03 = 1795gr,32, su volúmen interior es 1lit.,795,32. En cuanto al volúmen de la masa de plata que forma las paredes de la esfera, segun la fórmula $P=VD$, se tiene

$$V=\frac{P}{D}=\frac{726gr,03}{10,47}=0lit.,069,343.$$

Luego el volúmen esterior de la esfera es 1lit.,795,32 + 0lit.,069,34 = 1lit.,864,66.

Pero siendo el volúmen de la esfera, como se sabe $\frac{4\pi R^3}{3}$, se tiene $\frac{4\pi R^3}{3}=1$d.cúb.,86466, de donde $R=0$d,763, y la circunferencia $=2\pi R=0$m,4794.

XXXII.

Se tiene un vaso cilíndrico cuyo diámetro interior es 0m.25, se le echan 30 quilógramos de mercurio, cuya densidad es 13,6, y 2 quilógramos de alcohol, cuya densidad es 0,79, y se pregunta á qué altura del vaso se elevarán estos dos líquidos.

Llamemos R al radio interior del cilindro, x la altura del agua, é y á la del mercurio.

Segun la fórmula conocida $P = VD$, se tiene para el volúmen del alcohol, $\frac{P}{D} = \frac{2}{0,79}$, y para la del mercurio, $\frac{P}{D} = \frac{30}{13,6}$; pero ambos volúmenes están tambien representados por $\pi R^2 x$ y $\pi R^2 y$; se tiene, pues, $\pi R^2 x = \frac{2}{0,79}$, y $\pi R^2 y = \frac{30}{13,6}$: de donde

$$x + y = \frac{2}{\pi R^2}\left(\frac{1}{0,79} + \frac{15}{13,6}\right) = 0m,0965.$$

XXXIII.

Un cilindro de hierro tiene 2m,55 de longitud, y pesa 41 quilógramos; ¿cuál es el diámetro de la seccion perpendicular al eje del cilindro, sabiendo que la densidad del hierro es 7,788?

La seccion es igual á $\frac{V}{A} = \frac{P}{AD} = \frac{41}{7,788 \times 25,5}$; pero ella es tambien igual á $\frac{\pi D^2}{4}$; luego se tiene

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{41}{7,788 \times 25,5}, \text{ de donde } D = 0m,0512.$$

XXXIV.

Un fragmento de metal pesa, en el aire, 7gr,234; en el agua, 4gr,523; en un líquido A, 5gr,417; en un líquido B, 3gr,215. Se pide la densidad del metal y de cada uno de los líquidos A y B con relacion al agua.
Densidad del metal, 2,66; del líquido A, 0,670; del líquido B, 1,482.

XXXV.

Se pide el peso de una esfera de oro fundido, cuya circunferencia á la temperatura de cero es de 0m,3248, sabiendo que la densidad del oro fundido es 19,26.
El radio de la esfera es 0m,05169, y su peso 11quil.,142 gr.

XXXVI.

¿Cuál es el diámetro de un alambre de oro que pesa 26 gr. por metro de longitud, siendo la densidad del oro 19,36?

$$D = 0m,001307.$$

XXXVII.

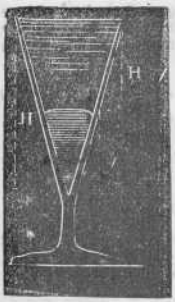


Fig. 562.

Una vasija de forma cónica tiene 0m,08 de diámetro en su base, y 0m,12 de altura; su eje está en la posicion vertical, y en esta posicion se llena la vasija de agua y mercurio en proporciones tales, que el peso del mercurio sea el triplo de el del agua. La temperatura es cero, la densidad del mercurio 13,598, y la del agua 1. Se pide la altura de cada capa de líquido.

Volúmen total $= \frac{1}{3}\pi R^2 H$; volúmen del mercurio $= \frac{1}{3}\pi r^2 y$; y volúmen del agua $= \frac{1}{3}\pi(R^2 H - r^2 y)$. Luego el peso del mercurio es $\frac{1}{3}\pi r^2 y d$, y el del agua $\frac{1}{3}\pi(R^2 H - r^2 y)$; lo cual da, segun el enunciado, $\frac{1}{3} r^2 y d = R^2 H - r^2 y$, de donde $y = \frac{3R^2 H}{r^2(d+3)} = \frac{R^2}{r^2} \times \frac{3H}{d+3}$. Pero

$\frac{R^2}{r^2}=\frac{H^2}{y^2}=\frac{144}{y^2}$, luego $y=\frac{144}{y^2}\times\frac{36}{16,598}$, de donde $y=\sqrt[3]{\frac{144\times36}{16,598}}=0m,0678$, y $H-y=0m,0522$.

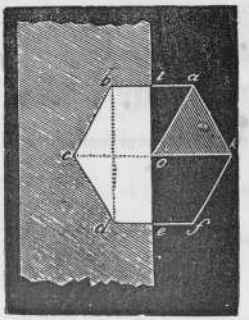


Fig. 563.

XXXVIII.

Un triángulo equilátero de acero, de 0m,15 de lado, gira sobre uno de sus lados y se introduce así completamente en un pedazo de mármol cuya densidad es 2,72. El eje de rotacion es perpendicular á la superficie del mármol, y el triángulo penetra en este por su vértice. Se desea saber la pérdida de peso que esperimenta el pedrusco en esta operacion.

Habiendo entrado el triángulo en el mármol como lo indica la figura 563, el volúmen quitado es

$$V=\pi\overline{oi}^2\times\frac{ab}{2}+\pi\overline{oi}^2\times\frac{ab}{6}=\frac{4}{6}\pi\overline{oi}^2\times ab.$$

$$\text{Pero } \overline{oi}^2=\overline{ab}^2-\frac{\overline{ab}}{4}=\frac{3}{4}\overline{ab}^2;$$

luego $V=\frac{\pi\overline{ab}^3}{2}=\frac{3,1416\times(15)^3}{2}=5301$c.cub.,450. Luego la pérdida de peso en el mármol es 5301c.cub.,450$\times$2,72$=$14quil.,419gr,944.

XXXIX.

Se pide el peso de un pedazo de mármol de forma cilíndrica, de 3m,75 de altura y de 0m,85 de diámetro, siendo la densidad del mármol 2,72.

$$P=5788\text{quil.},005\text{ gr.}$$

XL.

Un tubo cilíndrico de bronce tiene 0m,75 de longitud, 0m,36 de diámetro interior, y sus paredes tienen 0m,08 de grueso. La densidad del bronce es 8,46. Se pide el peso de este tubo, 1.° cuando está vacío, 2.° cuando está lleno de agua á 4 grados.

Llamemos R al radio esterior, r al radio interior, A á la altura, y D á la densidad: se tiene para el peso del tubo vacío

$$P=\pi AD\,(R^2-r^2)=701\text{quil.},657;$$

y por su peso, cuando está lleno, se tiene

$$P+\pi r^2A=777\text{quil.},997.$$

XLI.

Un pedazo de madera, cuya densidad es 0,729, tiene la forma de un cono. Se le hace flotar en el agua de manera que su eje quede vertical, ya sumergiéndolo por el vértice, ya por la base. Se pide cuál es la altura de la parte sumergida en el agua, en cada uno de dichos casos.

1.° Llamemos V al volúmen total del cono, v la parte sumergida, A y a las alturas de los dos conos, D la densidad de la madera, y d la del agua.

Siendo de igual peso los volúmenes V y v, estan en razon inversa de sus densidades; y se tiene, por consiguiente, $V:v::d:D$, ó bien $A^3:a^3::d:D$; de donde $a^3=\frac{A^3D}{d}$, siendo $d=1$, y haciendo A tambien $=1$, resulta $a=\sqrt[3]{D}=\sqrt[3]{0,729}=0,9$ de A.

2.° En la segunda posicion del cono, se tiene $V:V-v::d:D$, ó bien $A^3:A^3-a^3::d:D$; de donde $a^3=\frac{A^3(d-D)}{d}=1-D$, haciendo $A=1$ y $d=1$. Luego se tiene

$$a=\sqrt[3]{1-0,729}=0,647\text{ de A.}$$

XLII.

Un areómetro de Baumé para ácidos, tiene una varilla bien cilíndrica; se introduce hasta la 66.ª division en el ácido sulfúrico, cuya densidad es 1,8. Bajo este supuesto, se pregunta: 1.° ¿cuál será la densidad del agua salada que sirve para la graduacion del instrumento? 2.° ¿cuál es la relacion entre el volúmen de una division y el del instrumento hasta el cero?

Fig. 564.

1.° Llamemos V al volúmen del instrumento hasta el cero de la escala, v el volúmen hasta 66°, y v' el volúmen hasta 15° (fig. 564); se tiene $V : v :: 1,8 : 1$, ó bien $v + 66 : v :: 1,8 : 1$, de donde $v = 82,5$, y $V = 148,5$; de la igualdad $V - v' = 15$, resulta $v' = 133,5$. Luego la densidad del agua salada nos viene dada por la igualdad

$$\frac{V}{v} = \frac{d}{1}, \text{ de donde } d = \frac{148,5}{133,5} = 1,112.$$

2.° La relacion del volúmen de una division al volúmen del areómetro hasta la division cero es $\frac{1}{148,5}$.

XLIII.

Un litro de aire, á la temperatura de 0° y presion de 0m,76, pesando 1gr.293, se pide, suponiendo igual temperatura y presion, lo que pesa medio metro cúbico de madera, cuya densidad es 0,5. Se pide además cuál seria el lado de un cubo de laton, cuya densidad es 8,3, y que en el aire pesaria tanto como el medio metro de madera.

1.° El medio metro cúbico de madera pesaria en el vacío 500 quil. $\times 0,5 = 250$ quil., en el aire pesaria, por consiguiente, 250 quil., menos el peso del medio metro cúbico de aire desalojado, ó sea

$$250\text{quil.} - 0\text{quil.},646\text{gr},5 = 249\text{quil},353\text{gr},5.$$

2.° Llamemos x al lado del cubo en decimetros: su volúmen es x^3, y su peso en el vacío es en quil. $x^3 \times 8,3$; pero el volúmen del aire desalojado por el cubo es x^3, y el peso de este aire es $1\text{gr},293 \times x^3$; luego el peso del cubo de laton en el aire es

$$x^3 \times 8,3 - 0\text{quil.},001\text{gr},293 \times x^3.$$

Se tiene, pues, $(8,3 - 0,001293)\, x^3 = 249\text{quil.},3535$, de donde $x = 0\text{m},3107$.

XLIV.

Se tiene un cilindro de platino de 0m,02 de altura; se le añade un cilindro de hierro del mismo diámetro. ¿Qué altura hay que dar al cilindro de hierro para que su base superior enrase con la superficie del mercurio, cuando se sumerjan ambos cilindros en este líquido; y si el diámetro de los cilindros fuera de 0m,03, cuál seria el peso del mercurio desalojado? Se parte del supuesto que la densidad del platino es 21,59, la del mercurio 13,596, y la del hierro 7,788.

1.° Llamemos D á la densidad del platino, D′ á la del hierro, D″ á la del mercurio, a á la altura del cilindro de platino, y x á la del cilindro de hierro.

Peso del platino. . . . . $\pi r^2 a D$;
Id del hierro. . . . . $\pi r^2 x D'$;
Id. del mercurio desalojado. . . $\pi r^2 (a + x) D''$

Se tiene, pues, suprimiendo el factor comun πr^2, $aD + xD' = (a + x) D''$, de donde

$$x = \frac{a(D - D'')}{D'' - D'} = \frac{2 \times 7,994}{5,808} = 2\text{c},75.$$

2.° Siendo el diámetro del cilindro 3c, se encuentra para el peso del mercurio desalojado

$$\frac{3,1416 \times 9\,(2 + 2,75)\,13,596}{4} = 456\text{gr},497.$$

XLV.

Se supone que un hombre levanta á la vez 125 balas de cañon del peso de 2 quilógramos: se pregunta cuál seria el número de balas que podria levantar, empleando igual esfuerzo muscular, si la tierra tuviese igual volúmen que la luna, todo lo demás siendo igual por otra parte. El radio de la tierra siendo tomado por unidad, se tomará el radio de la luna

igual á 0,27234, y no se tendrá en cuenta el achatamiento de la tierra y de la luna po sus polos.

Llamemos R al radio de la tierra, y M á su masa; r y m el radio y masa de la luna, P al peso sostenido en la superficie de la tierra, siendo R el radio; P′ el que se sostendria si, quedando la misma la masa de la tierra, fuese su radio r, y P″ el peso que seria sostenido siempre á la superficie de la tierra, si con el radio r tuviese la masa m de la luna.

Los dos pesos P y P′, siendo, á masa igual, directamente proporcionales á los cuadrados de sus distancias al centro de la tierra, se tiene $P : P' :: R^2 : r^2$ [1]; por el contrario, estando los pesos P′ y P″, bajo distancia igual, en razon inversa de las masas, se tiene $P' : P'' :: m : M$, ó lo que es lo mismo, bajo igual densidad, $P' : P'' :: r^3 : R^3$ [2]. Multiplicando ordenadamente las igualdades [1] y [2], resulta $P : P'' :: r : R$; de donde

$$P'' = P \times \frac{R}{r} = \frac{250\,\text{q.}}{0,27234} = 918\,\text{quil.};$$

luego el número de balas pedido es $\frac{918}{2} = 459$.

PROBLEMAS SOBRE EL PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES, LA DENSIDAD DE LOS GASES Y LA PRESION ATMOSFÉRICA.

XLVI.

Dado un cuerpo A, que pesa en el aire 7gr,55, en el agua 5gr,17, y en otro liquido B 6gr,35, deducir las densidades del cuerpo A y del liquido B.

Segun el enunciado, el peso del cuerpo A pierde en el agua 7gr,55 — 5gr,17 = 2gr,38, que es el peso del agua desalojada. En el liquido B pierde 7gr,55 — 6gr,35 = 1gr,20, que es el peso del liquido B bajo el mismo volúmen que el del cuerpo y del agua. Por consiguiente, el peso específico de A es $\frac{755}{238} = 3,173$, y el de B $= \frac{120}{238} = 0,504$.

XLVII.

Calcular el valor numérico de la presion que se ejerce sobre un circulo de 1m,37 de diámetro, suponiendo la altura barométrica igual á 0m,76.

Si se representa por R el radio de este circulo y por S su superficie, se sabe, en geometria, que $S = \pi R^2$, siendo π la relacion de la circunferencia al diámetro, é igual á 3,141592... Como, segun el enunciado, R = 68cent.,5, resulta R^2 = 4692cent.cuad.,25 y πR^2 = 14741 centimetros cuadrados

Pero se ha visto (149) que marcando el barómetro 0m,76, la presion atmosférica, en 1 centimetro cuadrado, es de 1quil.,033; luego en 14741 centimetros cuadrados será de 1quil.,033 × 14741 = 15227quil.,6.

XLVIII.

Se tiene un globo aereostático esférico de 4 metros de diámetro, y se le llena de hidrógeno impuro, que pesa 100 gramos el metro cúbico. El tafetan barnizado que constituye la cubierta pesa 250 gramos cada metro cuadrado. Se pide cuánto hidrógeno se necesitará para llenarle, qué peso podrá equilibrar, sabiendo que cada metro cúbico de aire pesa 1300 gramos.

Se sabe, en geometria, que el volúmen de una esfera cuyo radio es R, está representado por $\frac{4\pi R^3}{3}$, y la superficie por $4\pi R^2$. De consiguiente, siendo V el volúmen del globo lleno, y S su superficie, se tiene

$$V = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3,1416 \times 8}{3} = 33\text{m.cúb.},510;$$

$$\text{y } S = 4\pi R^2 = 4 \times 3,1416 \times 4 = 50\text{m.cuad.},2655.$$

Por lo tanto, el peso del hidrógeno contenido en el globo es, segun el enunciado, 100 gramos × 33,510 = 3quil.,351; y el de la cubierta 250 gramos × 50,2655 = 12quil.,566. El peso total del globo, incluso el del hidrógeno y el de la cubierta, es, pues,

$$3\text{quil.},351 + 12\text{quil.},566 = 15\text{quil.},917.$$

Pero el peso del aire desalojado por el globo, y por lo mismo, el empuje de abajo arriba (172), es, segun el enunciado, 1quil.,300 × 33,510 = 43quil.,563. Luego, en fin, el globo puede equilibrar un peso de 43quil.,563 — 15quil.,917 = 27quil.,646.

XLIX.

Para esplotar una mina de sal gema, se ha abierto en un terreno salífero un agujero de sonda, en el cual se ha introducido un tubo de 100 metros de largo, el cual, no llenando exactamente el conducto, sobresale 1 metro del suelo; se introduce 0m,75 en una disolucion salina, cuya densidad es 1,3, y se echa agua dulce en el intervalo que separa el tubo de las paredes del agujero de sonda. Pregúntase á qué altura subirá en el tubo la disolucion.

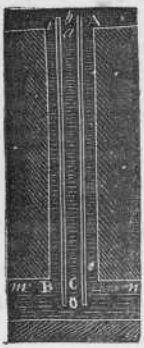


Fig. 565.

Representemos el orificio de sonda por AB (fig. 565), por aO el tubo, y por mn el nivel de la disolucion salina. Segun el enunciado, CO, que es la porcion sumergida del tubo, es igual á 0m,75, y la ab, fuera del agua, á 1 metro. De consiguiente, la porcion aC tiene una longitud de 98m,25.

Ahora bien, admitamos que no se mezclen el agua dulce y la salada, y que la disolucion salina, en el fondo del agujero de sonda, conserve siempre el nivel mn. Los dos compartimientos iB y aC forman dos vasos comunicantes, y se sabe que en estos las alturas de las columnas líquidas estan en razon inversa de sus densidades (88). Como es 1 la densidad del agua dulce contenida en la parte iB, y b la altura de la disolucion salina en el tubo, se tendrá

$$\frac{1}{1,3}=\frac{b}{aC}, \text{ pero } aC=98\text{m},25;$$

$$\text{luego } b=\frac{98,25}{1,3}=75\text{m},58.$$

L.

Un tubo que se apoya en una cuba de mercurio contiene una columna de aire de 1m,85, á la presion de 0m,75; se pide la presion que se habrá de ejercer sobre el mercurio para que la columna de aire se reduzca á 0m,35 de altura.

El volúmen de aire, que era primero de 1m,85 á la presion de 0m,75, se encuentra actualmente á 0m,35 á la presion P, y como los volúmenes estan en razon inversa de las presiones, resulta $\frac{1\text{m},85}{0\text{m},35}=\frac{P}{0,75}$, de donde P = 3m,964.

Tal es la fuerza elástica del aire comprimido, es decir, la altura de la columna de mercurio que su tension equilibrará. La presion que hay que ejercer fuera del tubo es, pues, igual á esta presion, mas á la altura 1m,50 á que se elevó el mercurio en el tubo, esto es, á 3m,964 + 1m,50 = 5m,464.

LI.

Un globo pesa 254gr,735 cuando está vacío, y 5quil.,422gr,738 cuando está lleno de aire á la temperatura de 4 grados. Se sabe que á esta temperatura el peso del aire es al del agua como 129 es á 100000. Se pide la capacidad del globo. El mismo globo, lleno de otro gas á 4 grados, pesa 651gr,475, estando la presion á 0m,76; ¿cuál seria su peso si la presion fuese de 1m,23?

1.° El peso del aire del globo = 5quil.,422gr,738 — 254gr,735 = 5quil.,168gr,003. Representando por P el peso del agua á 4° que puede contener el globo, resulta $\frac{P}{5\text{q},168003}=\frac{100000}{129}$, de donde P = 4006quil.,204. Siendo 1 litro el volúmen de 1 quilógramo de agua á 4°, la capacidad del globo es de 4006lit.,204.

2.° El peso del gas contenido en el globo á la presion de 0m,76 es 651gr,475 — 254gr,735 = 396gr,440; el peso del mismo volúmen, á la presion de 0m,01, es $\frac{396\text{m},440}{76}$, y á la de 1m,23

$$\frac{396,440\times 123}{76}=641\text{gr},607.$$

LII.

Un globo vacío pesa 150gr,475; lleno de aire, 160gr,158, y de otro gas, 162gr,235. 1.° Siendo invariable la presion, se pide la densidad de este gas con relacion al aire. 2.° ¿Qué correccion tendria que hacerse si la presion hubiese sido de 0m,75 durante la pesada del aire, y de 0m,77 durante la del gas.

1.° Peso del aire = 160gr,158 — 150gr,475 = 9gr,683; peso del gas = 162gr,235 — 150,475 =

11gr,760; de donde la densidad del gas con relacion al aire (276), es $\frac{11,760}{9,683}=1,2145$.

2.° La correccion que hay que hacer es reducir el peso del aire y el del gas á la presion de 0m,76. Para esto, siendo el peso del aire 9gr,683 á la presion 0m,75, es $\frac{9gr,683}{75}$ á la presion de 1c, y $\frac{9gr,683\times76}{75}$ á la de 0m,76. Se encontrará de la misma manera que el del peso del gas á esta presion es $\frac{11,767\times76}{77}$. Luego la densidad buscada es

$$\frac{11,760\times76}{77}:\frac{9,683\times76}{75}=\frac{11,760\times75}{9,683\times77}=1,183.$$

LIII.

Una esfera de platino pesa en el aire 84gr.; en el mercurio solo 22gr,6. ¿Cuál es la densidad del platino?

Pérdida de peso en el mercurio = 84gr − 22gr,6 = 61gr,4; de donde la densidad del platino con relacion al mercurio es igual á $\frac{84}{61,4}$, y la del mismo con relacion al agua á $\frac{84\times13,6}{61,4}=18,55$, siendo 13,6 la densidad del mercurio.

LIV.

Se ha pesado á la misma temperatura un pedazo de metal sucesivamente en el aire, en el agua y en un liquido A; se ha encontrado para su peso en el aire 5gr,219; en el agua, 4gr,132, y en el liquido, 5,009. Se pide la densidad del metal y la del liquido A con relacion al agua.

Densidad del metal = 4,801; densidad del liquido = 0,193.

LV.

Un globo vacio pesa 771,177; lleno de aire, 775gr,228; de otro gas, 775gr,537. Se pide: 1.° la densidad de este gas, hechas las pesadas á la presion de 0m,76 y á la temperatura de 0°; 2.° las correcciones que habria que hacer si las pesadas hubiesen tenido lugar á la presion de 0m,74 y á la temperatura de 15°.

Densidad del gas = 1,076. (LII).

En el caso de que las pesadas se hubiesen hecho á la presion de 0m,74 y á 15°, habria que reducir el peso de los dos gases á la presion de 0m,76 y á la temperatura de 0° (273, prob. IV), y luego dividir el peso del gas por el del aire.

LVI.

Está funcionando el émbolo de una máquina neumática; la capacidad del recipiente es de 7lit.,53, y está lleno de aire á la presion de 0m,76 y á la temperatura de 0°. Se pide: 1.° el peso del aire cuando la presion esté reducida á 0m,021; 2.° el del aire estraido por el émbolo, y 3.° el del que quedaria en la campana á la temperatura de 15°.

1.° A 0° y 0m,76 de presion, 7lit.,53 de aire pesan 1gr,3 × 7,53 = 9gr,789.

A 0° y 0m,021 de presion, el mismo volúmen pesará $\frac{9gr,789\times21}{760}=0gr,270$.

2.° el peso del aire estraido = 9gr,789 − 0gr,270 = 9gr,519.

3.° El peso del aire que queda, á 15°, seria $\frac{0gr,270}{1+0,00366\times15}=0gr,256$ (273, prob. VI).

LVII.

Se da un globo cuyo radio es de 1 metro, lleno las tres cuartas partes de hidrógeno; se pide el peso que podria levantar, sabiendo que la densidad del hidrógeno es 0,069, y que un litro de aire pesa 1gr,3. El aire y el hidrógeno estan á la presion de 0m,76 y á la temperatura de 0 grado.

Volúmen del globo $=\frac{4\pi R^3}{3}$, cuyos $\frac{3}{4}=\frac{4\pi R^3}{3}\times\frac{3}{4}=\pi R^3=3$m.cub.,1416. Pesando 1 me-

tro cúbico de aire 1quil.,300gr., el peso del aire desalojado por el globlo es 1quil.,300 $\times$ 3,1416 = 4quil.,084gr. En cuanto al peso del hidrógeno que llena el globo, es 4quil.,084 $\times$ 0,069 = 0quil.,281. De consiguiente, el peso que el globo puede levantar, incluso su propio peso, es 4quil.,084 — 0quil.,281 = 3quil.,803gr.

LVIII.

Calcular la fuerza ascensional de un globo esférico de tafetan, que vacío pesa 36quil.,620, y está lleno de hidrógeno impuro, sabiendo que el tafetan barnizado pesa 0quil.,250gr. el metro cuadrado, 1 quil.,300gr. el metro cúbico de aire, y 0quil.,100gr. el de hidrógeno.

La superficie del globo $= \frac{63q,620}{0q,250} = 254$m.cuad.,48. Siendo la superficie del globo la de una esfera, es igual á $4\pi R^2$; tenemos, pues, $4\pi R^2 = 254$m.cuad.,48; de donde

$$R = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{254,48}{3,1416}} = \frac{1}{2}\sqrt{81,0033} = 4\text{m},50.$$

De consiguiente, llamando V al volúmen de la esfera, resulta

$$V = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3,1416 \times (4,5)^3}{3} = 381\text{m.cub.},7044.$$

El peso del aire desalojado es, pues, 1quil.,3 $\times$ 381,7044 = 496quil.,216gr.

El peso del hidrógeno es 0quil.,1 $\times$ 381,7044 = 38quil.,1704, cuya fuerza ascensional es 496quil.,216 — 38quil.,170 — 63quil.,620 = 392quil.,426gr.

LIX.

Una columna de agua de 1m,55 de altura y una de otro líquido de 3m,17 se equilibran en las ramas de un sifon, siendo 4 grados la temperatura de ambos líquidos; se pide la densidad del segundo con relacion al agua, y la altura á que subiria si su temperatura llegase á 25 grados, permaneciendo á 4 grados la del agua, y siendo $\frac{1}{6000}$ el coeficiente de dilatacion absoluta del líquido.

1.° Las alturas de las columnas líquidas que se equilibran estan en razon inversa de las densidades (88), y por lo mismo, se tiene $1\text{m},55 \times 1 = 3,17 \times d$, de donde $d = 0,4889$, á 4°.

2.° Representando por a la altura del mismo líquido á 25 grados, por d su densidad á 4 grados y por d' su densidad á 25 grados, se tiene $3\text{m},17 \times d = a \times d'$ [1], luego $d' = \frac{d}{1 + \frac{1}{6000} \times 25}$ (261, prob. IV). Introduciendo este valor en la igualdad [1], resulta $3\text{m},17 = \frac{a}{1 + \frac{25}{6000}}$, de donde $a = 3\text{m},183$.

LX.

Siendo 1 la densidad del aire, 0,069 la del hidrógeno, y 1,524 la del ácido carbónico, á 0 grados y á la presion de 0m,76, un cuerpo en el ácido carbónico pierde 1gr,15 de su peso: se pide la pérdida en el aire y en el hidrógeno.

Se pide tambien: 1.° si la relacion de las pérdidas de peso queda la misma á la temperatura de 200 grados, no variando la presion; 2.° si esta relacion queda la misma, á la presion de 30 atmósferas, siendo de 0 grados la temperatura.

Un litro de aire, á 0° y á la presion de 0m,76, pesa 1gr,3, y uno de ácido carbónico, cuya densidad es 1,524, pesará 1gr,3 $\times$ 1,524 = 1gr,9812. Se tendrá, pues, el volúmen de ácido carbónico que corresponde á 1gr,15, dividiendo 1gr,15 por 1gr,9812, lo cual da por cociente 0lit.,5804. Siendo este volúmen el del cuerpo, desaloja este 0lit.,5804 de aire, y de consiguiente, su pérdida de peso en el aire (172) es 1gr,3 $\times$ 0,5804 = 0gr,75452. En cuanto á su pérdida de peso en el hidrógeno es 0gr,75452 $\times$ 0,069 = 0gr,052061.

La relacion de las pérdidas de peso en el ácido carbónico y en el hidrógeno no queda rigurosamente la misma cuando cambia la temperatura ó la presion, porque no son igualmente dilatables, ni igualmente compresibles estos dos gases (274 y 162).

LXI.

El volúmen del aire de la probeta de una máquina de compresion es de 137 partes. Por el juego de la máquina se reduce á 25, y el mercurio sube en la probeta á 0m,45: se pide la

relacion entre la cantidad primitiva de aire del recipiente y la que hay despues del esperimento.

Estando el aire de la probeta á la presion de 1 atmósfera cuando su volúmen es 137, si se representa por F su tension cuando el volúmen se ha reducido de 137 á 25, se tiene, segun la ley de Mariotte, $F \times 25 = 137 \times 1$, de donde $F = 5$atm.,48. En cuanto á la altura del mercurio en la probeta, ella equivale, en atmósferas, á $\frac{45}{76} = 0$atm.,59. Equilibrando la tension del aire en el recipiente la presion del aire de la probeta, mas la columna de mercurio que en esta sube, es preciso que dicha tension valga 5atm.,48 + 0atm.,59 = 6atm.,07. Vuelta 6,07 veces mayor la presion del aire en el recipiente, le sucede otro tanto á la masa del aire, y por lo mismo, la relacion que se pedia es $\frac{1}{6,07}$.

LXII.

Un cuerpo pierde de su peso en el aire 7 gramos: ¿cuánto perderia en el ácido carbónico y en el hidrógeno, sabiendo que sus densidades son respectivamete 1,524 y 0,069?

Perdiendo el cuerpo 7 gramos de su peso en el aire, pierde, en un gas dos, tres veces mas denso, dos, tres veces mas; luego en el ácido carbónico pierde $7\text{gr} \times 1,524 = 10\text{gr},668$, y en el hidrógeno $7\text{gr} \times 0,069 = 0\text{gr},483$.

LXIII.

¿Cuánto pesa, á 0 grados y á la presion de 0m,76, el hidrógeno de un globo esférico de 10 metros cuadrados de superficie? Se sabe que el peso especifico del hidrógeno con relacion al del aire es 0,0692, y que el del aire mismo, referido al agua, es $\frac{1}{770}$.

¿Cuánto pesaria el mismo volúmen de hidrógeno, medido á la temperatura de 15° y á la presion de 0m,77? (Se supone conocido el coeficiente de dilatacion de los gases).

Superficie del globo $= 4\pi R^2 = 10$m.cuad., de donde $R = \sqrt{\frac{10}{4\pi}} = \sqrt{0\text{m.c},795772} = 0\text{m},892$.

Representando por V el volúmen del globo, resulta, pues,

$$V = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4 \times 3,1416 \times (0,892)^3}{3} = 2972\text{lit.},330.$$

Si estuviese lleno de agua el globo, su peso seria 2972quil.,330gr.; lleno de aire, que pesa 770 veces menos, su peso será $\frac{2972\text{q},330}{770}$; y por fin, lleno de hidrógeno, cuya densidad con relacion al aire es 0,0692, su peso será

$$\frac{2972\text{q},330 \times 0,0692}{770} = 0\text{quil.},267\text{gr},13.$$

Para obtener el peso del mismo volúmen de hidrógeno á 15°, es preciso observar que la densidad de este gas, que es 0,0692 á la temperatura de cero, es $\frac{0,0692}{1 + 0,003668 \times 15}$ á 15° (261, prob. IV), siendo 0,003668 el coeficiente de dilatacion del hidrógeno. De consiguiente, el peso del hidrógeno á 15° es $\frac{2972\text{q},330 \times 0,0692}{770(1 + 0,003668 \times 15)}$.

LXIV.

Hallar el valor numérico de la presion que ejerce la atmósfera sobre un rectángulo que tiene un lado igual á 0m,26 y la diagonal = 0m,44. Se supone que la altura del barómetro es 0m,76, y la temperatura cero.

El área del rectángulo en centímetros cuadrados es 920c.cuad.,4, y como se sabe que la presion atmosférica sobre un centímetro cuadrado es 1quil.,033gr., la presion que se pide es $1\text{quil.},033 \times 920,4 = 950\text{quil.},773\text{gr}$.

LXV.

Un globo de cristal contiene 8gr,548 de aire; se le llena de protóxido de nitrógeno, cuya densidad es 1,52, siendo 1 la del aire: se pide cuál será el peso del protóxido: 1.° si la presion es la misma en ambos casos; 2.° si la presion del aire es de 0,76 y la del protóxido 0,78. Se supone que la temperatura no varia.

1.° El peso del protóxido de nitrógeno es 8gr,548 $\times$ 1,52 = 12gr,993.

2.° A la presion 0,78, su peso es $\frac{12,993 \times 78}{76} = 13,334$.

LXVI.

Un globo de cristal pesa, estando vacío, 152gr,475; cuando está lleno de aire, pesa 168gr,386, y lleno de otro gas, 157gr,235. Se pide la densidad de este gas, referida á la del aire tomada por unidad, en el caso en que la presion sea invariable. Tambien se pide la correccion que se habrá de hacer si la presion hubiese sido de 0m,77 durante la pesada del aire, y de 0m,74 durante la del gas.

En el primer caso, la densidad del gas es $\frac{157,235 - 152,475}{168,386 - 152,475} = 0,299$.

En el segundo caso, es $\frac{0.299 \times 77}{74} = 0,311$.

LXVII.

En un recipiente de 3 litros se hacen entrar: 1.° 2 litros de hidrógeno á la presion de 5 atmósferas; 2.° 4 litros de ácido carbónico á la presion de 4 atmósferas; 3.° 3 litros de nitrógeno á la presion de $\frac{1}{2}$ atmósfera. Se pide la presion final de la mezcla, suponiendo constante la temperatura durante la esperiencia.

La presion $= \frac{5 \times 3}{3} + \frac{4 \times 4}{3} + \frac{3}{2 \times 3} = 9\text{atm.} + \frac{1}{6}$.

LXVIII.

La campana de una máquina neumática contiene 3lit.,17 de aire; un barómetro que comunica con la parte superior de la campana, marca cero cuando esta está en comunicacion con la atmósfera. Se ajusta la campana, y se hace funcionar la máquina: el mercurio se eleva entonces en el barómetro 0m,65. Un segundo barómetro, colocado cerca de la máquina, ha marcado 0m,76 durante todo el esperimento. Se pide cuál es el peso del aire estraido, y del que ha quedado en la campana, suponiendo cero la temperatura.

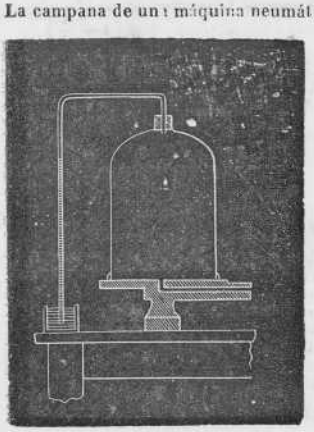


Fig. 566.

A 0° y á la presion de 0m,76, el peso del aire contenido en la campana es

$$1\text{gr},3 \times 3,17 = 4\text{gr},121.$$

A 0° y á la presion $76 - 65 = 11$, el peso del aire que queda todavia en la campana es

$$\frac{1\text{gr},3 \times 3,17 \times 11}{76} = 0\text{gr},596.$$

Luego el peso del aire estraido de la campana (Fig. 566), es 4gr,121 − 0gr,596 = 3gr,525.

LXIX.

El volúmen de aire, en la probeta de una máquina de compresion, es igual á 152 partes. Por el juego de la máquina, este volúmen se reduce á 37 partes, y se ha elevado el mercurio en el tubo manométrico, á 0m,48. Se pide en qué relacion se ha aumentado la cantidad de aire en el recipiente de la máquina.

En la fig. 567, se tiene AB = 152 partes, AC = 37, y BC = 0m,48. Ahora bien, la presion del aire en AC es, pues, segun la ley de Mariotte, $\frac{152}{37} = 4\text{atm.},108 = 3\text{m},122$, puesto que una atmósfera está representada por 0m.76. La presion en el recipiente M, donde se comprime el aire, es, por consiguiente, 3m,122 + 0m,48 = 3m,602. Pero co-

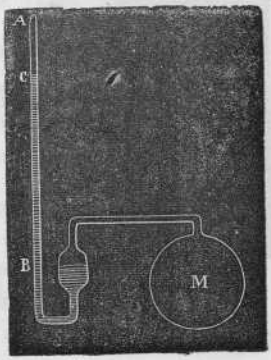


Fig. 567.

mo la masa del aire ha aumentado como la presion, la que actualmente existe en el recipiente es $\frac{3m.602}{0,76}=4,7$. Es decir, que ella se ha hecho 4 y $\frac{7}{10}$ veces mayor.

LXX.

Sabiendo que la capacidad del cuerpo de bomba de una máquina neumática es $\frac{1}{3}$ de la capacidad del recipiente, calcular despues de cuántos pistonazos se habrá reducido la presion interior á $\frac{1}{200}$ de lo que era primitivamente.

Representemos por 1 la presion atmosférica, y por 1 el volúmen del recipiente. Despues de la ascension del piston, este volúmen será $1+\frac{1}{3}$, y por consiguiente, la presion del aire será debajo del recipiente $\frac{1}{1+\frac{1}{3}}$, puesto que ella está en razon inversa del volúmen.

Del mismo modo, al segundo pistonazo, será la presion $\frac{1}{1+\frac{1}{3}}$, de la que era al acabar el primero; es decir, $\frac{1}{1+\frac{1}{3}}$ de $\frac{1}{1+\frac{1}{3}}$, ó bien $\frac{1}{\left(1+\frac{1}{3}\right)^2}$.

Del mismo modo se encontrará que, despues de n pistonazos, la presion es $\frac{1}{\left(1+\frac{1}{3}\right)^n}$.

Se tiene, pues, $\frac{1}{\left(1+\frac{1}{3}\right)^n}=\frac{1}{200}$, de donde $\left(1+\frac{1}{3}\right)^n=200$; ó $\left(\frac{4}{3}\right)^n=200$. Tomando los logaritmos, resulta $n=\frac{log.200}{log.4-log.3}=18,4$.

LXXI.

Un manómetro de aire comprimido está dividido en 110 partes de igual capacidad; cuando la presion esterior es de 0m,76, el mercurio, en el interior del tubo y de la cubeta, permanece en el cero de la escala, se lleva el manómetro debajo del recipiente de una máquina de compresion, y se ve que el mercurio se eleva hasta la 80.ª division; midiendo entonces la altura del mercurio en el tubo, se la encuentra de 0m,45; se pide cuál es la presion en la máquina.

Fig. 568.

Sea P la presion del aire en AB (fig. 568); la porcion de la escala correspondiente á AB siendo 30, se tiene $\frac{P}{76}=\frac{110}{30}$, de donde $P=$ 2m,787. Añadiéndole la altura de 0m,450 del mercurio en el tubo, la presion total es 3m,237.

Para reducirla en atmósferas, no hay mas que dividir 3m,237 por 0m,76, lo cual dá 4atm. $+\frac{1}{4}$.

PROBLEMAS SOBRE LOS COEFICIENTES DE DILATACION.

LXXII.

Han sido observadas dos alturas barométricas, A y B, la una á -10 grados, y la otra á $+15$; se pide la correccion que deberá hacerse para reducirlas ambas á lo que hubieran sido á la temperatura de cero, sabiendo que el coeficiente de dilatacion cúbica del mercurio es $\frac{1}{5550}$. Se supondrá que A vale 737 milímetros, y B 763.

Esta cuestion se resuelve por medio de la fórmula $A = a(1 + Dt)$ (270), tomando t con el signo + para la temperatura sobre cero, y con el — para las bajo cero. De esta última fórmula se obtiene $a = \frac{A}{1 + Dt}$. Esta da para el barómetro A, $a = 737 \times \frac{5550}{5550 - 10} = 738^{mm},3$; y para el B, $a = 763 \times \frac{5550}{5550 + 15} = 760^{mm},9$.

LXXIII.

Se tiene una barra de 3 metros de un metal, cuyo coeficiente de dilatacion es $\frac{1}{754}$; otra de 5 metros, de otro metal, se dilata para un mismo número de grados, tanto como la primera. Averigüese su coeficiente de dilatacion.

Sea K el coeficiente de dilatacion de esta segunda barra, su prolongacion total por cada grado será $5 \times K$ (260), y el de la primera barra $3 \times \frac{1}{754}$; se tiene

$$5 \times K = 3 \times \frac{1}{754}, \text{ de donde } K = \frac{3}{3770}.$$

LXXIV.

Se eleva á 64 grados un cuadrado de palastro de 3 metros de lado, desde cero, y se pide á cuánto ascenderá su superficie, sabiendo que el coeficiente de dilatacion del hierro es 0,0000122.

Representando por l el lado dado á cero, por l' el mismo lado á t grados, y por k el coeficiente de dilatacion del hierro, se tiene la fórmula conocida (260)

$$l' = l(1 + kt),$$

por medio de la cual se encuentra el lado l' á 64 grados, haciendo en ella $l = 3$, $t = 64$, y por $k = 0,0000122$, de modo que resulta

$$l' = 3(1 + 0,0000122 \times 64) = 3^{m},0023424.$$

Ahora bien, siendo igual la superficie de un cuadrado al producto de un lado por sí mismo, la superficie en cuestion es $(3^{m},0023424) = 9^{m}.cuad.,04^{d}.cuad.,41^{c}.cuad.$

LXXV.

Se quiere fabricar con acero y laton un péndulo compensador, cuya longitud constante sea de $0^{m},50$. Se sabe que el coeficiente de dilatacion del acero que se usa es de 0,000010788, y el del laton de 0,000018782. Se pide la disposicion que deberá darse á este péndulo y las longitudes que requieren las dos barras para que haya la debida compensacion.

Para satisfacer las condiciones de este problema, es preciso: 1.° que la varilla del péndulo se componga de un sistema de barras de laton y de acero, dispuestas de modo que su dilatacion se produzca en sentido contrario; 2.° que las longitudes respectivas del laton y del acero esten en razon inversa de sus coeficientes de dilatacion (263). Se satisfacen estas condiciones disponiendo el péndulo conforme ya sabemos (fig. 172).

Representando por x la longitud total de las barras de acero, y por y la de las de laton, se tendrá, segun la ecuacion [1] del párrafo 263, $x - y = 50^{c}$ [1].

Además, debiendo estar en razon inversa de los coeficientes las longitudes x é y, resulta $\frac{x}{y} = \frac{18782}{10788}$ [2].

Resolviendo las ecuaciones [1] y [2], se encuentra $x = 1^{m},1747$, é $y = 0^{m},6747$.

LXXVI.

Una vasija esférica de un radio interior igual á $\frac{2}{3}$ de metro, á 0 grados, está formada de una materia cuyo coeficiente de dilatacion lineal vale $\frac{1}{2500}$: se piden los quilógramos de mercurio que dicha vasija contiene: 1.° á 0 grados, y 2.° á 25 grados.

Sean R el radio de la vasija, V su volúmen á cero, V' su volúmen á t, y K su coeficiente de dilatacion lineal; el radio, á t, será $R(1 + Kt)$ (260), y se tendrá

$$V=\frac{4\pi R^3}{3},\ \text{y}\ V'=\frac{4\pi R^3(1+Kt)^3}{3};\ \text{de donde}\ V'=\frac{4\pi R^3(1+3Kt+3K^2t^2+K^3t^3)}{3}.$$

Siendo $K=\frac{1}{2500}$, los términos que contienen K^2 y K^3 son bastante pequeños para despreciarlos, y así sale $V'=\frac{4\pi R^3(1+3Kt)}{3}$.

Reemplazando R, K y t por sus valores, se tiene

$$V=1241\text{lit.},11\ \text{y}\ V'=1278\text{lit.},333.$$

La densidad del mercurio á 0° es 13,596, y la del mismo cuerpo á 25° $\frac{13,596}{1+\frac{1}{5550}\times 25}$ $=13,535$ (261). Por lo tanto, el peso del mercurio á 0° es $1241\text{lit.},11\times 13,596=16863\text{quil.},996$, y el peso á 25° es $1278,333\times 13,535=17302\text{quil.},237\text{gr}$.

LXXVII.

Una vasija esférica de 0m,25 de diámetro está llena de gas hidrógeno á la temperatura de 35 grados y á la presion de 0m,78. Se pide el peso del gas y su volúmen si la temperatura baja á —5 grados y la presion atmosférica á 0m,74.

El volúmen de la vasija $=\frac{4\pi R^3}{3}=\frac{4\times 3,1416\times(0\text{m},125)^3}{3}=8\text{lit.},18125$. Ahora 1lit. de aire á 0° y á la presion de 0m,76 pesa 1gr,3, y de consiguiente, 1lit. de hidrógeno á las mismas temperaturas y presion pesa 1gr,3 multiplicado por la densidad del hidrógeno, es decir, $1\text{gr},3\times 0,0692$. A la presion de 0m,78, el peso de un litro de hidrógeno es, pues, $\frac{1\text{gr},3\times 0,0692\times 78}{76}$; y por fin, á esta última presion y á 35°, su peso es $\frac{1\text{gr},3\times 0,0692\times 78}{76(1+0,003668\times 35)}$ (278, prob. VI); y el del hidrógeno de la vasija $\frac{1\text{gr},3\times 0,0692\times 78\times 8\text{lit.},181}{76(1+0,003668\times 35)}=0\text{gr},6686$.

Para pasar del volúmen á 35° al á —5°, se usará la fórmula $V'=\frac{V(1-\alpha t')}{1+\alpha t}$ (273, problema III), dando á t' el signo —, de modo que el volúmen á —5° y á la presion de 0m,74 es

$$\frac{8\text{lit.},181\ (1-0,003668\times 5)\times 78}{(1+0,003668\times 35)\,74}.$$

LXXVIII.

Una barra formada de un metal cuyo coeficiente de dilatacion lineal es $\frac{1}{754}$ tiene dos metros de longitud. Se pide la longitud que deberia darse á una barra de otro metal, cuyo coeficiente de dilatacion es $\frac{1}{1150}$, á fin de que su dilatacion total, para un grado, fuese igual á la de la primera.

Representando por l la longitud buscada, se tiene $l\times\frac{1}{1150}=2\times\frac{1}{754}$, de donde $l=3\text{m},050$.

LXXIX.

Una barra de 7m, formada de un metal cuyo coeficiente de dilatacion es $\frac{1}{735}$, se dilata tanto como otra barra de 9m de un metal distinto. Se pide el coeficiente de dilatacion de este último metal.

Sea K el coeficiente de dilatacion que se busca, será

$$K\times 9=7\times\frac{1}{735},\ \text{de donde}\ K=\frac{1}{945}.$$

LXXX.

El peso de la atmósfera hace subir el mercurio á 0m,76 en el barómetro, á la temperatura

de 0 grado; se pide: 1.° la altura del mercurio si la temperatura fuese de 25°, siendo $\frac{1}{5550}$ el coeficiente de dilatacion de este líquido; 2.° la altura, á 0°, del alcohol, cuya densidad es 0,79. Se sabe que la densidad del mercurio es 13,6.

1.° Representando por A la altura del barómetro á 25°, y por a la misma á cero, la fórmula $A = a\left(1 + \frac{t}{5550}\right)$ (270) da $A = 76\left(1 + \frac{25}{5550}\right) = 76c,34$.

2.° Estando en razon inversa de su densidad las alturas de mercurio y de alcohol que equilibran la presion atmosférica, si se representa por a' la columna de alcohol, resulta

$$a' \times 0,79 = 76 \times 13,6, \text{ de donde } a' = \frac{76 \times 13,6}{0,79} = 13m,0835.$$

LXXXI.

Un globo vacío pesa 137gr,435; lleno de aire, 145gr,237; de otro gas, 152gr,118. Se pide: 1.° la densidad del gas con relacion al aire, no variando la presion ni la temperatura; 2.° la misma densidad en el caso en que la presion hubiese sido de 0m,75, durante la pesada del aire, y de 0m,77 durante la del otro gas; 3.° correccion que deberia hacerse si la temperatura hubiese sido de 8 grados mientras se pesaba el aire, y de 11° mientras se hacia lo mismo con el otro gas.

1.° 145,237 — 137,435 = 7gr,802; 152,118 — 137,435 = 14gr,683; densidad del gas =

$$\frac{14,683}{7,802} = 1,8806.$$

2.° El peso del aire á 0c,75 de presion es 7gr,802; á la de 76c es $\frac{7,802 \times 76}{75}$; el del gas, á la presion 76, es $\frac{14,683 \times 76}{77}$; luego, la densidad del gas en el segundo caso es

$$\frac{14,683 \times 75}{7,802 \times 77} = 1,8337.$$

3.° Seria preciso reducir el peso de los dos gases á cero, multiplicando el peso del aire por $1 + 0,00366 \times 8$, y el del gas por $1 + 0,00366 \times 11$.

LXXXII.

Siendo la dilatacion lineal del hierro 0,0000122 de su longitud á cero por cada grado de calor, ¿cuál seria á 60 grados la superficie de un disco circular de palastro que, á cero, tiene 2m,75 de diámetro?

$$S = \pi R^2(1 + kt)^2 = 3,1416 \times (1m,375)^2(1 + 0,0000122 \times 60)^2 = 5m.cuad.,94d.cuad.,83c.cuad.$$

LXXXIII.

Un globo de cristal pesa, estando vacío, 263gr,525; lleno de aire á la temperatura de 4° y presion de 0m,76, pesa 375gr,826; ¿cuál es su capacidad? El mismo globo lleno de un gas á 4° pesa 293gr,687, siendo la presion de 0m,81; ¿cuál es el peso de este gas á la temperatura de 4° y presion de 0m,76?

1.° El peso del aire contenido en el globo á 4° es 375gr,826 — 263gr,525 = 112gr,301.

Pero un litro de aire á 4° pesa $\frac{1gr,3}{1 + 0,00366 \times 4} = \frac{1gr,3}{1,01464}$.

Luego el volúmen del globo á 4° es $112,301 : \frac{1gr,3}{1,01464} = 87lit.,650$.

2.° A 4° y presion de 0m,81, el peso de un litro del gas es

$$\frac{293gr,687 - 263gr,525}{87lit.,650} = \frac{30gr,162}{87lit.,650},$$

luego, á la presion de 0m,76, será $\frac{30gr,162}{87lit.,650} \times \frac{76}{81} = 0gr,322$.

LXXXIV.

Se da una barra de plomo que se dilata tanto como una barra de acero de tres metros de longitud; se sabe que el coeficiente de dilatacion del plomo es $\frac{1}{351}$, y el del acero $\frac{1}{327}$; ¿cuál es la longitud de la barra de plomo?

$$l = 3\text{m},220.$$

LXXXV.

A qué temperatura pesa un litro de aire seco 1 gramo, bajo la presion de 0m,77, siendo el coeficiente de dilatacion del aire 0,00366, y el peso de un litro de aire seco, á 0° y presion de 0m,76, 1gr,299.

Se tiene $\frac{1,299 \times 77}{(1 + 0,00366 \times t)\,76} = 1\text{gr.}$, de donde $t = 86°$.

LXXXVI.

Siendo el peso específico del mercurio á 0° 13,59, se desea saber cuál será á 85° el volúmen de 30quil. de este metal. Se tomará para coeficiente de dilatacion del mercurio $\frac{1}{5550}$.

El volúmen á cero es $\frac{P}{D} = \frac{30}{13,59}$, de donde el volúmen á 85° será

$$\frac{30}{13,59}\left(1 + \frac{1}{5550} \times 85\right) = 2\text{lit.},241.$$

LXXXVII.

La relacion entre el peso específico del cobre á cero, y el del agua á 4°, es 8,88. El coeficiente de dilatacion cúbica del cobre es $\frac{1}{58200}$, y la fraccion que representa la dilatacion total del agua entre 4° y 15° es $\frac{1}{1360}$. Bajo este supuesto, se pregunta cuál será, á 15°, la relacion de los pesos específicos de estos dos cuerpos.

Siendo 1 el peso del agua á 4°, á 15° será $\frac{1}{1 + \frac{11}{1360}}$ (261, prob. IV.)

A cero el cobre pesa 8,88, á 15° pesará $\frac{8,88}{1 + \frac{15}{58200}}$. Luego el peso específico del cobre á 15° será

$$\frac{8,88}{1 + \frac{15}{58200}} : \frac{1}{1 + \frac{11}{1360}} = \frac{8,88 \times 58200}{58215} \times \frac{1371}{1360} = 8,94.$$

LXXXVIII.

Se tienen dos termómetros de mercurio construidos con el mismo cristal; el uno tiene una esfera cuyo diámetro interior es 0m,0075, y un tubo cuyo diámetro interior es 0m,0025; el otro tiene una esfera de 0m,0062 de diámetro, y un tubo de 0m,0015 de diámetro interior. Se desea saber cuál es la relacion de longitud de un grado del primer termómetro y un grado del segundo.

Sean A y B los dos termómetros dados, D y D′ los diámetros de las esferas, d y d' los diámetros de los tubos. Si se concibe un tercer termómetro C que tenga igual reservatorio que B é igual tubo que A, y si representamos por l, l', l'' las longitudes respectivas de un grado en los tres termómetros, se tienen las proporciones $l : l'' :: D^3 : D'^3$, y $l'' : l' :: d'^2 : d^2$; multiplicándolas ordenadamente, resulta $l : l' :: D^3 d'^2 : D'^3 d^2$.

Sustituyendo á las letras sus valores, se encuentra $\frac{l}{l'} = \frac{421875 \times 225}{238328 \times 625} = 0,63.$

LXXXIX.

En 25quil.,45 de agua á 12°,5, se introducen 6quil.,17 de un cuerpo á la temperatura de 80 grados; la mezcla mide 14°,17; se pide el calórico especifico de este cuerpo.

Representando por c el calórico específico que se pide, sale (337)

$$6\text{quil.},17\ (80-14,17)\ c=25\text{quil.},45\ (14,17-12,5);\ \text{de donde}\ c=0,104.$$

XC.

La capacidad calorífica del oro es 0,0298, sirviendo de unidad la del agua. Se pide el metal necesario, á 45 grados, para hacer subir de 12°,3 á 15°,7, la temperatura de 1quil.,000gr,58 de agua.

Sea x el peso que se busca en quilógramos. Segun la fórmula conocida $m\ (t'-t)\ c$ (336), el calor que el oro cede al enfriarse de 45 grados á 15°,7 es $x\ (45-15,7)\ 0,0298$, y el que el agua absorbe al calentarse de 12°,3 á 15°,7, es 1quil.,00058 (15,7 — 12,3). Siendo necesariamente igual la cantidad de calor que el oro cede á la que el agua absorbe, tenemos

$$x\ (45-15,7)\ 0,0298=1\text{quil.},00058\ (15,7-12,3);\ \text{de donde}\ x=3\text{quil.},896.$$

XCI.

Se introduce en 2 litros de agua á 4 grados una esfera de platino de 0m,05 de radio á 95 grados: se pide la temperatura del agua, una vez establecido el equilibrio. La capacidad calorífica del platino es 0,0324, su coeficiente de dilatacion 0,000008842, y su densidad 22,07.

Sean V' el volúmen de la esfera á 95 grados, y V el mismo á cero; tenemos

$$V'=V\ (1+Kt),\ \text{de donde}\ V=\frac{V'}{1+Kt}.$$

$$\text{Pero}\ V'=\frac{4\pi R^3}{3}=\frac{4\times 3,141592\times 125\text{cent.cub.}}{3}=523\text{cent.cub.},598.$$

$$\text{De donde}\ V=\frac{523,598}{1+0,000008842\times 95}=523\text{cent.cub.},158.$$

El peso de la esfera de platino es, pues, $P=523\text{cent.cub.},158\times 22,07=11\text{quil.},546\text{gr.}$

De consiguiente, la masa de platino, al enfriarse de 95 á x grados, cede, segun la fórmula $m\ (t'-t)\ c$ (336), una cantidad de calor igual á $11\text{quil.},546\times(95-x)\times 0,0324$, y los dos litros de agua, al calentarse de 4 á x grados absorben $2\times(x-4)$.

Tenemos, pues, $2\ (x-4)=11,546\times 0,0324\ (95-x)$; de donde $x=18°,3$.

XCII.

Un globo esférico de 0m,14 de radio está lleno de mercurio á 70 grados; se vierte este en agua á 4 grados, que llena hasta la mitad una vasija cilíndrica de 0m,40 de altura y 0m,20 de radio. Se sabe que la capacidad calorífica del mercurio es 0,0330. Se pide la temperatura de la mezcla, despreciando la de las paredes de la vasija.

Sean V el volúmen del globo, y R su radio, se sabe, en geometría, que el volúmen de la esfera es $V=\frac{4\pi R^3}{3}$. Tendrémos, pues, segun los datos del problema,

$$V=\frac{4\times 3,1416\times 2\text{d.cúb.},744}{3}=11\text{d.cúb.},494.$$

Si se toma como densidad del mercurio 13,6, se tendrá su densidad á 70 grados por la fórmula $d'=\frac{d}{1+Kt}$ (261), la cual dá $d'=\frac{13.6}{1+\frac{70}{5550}}=13,4306$.

De consiguiente, el peso del mercurio del globo es

$$11\text{d.cúb.},494\times 13,4306=154\text{quil.},371\text{gr.}$$

El semi-volúmen del cilindro es igual $\frac{\pi R^2 A}{2}=\frac{3,141592\times 4\times 4}{2}=25\text{d.cúb.},133$, y el peso del agua que contiene es 25quil.,133.

Ahora bien, si se representa por t la temperatura de la mezcla, el agua ha absorbido

una cantidad de calor representada por 25quil.,133 $(\theta-4)$ y la cedida por el mercurio, por $154,371\times0,033\,(70-\theta)$, segun las fórmulas del párrafo 337. Tenemos, pues, la ecuacion $154,371\times0,033\,(70-\theta)=25,133\,(\theta-4)$; de donde $\theta=15°,12$.

XCIII.

Calcular el poder calorífico del esterio de leña que pesa 400 quilógramos, y que se compone de una mezcla de madera de roble y de abeto, sabiendo que el metro cúbico de la primera pesa 450 quilógramos, y 325 el de la segunda; y que la cantidad de agua que sube de 0° á 100° por la combustion de un metro cúbico de leña, es 12150 quilógramos para el roble, y 8775 quilógramos para el abeto.

Sean x el volúmen de roble que entra en el esterio, é y el de abeto, tendrémos $x+y=1$ [1]. Pesando 450 quilógramos un metro cúbico de roble, el volúmen x pesa $450x$; y el volúmen y de abeto $325y$; de modo que $450x+325y=400$ [2].

Resolviendo las ecuaciones [1] y [2], sale $x=\frac{3}{5}$ é $y=\frac{2}{5}$.

Siendo el poder calorífico de un metro cúbico de roble 12150, el del volúmen x es $12150\times\frac{3}{5}$, y el de y es $8775\times\frac{2}{5}$; de modo que el poder calorífico que se pide es

$$\frac{12150\times3+8775\times2}{5}=10800.$$

PROBLEMAS SOBRE LOS CALÓRICOS LATENTES.

XCIV.

¿Cuántos quilógramos de hielo á cero se necesitarian para hacer subir á 10 grados centígrados el agua de un pilon de borde circular y de fondo horizontal, cuya circunferencia superior fuese de 8m,30, la inferior de 6m,15, y la altura de 1m,76; estando el pilon lleno de agua hasta la mitad de su altura, y el agua del mismo á 30 grados?

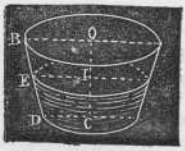


Fig. 569.

Sean R el radio OB (fig. 569) de la base superior, r el CD de la inferior, r' el medio IE, y a la altura IC del líquido del pilon. Segun el enunciado

$$R=\frac{8,30}{2\pi}=1m,3210,\ r=\frac{6,15}{2\pi}=0m,9788,\ IC=0m,88,\ y\ r'=\frac{R+r}{2}=1m,1499.$$

Siendo el volúmen V del líquido el de un tronco de cono, cuya altura es a, y los radios de las bases r y r', tenemos, segun un teorema de geometría bien conocido, $V=\frac{\pi a}{3}(r'^2+r^2+rr')$; de donde reemplazando las letras por sus valores, se tiene

$$V=\frac{3,1416\times0,88}{3}[(1,1499)^2+(0,9788)^2+1,1499\times0,9788].$$

Efectuando los cálculos, V=3m.cúb.,138,583, volúmen que representa un peso de agua de 3138quil.,583gr.

Sea ahora x el peso de hielo necesario para enfriar dicha masa de agua de 30 á 10 grados. Como se ha visto (345) que al fundirse un quilógramo de hielo absorbe 79 unidades de calor, x quilógramos de hielo absorben $79x$, para dar x quilógramos de agua á cero. Segun los datos de la cuestion, debe pasar esta última masa á 10 grados, y absorbe además una cantidad de calor igual á $10x$ (336). Por otra parte, el calor que cede el agua es igual á $3138quil.,583\times(30-10)$, ó 62771,6. Tenemos, pues, la igualdad

$$79x+10x=62771,6,\ \text{de donde}\ x=705quil.,300.$$

XCV.

Buscar los quilógramos de vapor de agua necesarios para elevar un baño de 246 quilógramos de agua de 13 á 28 grados, sabiendo que el calor latente del vapor de agua es 540.

Sea x el peso del vapor que se pide; 1 quilógramo de vapor que se condensa para dar uno de agua á 100 grados, cede 540 unidades de calor, luego x quilógramos cederán $540\times x$; además, los x quilógramos de agua que se forman, al enfriarse en seguida de 100 á 28 gra-

dos, ceden á su vez un número de unidades representado por $(100-28)x$ (336). Los 246 quilógramos de agua que constituyen el baño en que se condensa el vapor, al calentarse entonces de 13 á 28 grados, absorben una cantidad de calor igual á $246(28-13)$. Tenemos, pues, la ecuacion $540x+(100-28)x=246(28-13)$, ó $(540+72)x=246\times15$; de donde $x=6$quil.,029gr.

XCVI.

Buscar los quilógramos de vapor de agua necesarios á 100 grados para elevar 20 quilógramos de agua de cero á 90 grados.

Sea x el número de quilógramos que se pide, siendo 540 (346) el calórico latente del vapor de agua, x quilógramos de vapor, al condensarse para dar x quilógramos de agua á 100°, emiten $540x$ unidades de calor (336), y x quilógramos de agua al enfriarse de 100 á 90 grados, dan $10x$ unidades; luego 20 quilógramos de agua, calentándose de 0° á 90°, absorben 20×90 unidades; y así, $540x+10x=20\times90$, de donde $x=3$quil.,272gr.

XCVII.

Se introduce una esfera de hielo de 134 milímetros de radio en un baño de 20 litros de agua á 80 grados; se pide la temperatura del baño despues de la fusion del hielo (prescindiendo de la densidad del agua á 4° y á 80°), sabiendo que es 79 el calórico latente del hielo.

Representando por V el volúmen de la esfera, y por R su radio, sale

$$V=\frac{4\pi R^3}{3}=\frac{4\times3,1416\times(0m,134)^3}{3}=10d.cúb.,078688.$$

Siendo 0,93 la densidad del hielo (116), el peso de la esfera es

$$10,078688\times0,93=9quil.,373.$$

Llamando θ la temperatura del baño, despues de la fusion, resulta (347),

$$20(80^\circ-\theta)=79\times9,373+9,373\,\theta,\text{ de donde }\theta=29^\circ,26.$$

XCVIII.

Una cuba cilíndrica, de fondo plano y horizontal, tiene 1m,30 de diámetro y 0m,75 de altura interiormente: está medio llena de agua á 4 grados, y se calienta este líquido haciendo que llegue á él vapor á 100 grados producido por 5quil.,250 de agua. Se pide la temperatura y el volúmen á que llegará el baño así calentado. Se despreciará la temperatura de la vasija, y se tomará $\frac{1}{2200}$ como coeficiente de dilatacion del agua.

El volúmen del agua $=\pi R^2\times\frac{A}{2}=3,1416\times(0m,65)^2\times\frac{0m,75}{2}=497$lit.,747. Siendo θ la temperatura final, y 540 el calórico de vaporizacion del agua, resulta (347, prob. V).

$$5quil.,250\times540+5,250(100-\theta)=497,747(\theta-4);\text{ de donde }\theta=10^\circ,6.$$

El volúmen total de agua, despues de la condensacion, seria, á 4 grados,

$$497lit.,747+5lit.,250=502,997.$$

A 0°, el volúmen es, pues, $\dfrac{502,997}{1+\frac{1}{2200}\times4}$, y á 10°,6, es

$$\frac{502,997\times\left(1+\frac{10,6}{2200}\right)}{1+\frac{4}{2200}}=504lit.,503.$$

XCIX.

Se mezclan 7 quilógramos de hielo á cero grados con 30 de agua á 47 grados, ¿cuál será la temperatura de la mezcla?

Sea θ la temperatura que se pide: siendo 79 el calórico de fusion del hielo, se tiene, para el calor absorbido por la fusion de 7 quilógramos, 79×7; además, calentándose en seguida el agua que así se obtiene de 0° á θ, absorbe 7θ. En cuanto á los 30 quilógramos de agua, se enfrian de 47° á θ, y dan entonces $30(47-\theta)$. Resulta, pues, $79\times7+7\theta=30(47-\theta)$, de donde $\theta=23^\circ,16$.

C.

Suponiendo igual á 540 el calor latente del vapor de agua, se pide la temperatura á que subirán 20 litros de agua á 4 grados, condensando en ella 1 quilógramo de vapor á 100 grados y á la presion de 0m,76.

Sea θ la temperatura final, el calor que cede 1 quilógramo será de 540, y el que emite el agua que resulta de la condensacion, será $100-\theta$, y tendrémos, pues, $540+100-\theta=20(\theta-4)$, de donde $\theta=34°,28$.

CI.

¿Cuántos quilógramos de hielo á 0° son necesarios para bajar á cero 25 quilógramos de vapor desprendidos de un aparato en el que el termómetro marca 100° y el barómetro 0m,76?

Se tiene $79x=25\times540+25\times100$, de donde $x=202$quil.,532gr.

CII.

¿Cuánto vapor de agua, á 100°, es necesario para elevar de 8° á 25° el agua contenida en una cuba cilíndrica de fondo plano, de 1m,25 de radio, y que forme una capa de 0m,75 de altura?

El volúmen del agua es $\pi R^2A=3681$lit.,562. Si se representa por P el peso buscado, se tendrá $540P+(100-25)P=3681$quil.,562$(25-8)$, de donde $P=101$quil.,766.

CIII.

Siendo 540° el calórico latente del vapor de agua, se pide á qué temperatura se habrán de elevar 20 litros de agua tomada á 4°, para condensar en ellos 1 quilógramo de vapor á 100° bajo la presion de 0m,76.

Se tiene $1\text{quil.}\times540+1\text{quil.}\times(100-t)=20(t-4)$, de donde $t=34°,28$.

CIV.

Se han mezclado once quilógramos de hielo á 0° con P quilógramos de agua á 45°, la mezcla ha tomado la temperatura de 12°; se desea saber el peso P.

Se tiene $P(45-12)=79\times11+12\times11$, de donde $P=30$quil.,333gr.

CV.

Una vasija metálica que pesa 350 gramos, contiene 32quil.,50 de agua á 14°,5; el calórico especifico del metal 0,12, siendo 1 el del agua; en el agua de esta vasija se introducen 8quil.,25 de otro metal á la temperatura de 60°,5, y la temperatura del agua se ha elevado á 15°,4; se pide el calórico especifico del último metal.

Segun una fórmula conocida (337), se tiene $c=\dfrac{(m+m'c')(\theta-t)}{M(T-\theta)}$, en la cual, sustituyendo, se tendrá $c=\dfrac{(32\text{q.}5+0\text{q.}35\times0,12)(15°,4-14°,5)}{8\text{quil.},25(60°,5-15°,4)}=0,0787$.

CVI.

En una cierta cantidad de agua á 14°, se han hecho condensar 25 quilógramos de vapor de agua hirviendo á la presion ordinaria de la atmósfera, y habiéndose elevado la temperatura del agua á 61°,4, se pide el peso de esta agua, despreciando el calor empleado en calentar la vasija. Se sabe, además, que el calórico latente del vapor acuoso es 530.

$P=302$quil.,446gr.

CVII.

En 300 litros de agua á 14°, se han hecho condensar 25 quilógramos de vapor de agua hirviendo á la presion de 0m,76; habiéndose elevado entonces la temperatura del agua á 61°,4, se pide cuál es el calórico latente del vapor de agua.

$x=530,2$.

CVIII.

Se mezclan 3quil.,5 de hielo á 0° con 45quil. de agua á 32°. Se pide la temperatura de la mezcla.

Se tiene $45(32-t)=3,5\times79+3,5t$, de donde $t=23°,9$.

CIX.

Se mezcla 1quil. de agua á 0° con 1quil. de mercurio á 100°, y se encuentra que la temperatura de la mezcla es 3°; ¿cuál es la capacidad calorífica del mercurio?

$$c = 0{,}0309.$$

PROBLEMAS SOBRE LOS VAPORES.

CX.

En una vasija vacía de 2lit.,02 de capacidad, se ha introducido primero 1 litro de aire seco á la presion de 0m,76, y luego agua en tal cantidad que quedan definitivamente 20 centímetros cúbicos en el estado líquido. Se pide la presion interior, suponiendo que la temperatura sea de 30° al hacer el esperimento, y que la tension máximum del vapor de agua, á esta temperatura, sea de 0m,031.

Reducida la capacidad del globo por los 20 centímetros de agua que en ella quedan en el estado líquido, solo existen en realidad 2lit.,02 — 0lit.,020 = 2lit. Se ha doblado, pues, el volúmen de aire, y de consiguiente, su tension, que era 0m,76, no es mas que 0m,38, segun la ley de Mariotte. Agregando á esta presion la del vapor, que es de 0m,031, resulta 0m,411 para la presion interior.

CXI.

Cierta cantidad de aire pesa 5gr,2, á la temperatura de 0° y presion de 0m,76. Se la calienta á 30° á la presion de 0m,77, permitiéndole que se sature de vapor de agua. Se pide el volúmen que entonces ocupará. La tension máxima del vapor á 30° es 0m,0315, y se tomará 1gr,3 para peso del litro de aire seco á la temperatura de 0° y presion de 0m,76.

Pesando 1gr,3 un litro de aire seco, el volúmen que corresponde á 5gr,2, es $\frac{5{,}2}{1{,}3} = 4$ litros, á 0 grado y á la presion de 0m,76. A 30°, el volúmen es, pues, $4(1 + 0{,}000366 \times 30)$; volúmen que, á la presion de 0m,77, seria $\frac{4 \times 76(1 + 0{,}00366 \times 30)}{77}$, estando seco el aire. Pero cuando se halla este saturado de vapor, cuya tension es 0m,0315, esta tension, mas la fuerza elástica del aire, son las que, en virtud de la segunda ley de las mezclas de los gases y de los vapores (313), equilibran la presion de 0m,77 — 0m,0315, y de consiguiente, el volúmen que se pide es $\frac{4 \times 76(1 + 0{,}00366 \times 30)}{77 - 3{,}15} = 4$lit.,68.

CXII.

El peso de un litro de aire á 0° y presion de 0m,76, es 1,299, y la densidad del vapor de agua es $\frac{5}{8}$ con relacion al aire. Bajo este supuesto, se pide cuál es á 30° y presion de 0m,77, el peso de un metro cúbico de aire cuyo estado higrométrico es $\frac{3}{4}$, la tension máxima del vapor á 30° siendo 0m,0315.

Para resolver este problema, es menester buscar desde luego el peso de un metro cúbico de aire seco á 30°, y á la presion de (0m.77 — 0m,0315); luego el peso de un metro cúbico de vapor saturado cuya tension sea 0m,0315, y deducir el peso de un metro cúbico de vapor no saturado, á la misma presion y estado higrométrico de $\frac{3}{4}$; la suma del primero y último peso será el peso pedido.

1.° Segun el enunciado, 1 metro cúbico de aire seco á 0° y presion de 0m,77 — 0m,0315 = 0m,7385, pesa $\frac{1299 \times 73{,}85}{76}$, y á 30 grados el mismo volúmen pesa $\frac{1299 \times 73{,}85}{(1 + 30\alpha)76}$ [1].

2.° El peso de un metro cúbico de aire seco, á 30° y presion de 0m,0315, siendo $\frac{1299\text{gr} \times 3{,}15}{(1 + 30\alpha)76}$, el de un metro cúbico de vapor saturado, cuya densidad es $\frac{5}{8}$, y que está tomado á la misma temperatura y tension, es $\frac{1299 \times 3{,}15 \times 5}{(1 + 30\alpha)76 \times 8}$; luego para el vapor no sa-

turado cuyo estado higrométrico es $\frac{3}{4}$ (328), á temperatura y presion iguales á las indicadas, el peso de un metro cúbico es $\frac{1299 \times 3,15 \times 5 \times 3}{(1+30\alpha)\,76 \times 8 \times 4}$ [2].

Sumando las fórmulas [1] y [2], se tiene el peso pedido,

$$\frac{1299\text{gr.}}{(1+30\alpha)\,76}\left\{73,85+\frac{3,15\times5\times3}{8\times4}\right\}=1160\text{gr},100.$$

APENDICE.—SEGUNDA PARTE.

ENUNCIADOS
DE PROBLEMAS
DADOS COMO OBJETO DE COMPOSICION
Á LA FACULTAD DE CIENCIAS DE PARIS.

I.—Un pedazo prismático de hielo, flotando en el mar, se eleva á 6 metros sobre su superficie. Se pide la altura total del prisma, tomando 1,026 por densidad del agua del mar, y 0,80 por la del hielo.

II.—Un cuerpo poroso tiene por densidad 0,854; su volúmen es de 0m,cuad.,13; ¿cuánta agua debe él absorber para sumergirse completamente en este líquido?

III.—¿Cuál es la relacion de los pesos x é y de dos cilindros de hierro y de platino que seria menester reunir para que el conjunto se equilibrase en medio del mercurio, siendo 21 la densidad del platino, 13,6 la del mercurio, y 7,8 la del hierro?

IV.—Se coloca un cuerpo en uno de los platillos de una balanza, y en el otro, pesos que ascienden á 240gr. para que haya equilibrio. Cambiando luego el cuerpo de platillo, se necesitan 280gr. para equilibrarle. ¿Cuál es el peso del cuerpo?

V.—Se hace funcionar una máquina neumática hasta que la tension, que era 0m,75, sea de 0m,15; la campana tiene 6lit.,45 de capacidad, y el cuerpo de bomba 1lit.; suponiendo constante la temperatura, ¿cuál es, por lo menos, el número de golpes de piston que se necesita?

VI.—Espresar en grados centígrados la diferencia entre —15°R y —10°F.

VII.—Dos cuerpos de bomba verticales y cilíndricos comunican entre sí por un tubo horizontal, el uno tiene 10 centímetros cuadrados de seccion, y el otro 2 decímetros cuadrados: para que el agua esté en equilibrio en este aparato, cuando sobre la superficie del líquido, en el mayor cuerpo de bomba, descanse un piston cargado con 200 quilógramos, ¿qué esfuerzo se necesitará hacer sobre la superficie del líquido del menor cuerpo de bomba para impedir el descenso del piston en el gran cuerpo de bomba?

VIII.—Un barómetro marca 0m,775, á la temperatura de 15°,2; esta altura está tomada sobre una regla metálica cuyo coeficiente de dilatacion es $\frac{1}{21000}$; el coeficiente de dilatacion absoluta del mercurio es $\frac{1}{5550}$; se pide la altura del barómetro reducida á cero.

IX.—¿Cuál seria la altura de la capa de agua de lluvia necesaria para fundir una capa de hielo, á 0°, de un espesor de 0m,05, suponiendo el agua de lluvia á la temperatura de 15 grados?

X.—Un vaso de laton que pesa 100 gramos, contiene 200 gramos de agua á 0°, y 100 gramos de hielo tambien á 0°. Se pregunta cuánto vapor de agua á 100° y presion de 0m,76 seria necesario para fundir el hielo, y elevar la temperatura de la mezcla á 10°.

La capacidad calorífica del laton es 0,0939; el calórico de fusion del hielo 79°,25; y el calor latente del vapor de agua 537.

ENUNCIADOS DE PROBLEMAS DADOS EN LAS FACULTADES DE CIENCIAS DE PROVINCIA.

I.—Un líquido de 1,82 de densidad llena una vasija que tiene interiormente la forma de un tronco de cono; la altura de este tronco vale 20 centímetros, y los radios de las bases 12 y 15. Determínense el volúmen y el peso del líquido de la vasija.

II. — Calcúlese en quilógramos la presion atmosférica sobre una esfera de 675 centimetros de radio, siendo la altura barométrica de 720 milimetros.

III. — Una esfera que tiene 0m,25 de radio, pesa 561quil.,731; se pide la densidad de la materia de la esfera.

IV. — Se da una vasija cilíndrica de 31 centimetros de altura y de 50 centimetros de diámetro. Sus paredes metálicas tienen 1 centimetro de espesor y una densidad igual á 7.

1.° Averiguar en gramos el peso de la vasija;

2.° Calcular, en centimetros, la altura de la porcion de vasija que se sumergiria introduciéndola en el agua.

V. — Un cono de 15 decimetros de altura y de 6 decimetros de radio en la base, flota verticalmente por esta sobre un liquido, introduciéndose en él 2 decimetros.

1.° Se pide el volúmen del liquido que desaloja el tronco de cono sumergido;

2.° Se invierte el mismo cono para sumergirlo por su vértice, y se pide la altura de la parte entonces sumergida.

VI. — Calcular la presion atmosférica que se ejerce en el sentido vertical, sobre una esfera de 1m,25 de diámetro, estando la altura del barómetro á 76 centimetros.

VII. — Calcular el peso de la atmósfera, suponiendo que la altura barométrica es de 0m,76, y que el radio de la tierra, considerada como esférica, vale 6366 quilómetros. Calcular el volúmen de la masa de oro equivalente, siendo su densidad 19,363, y la del mercurio 13,593.

VIII. — Averiguar, con una diferencia de menos de un centimetro, el radio de una esfera de plomo, cuyo peso sea de 527 quilógramos, siendo 11,35 la densidad del plomo.

IX. — Una vasija cilíndrica cuyo diámetro es de 0m,315 se llenó de agua hasta cierto nivel el 1.° de julio de 1853; pasados cinco dias, se notó que, para dar al agua el mismo nivel, debian añadirse 4quil.,320gr. de agua: se pide la altura de la capa evaporada.

Suponiendo exacto el peso del agua con 1gr. de aproximacion; ¿cuál será el grado de aproximacion con que se ha determinado la altura de la capa de agua evaporada?

X. — Un cilindro suspendido á uno de los platillos de una balanza hidrostática, é introducido en el agua, está equilibrado, hallándose el agua á +4 grados. Se hace subir esta agua á +9°. Se pide en qué sentido se romperá el equilibrio, y el peso que habrá que añadir para restablecerlo.

Servirán los datos siguientes: circunferencia del cilindro =0m,135; altura =0m,12; densidad del agua á 4 grados =1; densidad del mismo liquido á +9 grados =0,98809.

XI. — Un cilindro de laton pesa 50 quilógramos; la circunferencia de su base es 0m,650; la densidad del laton es 8,44: se pide la altura del cilindro.

XII. — Un cilindro de palastro, cerrado por todas partes, tiene esteriormente 2m,50 de diámetro, 1m,75 de altura, y el palastro 0m,01 de espesor. Se pide si, introducido en el agua, sobrenadará, y en caso de afirmacion, cuánto se introducirá su eje en el liquido. Se supone que la densidad del palastro es 7,79.

XIII. — Un cono de 5 metros de altura, é igual al diámetro de su base, se introduce en agua de modo que su eje esté vertical, quedando en ella en equilibrio cuando el nivel del liquido corta la arista en sus 2 tercios de su longitud á contar desde el vértice. Se pide su peso.

XIV. — Calcular el espesor de una esfera hueca de laton, cuyo diámetro esterior es de 0m,750; su peso es de 67quil.,800, y la densidad del laton 8,39.

XV. — Un cilindro de base circular introducido en agua de modo que su eje esté horizontal, queda en ella en equilibrio cuando el eje del cilindro está sobre el nivel una cantidad igual al semi-radio. Se pide su peso, sabiendo que el cilindro tiene 20m, y que el diámetro de su base =12m (calcular por medio de logaritmos).

XVI. — Calcular la arista de un tetráedro regular, de oro, cuyo peso es de 2 quilógramos, sabiendo que el peso específico del oro es 19,26.

XVII. — Un cuerpo introducido en un liquido mas denso que él, desaloja un volúmen de 3 decimetros cúbicos: ¿cuál será el nuevo volúmen desalojado, si la temperatura del liquido sube á 100°, siendo $\frac{1}{500}$ su coeficiente de dilatacion?

XVIII. — Una barra metálica tiene de largo 3m,930, á la temperatura de 0°, y 3m,951 á la temperatura de 83°, se piden los coeficientes de dilatacion lineal y cúbica del metal.

XIX. — Dado el volúmen V de un gas á la temperatura t y á la presion a, demostrar la fórmula que da á conocer el volúmen V' del gas á la temperatura t' y á la presion a'.

XX. — Encontrándose el aire á la presion de 540 milímetros de altura de mercurio, y pesando 832 gramos el peso del metro cúbico, averiguar su temperatura. Se sabe que el coeficiente de dilatacion del aire es 0,00366, y que el peso del metro cúbico de aire es 1quil.,3, á 0° de temperatura y á 760 milímetros de presion.

XXI. — La altura del barómetro, á $12^{\circ}\frac{7}{10}$, es 0m,737 : reducirla á 0°.

XXII. — El volúmen de una masa de gas á —11°,2, á la presion de 765 milímetros, es de 47lit.,250; ¿cuál será el volúmen de la misma masa gaseosa á +35° y á la presion de 778 milímetros?

XXIII. — Siendo 120° la temperatura de fusion de un cuerpo, y siendo su calor específico 0,03 en el estado sólido, y 0,04 en el líquido, deducir su calor latente de fusion con los datos siguientes : 3 quilógramos del cuerpo han sido introducidos en el estado sólido y á 100° de temperatura en un baño líquido de la misma sustancia que tenia 135° de temperatura y pesaba 80 quilógramos : se ha notado despues de la fusion del cuerpo sólido que la temperatura final del baño es 130°.

XXIV. — Calcular el calor específico de la esencia de trementina y esponer al mismo tiempo el método general usado para determinar el calor específico de los líquidos, sabiendo que 42gr,57 de esencia á 33°,7 han sido mezclados con 470gr,3 de agua á 12°,23, y que la temperatura de la mezcla ha sido de 15°,57. Se supondrá la esencia de trementina contenida en un tubo de vidrio de 5gr,25 de peso y de un calor específico igual á 0,177. El agua contenida en una vasija de cobre pesa 45gr,25, y del cual la capacidad calorífica es 0,035.

XXV. — Mézclanse 750 gramos de hierro á 100°,75 con 425 de agua á 10°,24. Siendo 0,1138 el calor específico del hierro, ¿cuál será, haciendo abstraccion de lo que se caliente ó enfrie por el contacto del aire ambiente y de la vasija, la variacion de temperatura del agua?

XXVI. — Se mezclan 575 quilógramos de hielo con 2250 de agua á 30° : decidir si se fundirá el hielo, y en caso de afirmativa, calcular la temperatura final, prescindiendo de las pérdidas y ganancias de calor.

XXVII. — Averiguar, en quilógramos, el peso de un metro cúbico de vapor de agua á 25° y á la presion de 20 milímetros, sabiendo que un metro cúbico de aire seco pesa 1quil.,300gr á 0° y á 760 milímetros, y que la densidad del vapor de agua con relacion á la del aire es 0,625.

Buscar, en metros, el radio de una esfera que pudiese contener un quilógramo del mismo vapor.

APENDICE.—TERCERA PARTE.

PROBLEMAS ESCOGIDOS

POR EL AUTOR.

I.—¿Cuál será en Paris la longitud del péndulo, para que cada oscilacion dure siete segundos?

De la fórmula $T=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (59), se deduce

$$l=\frac{g\times T^2}{\pi^2}=\frac{9,8088\times 49}{(3,1416)^2}=48m,69.$$

II.—¿Cuál es la intensidad de la gravedad en el Ecuador, donde la longitud del péndulo que bate segundos es 0m,991?

La fórmula $T=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ da $g=\frac{\pi^2\times l}{T^3}=(3,1416)^2\times 0,991=9m,7808.$

III.—Una esfera de platino pesa 100 gramos en el aire, 95gr,4 en el agua, y 91gr,5 en el ácido sulfúrico: se pide el peso específico del platino y el del ácido sulfúrico.

El peso del agua desalojada es 100—95,4=4,6; y el del ácido desalojado es 100—91,5=8,5

Luego el peso específico del platino es $=\frac{100}{4,6}=21,7$, y el del ácido $=\frac{8,5}{4,6}=1,84$.

IV.—Siendo 7 el peso específico del zinc y 9 el del cobre, ¿qué cantidades de estos dos metales deberán tomarse para formar una aleacion que pese 50 gramos, y cuyo peso específico sea 8,2, admitiendo que el volúmen de la aleacion sea exactamente igual á la suma de los volúmenes de los metales aleados?

Sean x é y los pesos de zinc y de cobre pedidos.

Tenemos primero $x+y=50$ [1]; y segun la fórmula $P=VD$, que da $V=\frac{P}{D}$, los volúmenes de los dos metales y de su aleacion son respectivamente $\frac{x}{7}$, $\frac{y}{9}$ y $\frac{50}{8,2}$; de consiguiente

$$\frac{x}{7}+\frac{y}{9}=\frac{50}{8,2}\ [2].$$

Resolviendo las ecuaciones [1] y [2], sale $x=17,07$, é $y=32,93$.

V.—Un cono de hierro ASB (fig. 570) se introduce en mercurio por su vértice: se pide la relacion de la altura del cono inmergido OS á la total CS, sabiendo que la densidad del hierro es d, y la del mercurio d'.

Fig. 570.

Sean a la altura total SC, a' la SO, R y r los radios CB y KO. El volúmen del cono grande es $\frac{\pi R^2 a}{3}$, y su peso $\frac{\pi R^2 ad}{3}$, segun la fórmula $P=VD$. De igual manera el volúmen del cono sumergido es $\frac{\pi r^2 a'}{3}$, y de consiguiente, el peso del mercurio desalojado por el cono de hierro es $\frac{\pi r^2 a' d'}{3}$. Pero estos pesos deben ser iguales (98); de modo que, suprimiendo el factor comun $\frac{\pi}{3}$, sale $R^2 ad=r^2 a' d'$; de donde $\frac{a'}{a}=\frac{R^2}{r^2}\times\frac{d}{d'}$ [1].

Mas los triángulos BCS y KOS son semejantes, por lo que $\frac{R}{r}=\frac{a}{a'}$. Llevando este valor de

$\frac{R}{r}$ á la igualdad [1], resulta $\frac{a'}{a}=\frac{a^2}{a'^2}\times\frac{d}{d'}$; de donde $\frac{a'^3}{a^3}=\frac{d}{d'}$; y estrayendo la raiz cúbica de ambos miembros, resulta al fin $\frac{a'}{a}=\frac{\sqrt[3]{d}}{\sqrt[3]{d'}}$; es decir, que *las alturas de los dos conos estan en razon inversa de las raices cúbicas de las densidades del cuerpo sumergido y del líquido, sea cual fuere el ángulo en el vértice del cono.*

VI. — Una regla de platino de 2 metros de longitud está dividida, por una de sus estremidades, en cuartos de milímetro; y otra regla de cobre de 1m,950 aplicada encima á cero, difiere de ella 0m,050, es decir, 200 divisiones de la regla de platino. Se pide la temperatura comun á las dos reglas, cuando solo difieran 164 divisiones de la de platino, siendo el coeficiente de dilatacion de este 0,000008842, y el del cobre 0,000017182.

La longitud de la regla de platino, que tiene 8000 divisiones, á cero, es

$$8000\,(1+0{,}000008842\times t) \text{ á } t \text{ grados } (260).$$

La regla de cobre, que vale 7800 divisiones, á cero, valdrá á t grados,

$$7800\,(1+0{,}000017182\times t).$$

En fin, la diferencia entre las dos reglas, que es 164 á cero, será á t grados,

$$164\,(1+0{,}000008842\times t).$$

Tenemos, pues,

$$8000\,(1+0{,}000008842\times t)-7800\,(1+0{,}000017182\times t)=164\,(1+0{,}000008842\times t),$$

$$\text{de donde } t=\frac{36}{0{,}0647337}=556^{\circ}.$$

VII. — Deseando comparar la intensidad de una lámpara Carcel con la de una bujía, por medio del fotómetro de Rumford (fig. 243), se ve que las sombras tienen igual intensidad en la pantalla, cuando de ella dista 2 metros la bujía, y 4m,74 la lámpara. ¿Cuál será la intensidad de esta, tomando como unidad la de la bujía?

Sea I la intensidad de la lámpara á la unidad de distancia, á la distancia de 4m,74, será $\frac{I}{(4{,}74)^2}$ (412); de igual manera la de la bujía, que es 1 á la unidad de distancia, será $\frac{1}{4}$ á la de dos metros. Pero á estas distancias son iguales las intensidades; luego

$$\frac{I}{(4{,}74)^2}=\frac{1}{4}, \text{ de donde } I=\frac{(4{,}74)^2}{4}=5{,}617.$$

VIII. — Una lámpara y una bujía distan entre sí 3m,15, y siendo 1 la intensidad de la luz de la bujía, á la unidad de distancia, la de la lámpara es 5,6; ¿á qué distancia de la lámpara, en la línea recta que une las dos luces, debe colocarse una pantalla para que esté igualmente iluminada por ambas, sabiendo que la intensidad de una luz está en razon inversa del cuadrado de la distancia (412)?

Sea x la distancia á que la pantalla debe colocarse de la lámpara: su distancia de la bujía será $3{,}15-x$. Ahora bien, la intensidad de la lámpara, que es 5,6 á la unidad de distancia, es $\frac{5{,}6}{x^2}$ á la distancia de x; y siendo 1 la de la bujía á la misma unidad de distancia, es $\frac{1}{(3{,}15-x)^2}$ á la distancia $3{,}15-x$. Pero entonces las intensidades son iguales; luego

$$\frac{5{,}6}{x^2}=\frac{1}{(3{,}15-x)^2}, \text{ ó } \left(\frac{3{,}15-x}{x}\right)^2=\frac{1}{5{,}6}=\frac{10}{56}=\frac{5}{28},$$

y estrayendo la raiz, $\frac{3{,}15-x}{x}=\pm\sqrt{\frac{5}{28}}=\pm 0{,}422$; de donde se deducen los dos valores $x=2\text{m},21$ y $x=5\text{m},45$. El primero corresponde á un punto situado entre las dos luces; y el segundo da un punto en la prolongacion de la recta que los une.

IX. — Delante de un espejo esférico cóncavo de 0m,95 de radio, se coloca, á la distancia de 3m,4, un objeto BD (fig. 263), cuya altura es de 0m,12; se pide la distancia de la imágen al espejo, y su tamaño.

Este problema se resuelve por la fórmula $\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{2}{R}$, dada en óptica (429), en la cual p

representa la distancia del objeto al espejo, p' la de la imágen, y R el radio de curvatura del espejo. Segun el enunciado, tenemos, en centímetros, $p=340$ y $R=95$; sustituyendo estos valores en la ecuacion anterior, resulta $\frac{1}{340}+\frac{1}{p'}=\frac{2}{95}$, y quitando denominadores, se halla

$$95\,p'+340\times95=2\times340\,p',\ \text{ó}\ 585\,p'=32300,\ \text{de donde}\ p'=55c,2.$$

Para calcular el tamaño bd de la imágen, debe tenerse presente lo dicho en el párrafo 431, en el cual se ha visto que los triángulos BDC y Cdb (fig. 263) son semejantes, y por lo mismo $\frac{bd}{BD}=\frac{Co}{CK}$, de donde $bd=\frac{BD\times Co}{CK}$. Por hipótesis,

$$BD=12,\ CK=p-R=3m,4-0,95=2m,45;$$

y segun el valor de p', resulta $Co=CA-Ao=95c-55c,2=39c,8$, luego

$$bd=\frac{12\times39,8}{245}=1c,95.$$

X.—El manómetro de la caldera de una máquina de vapor marca $2\frac{3}{4}$ atmósferas, teniendo 22 centímetros de radio el émbolo de la máquina, y recorriendo por segundo 1m,25; se pide el peso que la máquina puede elevar á 8 metros de altura por segundo, prescindiendo de toda resistencia.

Teniendo 22 centímetros el radio del émbolo, su superficie, en centímetros cuadrados, es $\pi R^2=1520cc,53$. Siendo la presion en un centímetro cuadrado, de 1quil.,033 por una atmósfera (149), es, para $2\frac{3}{4}$, $1quil.,033\times\left(2+\frac{3}{4}\right)=2quil.,841$. Luego, en la superficie total del émbolo la presion es de $2quil.,841\times1520,53=4319quil.,825$.

De consiguiente, siendo la carrera del émbolo de 1m,25 por segundo, puede elevar, en un segundo, á 1m.25 de altura, 4319quil.,825.

Elevaria, pues, en el mismo tiempo, solo á 1 metro, un peso igual á $4319quil.,825\times1m,25$, porque el peso elevado por la máquina es evidentemente tanto mayor, cuanto menor es la altura. Por lo mismo, el peso que eleve á 8 metros en un segundo no será mas que $\frac{4319,825\times1m,25}{8}$, y por fin, el elevado en un minuto será $\frac{4319,825\times1,25\times60}{8}=40498$quilógramos.

XI.—Un alambre de plata de 125 metros de largo pesa 6 gramos: se pide su diámetro, sabiendo que la densidad de la plata es 10,474.

Como este alambre no es mas que un cilindro de 125 metros de altura, y cuya base es un pequeño círculo que tiene por diámetro el pedido, representado este último por x, el volúmen del alambre será $\frac{\pi x^2}{4}\times125$ [1]; y como la fórmula $P=VD$ (107), da $V=\frac{P}{D}=\frac{6gr.}{10,474}$ [2], se puede igualar la espresion [2] con la [1], pues ambas indican el volúmen del alambre. Con todo, preciso es referirlas ambas á la misma unidad de volúmen, porque la primera lo da en metros cúbicos y la segunda en centímetros cúbicos (107). Para esto, es menester convertir la espresion [1] en centímetros cúbicos multiplicándola por un millon, pues sabido es que un metro cúbico contiene un millon de centímetros cúbicos. Se pondrá, pues,

$$\frac{\pi x^2\times125000000}{4}=\frac{6}{10,474};$$

$$\text{de donde}\ x=\sqrt{\frac{24}{125000000\times10,474\times3,1416}}=0mm,00076.$$

XII.—Calcular el radio de una bala de fundicion de 24 quilógramos, sabiendo que el peso específico de la fundicion es 7,21.

Segun la fórmula $P=VD$, sale $V=\frac{P}{D}=\frac{24}{7,21}$, contándose el volúmen en decímetros cúbicos. Si R es el radio de la bala, se sabe que el volúmen de esta es $=\frac{4\pi R^3}{3}$. Luego

$$\frac{4\pi R^3}{3}=\frac{24}{7,21};\ \text{de donde}\ R^3=\frac{3\times24}{4\pi\times7,21}=\frac{72}{4\times3,1416\times7,21}=0d,794.$$

XIII. — Se forma una aleacion de dos metales cuyos pesos especificos son D y D′: se pide el de la aleacion, sabiendo que el volúmen de esta ha sufrido una contraccion igual á $\frac{1}{m}$ de la suma de los volúmenes componentes, y siendo respectivamente P y P′ los pesos de los dos metales.

Segun la fórmula $P = VD$, que da $V = \frac{P}{D}$, los volúmenes de los dos metales aleados son respectivamente $\frac{P}{D}$ y $\frac{P'}{D'}$, y la m^{sima} parte de su suma es $\frac{1}{m}\left(\frac{P}{D}+\frac{P'}{D'}\right)$; de consiguiente, el volúmen de la mezcla es

$$\frac{P}{D}+\frac{P'}{D'}-\frac{1}{m}\times\left(\frac{P}{D}+\frac{P'}{D'}\right)=\left(\frac{P}{D}+\frac{P'}{D'}\right)\left(\frac{m-1}{m}\right).$$

Pero, representando por d el peso especifico que se busca, el volúmen de la aleacion será $\frac{P+P'}{d}$. Luego $\frac{P+P'}{d}=\left(\frac{P}{D}+\frac{P'}{D'}\right)\left(\frac{m-1}{m}\right)$;

de donde
$$d=\frac{(P+P')\,DD'm}{(PD'+P'D)\,(m-1)}\ [A].$$

Si en vez de una contraccion de la aleacion, hubiese una dilatacion, se encontraria, por medio de un cálculo análogo, $d=\frac{(P+P')\,DD'm}{(PD'+P'D)\,(m+1)}$ [B].

XIV. — Habiendo mezclado 18 quilógramos de ácido sulfúrico con 8 de agua, se pide el peso especifico de la mezcla, sabiendo que el del agua es 1, el del ácido sulfúrico 1,84; y suponiendo que el volúmen de la mezcla ha sufrido una contraccion de $\frac{1}{32}$.

Con la fórmula [A] del problema anterior sale

$$d=\frac{(P+P')\,DD'm}{(PD'+P'D)\,(m-1)}=\frac{(8+18)\,1,84\times 32}{32,72\times 31}=1,50.$$

XV. — Se funden á la vez P quilógramos de un metal cuyo peso especifico es D, con P′ quilógramos de otro metal que tiene por densidad D′: siendo d el peso especifico de la aleacion, se pide si ha habido contraccion ó dilatacion, y el valor $\frac{1}{m}$ del coeficiente de esta ó de aquella.

La fórmula [A] del problema XIII, la cual corresponde á la contraccion del volúmen de la aleacion, resuelta con relacion á m, da $m=\frac{(PD'+P'D)\,d}{(PD'+P'D)\,d-(P+P')\,DD'}$ [C].

La cantidad m, que es el denominador del quebrado de contraccion, es necesariamente positiva, pues si no el coeficiente $\frac{1}{m}$ seria negativo, lo cual careceria de sentido: es preciso, para que haya contraccion, que se tenga $(PD'+P'D)\,d>(P+P')\,DD'$, o $d>\frac{(P+P')\,DD'}{PD'+P'D}$.

Dividiendo numerador y denominador por DD′, esta última fórmula adquiere la forma $d>\frac{P+P'}{\frac{P}{D}+\frac{P'}{D'}}$, y entonces se la puede interpretar fácilmente. En efecto, siendo P+P′ el peso de la aleacion, y $\frac{P}{D}+\frac{P'}{D'}$ la suma de los volúmenes de los metales aleados, síguese de aquí que la espresion $\frac{P+P'}{\frac{P}{D}+\frac{P'}{D'}}$ es precisamente el peso especifico que tendria la aleacion, si no

hubiese contraccion ni dilatacion, segun la fórmula $D=\frac{P}{V}$. Cuando hay contraccion, aumenta el peso específico, de modo que ha de ser $d>\frac{P+P'}{\frac{P}{D}+\frac{P'}{D'}}$.

Dedúcese de aquí que, cuando hay dilatacion, debe ser $d<\frac{P+P'}{\frac{P}{D}+\frac{P'}{D'}}$; y tal es, en efecto, la condicion á que conduce la fórmula [B] del problema XIII, si se la resuelve con relacion á m.

Si $d=\frac{(P+P')\,DD'}{PD'+P'D}$, la fórmula [C] da $m=\infty$; y de aquí la fraccion $\frac{1}{m}=0$; es decir, que no hay contraccion ni dilatacion.

XVI. — Conociendo el volúmen de aire V contenido en el recipiente y en el conducto de una máquina neumática, el volúmen v de uno de los cuerpos de bomba, y representando por M la masa total del aire del recipiente y del conducto, se pide la masa de aire que quedará en la máquina despues de n golpes simples del piston, y cuál será su tension.

Cuando el émbolo sube desde la parte inferior del cuerpo de bomba á su vértice, el volúmen del aire V se hace $V+v$, siendo siempre su masa M. Como la masa de aire sustraida es proporcional al volúmen v, representándola por m se tiene $\frac{m}{M}=\frac{v}{V+v}$, de donde

$$m=\frac{Mv}{V+v}.$$

El aire que queda es, pues, $M-\frac{Mv}{V+v}=\frac{MV}{V+v}=M'$.

Se encuentra de la misma manera que la cantidad de aire que se estrae al segundo golpe del piston es $\frac{M'v}{V+v}=\frac{Mv}{V+v}\cdot\frac{V}{V+v}$;

al tercero, $\frac{Mv}{V+v}\cdot\frac{V^2}{(V+v)^2}$;

al $n$simo, $\frac{Mv}{V+v}\cdot\frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}$.

Todo el aire sacado despues de n golpes es, por lo tanto,

$$\frac{Mv}{V+v}\left\{1+\frac{V}{V+v}+\frac{V^2}{(V+v)^2}+\ldots+\frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}\right\}\quad[A].$$

Como la parte que hay entre paréntesis no es mas que una progresion geométrica decreciente, cuyo primer término es 1 y la razon $\frac{V}{V+v}$, si se hace uso de la fórmula $S=\frac{a-lr}{1-r}$, que sirve en álgebra para calcular la suma de los términos de una progresion geométrica decreciente, cuyo primer término es a, el último l y la razon r, se encuentra que la suma de los términos que hay dentro del paréntesis es $\frac{V+v}{v}-\frac{V}{v}\cdot\frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}$.

La fórmula [A] se trasforma, pues, en

$$\frac{Mv}{V+v}\left\{\frac{V+v}{v}-\frac{V}{v}\cdot\frac{V^{n-1}}{(V+v)^{n-1}}\right\}=M-M.\frac{V^n}{(V+v)^n},$$

cuyo segundo miembro representa la masa de aire sacada despues de n golpes de émbolo: la que queda es, por lo mismo, $M.\frac{V^n}{(V+v)^n}$.

Para calcular cuál es entonces la tension t, que se supondrá fué primero 0m,76, basta observar, segun la ley de Mariotte, que la tension del aire debajo del recipiente es proporcional á su masa, de modo que $\frac{t}{0,76}=\frac{MV^n}{(V+v)}:M$, de donde $t=76\times\frac{V^n}{(V+v)^n}$.

XVII. — ¿Cuántos golpes simples de émbolo, n, son precisos para reducir de la presion de 0m,76 á 0m,002, el aire que está debajo del recipiente de la máquina neumática, valiendo 10 litros el volúmen de este, y 1 el de cada cuerpo de bomba?

Esta cuestion queda resuelta fácilmente por medio de la fórmula $t=\frac{0m,76\times V^n}{(V+v)^n}$ del problema XVI, haciendo en ella $t=0,002$, $V=10$, y $v=1$, lo cual da $\frac{2}{760}=\left(\frac{10}{11}\right)^n$, ó $\left(\frac{11}{10}\right)^n=380$. Tomando los logaritmos de los dos miembros, resulta $n\times l\left(\frac{11}{10}\right)=l.\,380$; de donde $n=\frac{l.\,380}{l.\,11-l.\,10}=62$.

XVIII. — Se tiene un cubo de plomo de 4 centímetros de lado que se desea sostener en el agua suspendiéndolo de una esfera de corcho. ¿Qué diámetro debe tener esta para que su empuje de abajo arriba equilibre el peso del cubo de plomo, sabiéndose que el peso específico de este cuerpo es 11,35, y el del corcho 0,24?

El volúmen del cubo de plomo es 64 centímetros cúbicos, y de consiguiente, su peso en el aire es $64\times11,35$, y en el agua $64\times11,35-64=662gr,40$.

Si se representa por r el radio de la esfera de corcho, en centímetros, su volúmen, en centímetros cúbicos, será $\frac{4\pi r^3}{3}$; luego su peso en gramos será $\frac{4\pi r^3\times0,24}{3}$ Ahora bien, siendo evidentemente el peso del agua desalojada por la esfera de corcho, en gramos, $\frac{4\pi r^3}{3}$, resulta de aquí un empuje de abajo arriba igual á

$$\frac{4\pi r^3}{3}-\frac{4\pi r^3\times0,24}{3}=\frac{4\pi r^3\times0,76}{3}.$$

Este empuje debe ser igual al peso del plomo; luego

$$\frac{4\pi r^3\times0,76}{3}=662gr,40.$$

de donde

$$r=\sqrt[3]{\frac{1987,20}{3,04\times3,1416}}=5c,92;$$

de suerte que el diámetro que se pide es de 11c,84.

XIX. — Se quiere construir una esfera hueca, de cobre, que, introducida en el agua, se hunda exactamente la mitad: ¿cuál debe ser la relacion del espesor de la pared de la esfera á su radio esterior, siendo este indeterminado, y valiendo la densidad del cobre 8,788?

Sea R el radio esterior y r el interior: el espesor de las paredes es $R-r$, y la relacion pedida $\frac{R-r}{R}$.

Siendo el volúmen esterior de la esfera $\frac{4\pi R^3}{3}$, y el interior $\frac{4\pi r^3}{3}$, el volúmen de la pared es $\frac{4\pi R^3}{3}-\frac{4\pi r^3}{3}=\frac{4\pi}{3}(R^3-r^3)$, y su peso $=\frac{4\pi}{3}(R^3-r^3)\times8,788$. Por otra parte, siendo el del agua desalojada $\frac{1}{2}\cdot\frac{4\pi R^3}{3}$, debe resultar, suprimiendo el factor comun $\frac{4\pi}{3}$,

$$(R^3-r^3)\times8,788=\frac{R^3}{2},\text{ de donde } R^3\times16576=r^3\times17576,$$

$$\text{de donde } \frac{R}{r}=\sqrt[3]{\frac{17576}{16576}}=1,02.$$

Esta última igualdad da sucesivamente

$$\frac{R}{1,02}=\frac{r}{1},\quad \frac{R-r}{0,02}=\frac{R}{1,02}\text{ y }\frac{R-r}{R}=\frac{2}{102}=\frac{1}{51},$$

esto es, el espesor de la pared es $\frac{1}{51}$ del radio esterior.

XX. — Un cilindro de madera de haya flota horizontalmente sobre el agua (fig. 571): se pido la relacion del volúmen inmergido con el del que sobrenada, sabiendo que el peso específico del haya es 0,852, y el del agua 1.

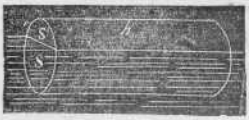


Fig. 571.

Teniendo la misma altura a, los volúmenes cuya relacion se busca, sean S y S′ los segmentos del círculo que les sirven de base, el primero sumergido y el segundo fuera del agua.

El volúmen sumergido es Sa, el otro $S'a$, y el total del cilindro $(S+S')\,a$. El peso del cilindro es, pues, $(S+S')\,a\times 0{,}852$, y el del agua desalojada Sa; luego, segun la condicion de equilibrio de los cuerpos flotantes, debemos obtener

$$(S+S')\,a\times 0{,}852 = Sa\,;\ \text{de donde}\ \frac{S'}{S}=\frac{1-0{,}852}{0{,}852}=0{,}173.$$

XXI. — Estando dividido un tubo capilar en 180 partes iguales, se encuentra que una columna de mercurio que ocupa 25 de dichas divisiones pesa 1gr,2 á cero grados. Queriendo hacer un termómetro con este tubo, se pide el radio interior del depósito esférico, que se le debe soldar para que sus 180 divisiones comprendan 150 grados centígrados.

Supuesto que 25 divisiones del tubo contienen 1gr,2 de mercurio, una sola division comprenderá $\frac{1\text{gr},2}{25}$, y las 180 divisiones $\frac{1{,}2\times 180}{25}=8\text{gr},64$. Debiendo comprender estas 180 divisiones 150 grados, es claro que el peso del mercurio correspondiente á un solo grado es $\frac{8\text{gr},64}{150}$. Pero como la dilatacion correspondiente á un grado no es mas que la dilatacion aparente del mercurio en el vidrio (266), el peso $\frac{8\text{gr},64}{150}$ debe ser $\frac{1}{6480}$ del peso del mercurio contenido en el depósito, peso igual á $\frac{4\pi R^3\times 13{,}596}{3}$, siendo R el radio del depósito, y 13,596 el peso específico del mercurio; luego

$$\frac{4\pi R^3\times 13{,}596}{3}\times\frac{1}{6480}=\frac{8{,}64}{150},\ \text{de donde}\ R=1\text{c},8.$$

XXII. — ¿Cuál es el esfuerzo F necesario para sostener una campana llena de mercurio é introducida en el mismo líquido, teniendo 6 centímetros su diámetro interior, y su altura ab (fig. 572), sobre el nivel del baño, 18 centímetros, y sabiendo que la altura del barómetro es 0m,77?

Fig. 572.

En el esterior, sostiene esta campana, de arriba abajo, una presion igual al peso de una columna de mercurio que tuviese por base su seccion cd, y por altura la del barómetro; de consiguiente, esta presion es igual á

$$\pi R^2\times 0{,}77\times 13{,}596.$$

En el interior, sostiene, de abajo arriba, una presion igual á la atmosférica, menos el peso de una columna de mercurio que tuviese por base su seccion, y por altura ab; es decir, que la presion de abajo arriba es igual á

$$\pi R^2\times(0{,}77-0{,}18)\times 13{,}596=\pi R^2\times 0{,}59\times 13{,}596.$$

El esfuerzo necesario para sostener la campana será, pues, igual á la diferencia de estas dos presiones, ó á

$$\pi R^2(0{,}77-0{,}59)\times 13{,}596=\pi R^2\times 0{,}18\times 13{,}596.$$

Haciendo R = 3 centímetros, conforme al enunciado, y efectuando los cálculos en la espresion anterior, resulta F = 6quil.,919gr,5.

XXIII. — Se hacen pasar á una vasija vacía, de 60 litros de capacidad y de paredes inestensibles, 30 litros de nitrógeno á la presion de 0m,72, 15 litros de oxígeno á la presion de 0m,64, y 5 litros de ácido carbónico á la de 0m,78: ¿cuál será la fuerza elástica de la mezcla?

Segun la ley de Mariotte (162), estando la fuerza elástica de un gas en razon inversa de su volúmen, cada uno de los gases mezclados tendrá, despues de la mezcla, una fuerza elástica, tanto mas débil, cuanto mayor se haya vuelto su volúmen. De consiguiente, pasando el nitrógeno del volúmen 30 al 60, es decir, á uno doble, su fuerza elástica será dos veces menor de lo que era, ó 0m,36. De la misma manera, adquiriendo el oxígeno un vo-

lúmen cuatro veces mayor, su tension será el cuarto de 0m,64, ó 0m,16. Y por fin, pasando el volúmen de ácido carbónico á ser doce veces mayor, su tension será el duodécimo de 0m,78, ó 0m,065.

Luego, en virtud de la segunda ley de las mezclas de los gases (313), la fuerza elástica de la mezcla será 0m,36 + 0m,16 + 0m,065 = 0m,585.

XXIV. — Habiendo dejado caer una piedra en un pozo, el sonido que produce la piedra, al encontrar el agua, tarda 3 segundos en percibirse despues de soltada aquella: se pide la profundidad del agua, sabiendo que el sonido recorre 337 metros por segundo.

Representemos por v la velocidad del sonido, por x la profundidad del pozo hasta el agua, y por T el tiempo que trascurre entre el principio del descenso y la percepcion del sonido.

De la fórmula $e = \frac{1}{2} g t^2$ (55), sale $t = \sqrt{\frac{2e}{g}} = \sqrt{\frac{2x}{g}}$;

que es el tiempo que emplea en su descenso la piedra.

Para averiguar el tiempo que necesita el sonido para llegar al observador, nótese que, siendo v el espacio que recorre por segundo, necesitará para atravesar el espacio x tantos segundos como veces v contenga x, es decir, $\frac{x}{v}$.

Deberémos tener, pues,

$$\sqrt{\frac{2x}{g}} + \frac{x}{v} = \mathrm{T}, \text{ ó } \sqrt{\frac{2x}{g}} = \mathrm{T} - \frac{x}{v};$$

de donde

$$\frac{2x}{g} = \mathrm{T}^2 - \frac{2\mathrm{T}x}{v} + \frac{x^2}{v^2}.$$

Quitando denominadores y trasponiendo, queda

$$gx^2 - 2v(v + g\mathrm{T})x + v^2 g \mathrm{T}^2 = 0.$$

Resolviendo,

$$x = \frac{v}{g}\left\{ g\mathrm{T} + v \pm \sqrt{v(2g\mathrm{T} + v)} \right\}.$$

Remplazando v, g y T por sus valores, se encuentra

$$x = \frac{337}{9{,}81}\left\{ 9{,}81 \times 3 + 337 \pm \sqrt{337(2 \times 9{,}81 \times 3 + 337)} \right\},$$

de donde

$$x = \frac{337}{9{,}81}(366{,}43 \pm 365{,}24);$$

lo cual da las dos soluciones $x = 25134$m,9 y $x = 40$m,8. La primera es inadmisible, porque representa un espacio mayor que el que recorre el sonido en 3 segundos. Esta es una *solucion estraña*, debida á la elevacion al cuadrado del radical $\sqrt{\frac{2x}{g}}$ en la ecuacion del problema. La profundidad del pozo es, pues, de 40m,8.

FIN DE LOS APÉNDICES.

ÍNDICE.

LIBRO PRIMERO.

MATERIA, FUERZAS Y MOVIMIENTO.

LIBRO II.

GRAVEDAD Y ATRACCION MOLECULAR.

LIBRO III.

DE LOS LÍQUIDOS.

LIBRO IV.

DE LOS GASES.

LIBRO V.

ACÚSTICA.

LIBRO VI.

CALÓRICO.

LIBRO VII.

LUZ.

LIBRO VIII.

MAGNETISMO.

LIBRO IX.

ELECTRICIDAD ESTÁTICA.

LIBRO X.

ELECTRICIDAD DINÁMICA.

ELEMENTOS DE METEOROLOGIA Y DE CLIMATOLOGIA.

APENDICE.

FIN DEL ÍNDICE.

CHAMBERI.—Imp. de BAILLY-BAILLIERE.

53

A. GANOT

TRATADO DE FISICA