

B.P. de Soria



61112850
D-1 1258

Sigt.^a Top.^a

Est. 74

Tab. 1

Nüm. 17

2870

D-1

1258

TRATADO ELEMENTAL

DE FÍSICA,

ESCRITO EN FRANCES

por Mr. F. S. Beudant,

Miembro de la academia real de Ciencias, caballero de la Legion de Honor, y profesor de mineralogía de la facultad de Ciencias de Paris.

TRADUCIDO AL CASTELLANO,
SEGUN LA CUARTA Y ULTIMA EDICION,

por Don Nicolas Ariza.

BIBLIOTECA
DEL
INSTITUTO PROVINCIAL
SORIA

TOMO I.

MADRID:
IMPRENTA DE DON MIGUEL DE BURGOS.
25 agosto 1830.

TRATADO ELEMENTAL

DE FÍSICA

ESCRITO EN FRANCÉS

Por Mr. B. P. Bourdieu,

Miembro de la academia real de Ciencias exactas
de la Legion de Honor, y profesor de matemáticas
de la facultad de Ciencias de Paris.

TRADUCIDO AL CASTELLANO

SEGUN LA CUARTA Y ÚLTIMA EDICION

por Don Nicolás Álvarez

TOMO I

MADRID:

IMPRESA DE DON MIGUEL DE BURGOS

25 agosto 1830

ADVERTENCIA DEL TRADUCTOR.

Al traducir el curso de física de Mr. Beudant, he tenido presente que es el mas sencillo de los escritos en idioma francés, sin dejar por eso de ser sumamente completo, pues no omite la investigacion y explicacion de ningun fenómeno. Su sencillez es tal, que las teorías estan al alcance de cualquiera, pues no exigen conocimientos muy profundos en las matemáticas, á causa de no entrar en pormenores de cálculos muy complicados, fundándose el autor para esto en que la mayor parte de los establecimientos literarios donde se enseña la física, no piden de los alumnos los conocimientos suficientes para comprender los cálculos sublimes que se hallan en la generalidad de las obras que versan sobre esta ciencia.

Si Mr. Beudant se funda en esta consideracion para no hacer mas que indicar el camino que debe seguirse para obtener los resultados que manifiesta, estando en Francia, donde la principal base de la educacion son las matemáticas, con mucha mas razon debe ser aplicable en España, donde, á pesar de que estan bastante extendidos los conocimientos analíticos, es sabido que la mayor parte de los jóvenes no pasan del primer año de matemáticas puras.

Tambien ha movido á Mr. Beudant á seguir este camino otra consideracion bastante importante, cual es la de que en muchas de las investigaciones matemáticas sobre cuestiones físicas, no es posible hacer entrar en el cálculo todos los datos precisos para formar la correspondiente ecuacion, y resolverla completamente; así es que se suelen encontrar fórmulas, ó sumamente complicadas y de muy difícil aplicacion; ó incompletas por

decirlo así, que producen resultados poco concordantes con los que dá la experiencia. He aquí por qué el autor indica los resultados del cálculo, y á continuacion manifiesta los experimentos que comprueban ó modifican estos mismos resultados.

No debe deducirse de aquí que el analisis es inaplicable á la fisica experimental: antes al contrario es útil y aun indispensable en muchos casos. Partiendo el cálculo de un hecho dado por los experimentos fisicos, deduce consecuencias que concuerdan admirablemente con los experimentos sucesivos; y apoyados así mutuamente, el cálculo y la experiencia confirman las teorías ó demuestran sus imperfecciones. De este modo es como se han hecho en Francia, Alemania é Inglaterra asombrosos descubrimientos en las ciencias naturales, uniendo á la mas escrupulosa observacion el analisis mas rigoroso. Por esta razon, y previo el dictamen de varios profesores distinguidos de esta corte, he creído oportuno añadir al fin de la obra algunas notas, donde se expondrán los métodos mas sencillos para demostrar las proposiciones que Mr. Beudant no hace mas que enunciar, como son las del movimiento y equilibrio de los cuerpos, péndulo, barómetro, &c. Me ha parecido conveniente reservar estas adiciones para el final por no alterar el texto del autor, ni su objeto de poner al alcance de los menos instruidos los conocimientos de la fisica. De este modo hallarán en las notas los mas adelantados lo suficiente para convencerse de la exactitud de los resultados citados por Mr. Beudant, y de la concordancia del cálculo con la experiencia.

Con el objeto de poner la fisica al alcance de todo el mundo, indica siempre Mr. Beudant el modo mas sencillo de hacer los experimentos que cita; lo cual no puede menos de producir buenos resultados en nuestra nacion, donde existen pocos gabinetes de fisica, y conviene, por decirlo así, crearlos para propagar la aficion que se nota ácia tan importante, amena y útil ciencia; para cuyo cultivo no tienen los españoles menos felices disposiciones que los individuos de los demas países.

Valiéndose, pues, de los sencillos aparatos que describe Mr. Beudant en todos los párrafos de su obra se consigue formar á poca costa un gabinete de fisica por medio del cual se comprueban los experimentos que cita, difundiéndose asi mas y mas la aficion á este ramo, que puede servir de estudio, utilidad y recreo; quedándose los grandes aparatos é instrumentos para los gabinetes públicos de los establecimientos literarios donde se enseñe con mayor extensión.

Al publicar Mr. Beudant la primera edicion de su obra, expresaba su deseo é intencion de que fuese útil á los jóvenes que se dedican al estudio de las ciencias naturales, prometiendo que si se llegaban á hacer ediciones sucesivas, corregiria los defectos que pudiesen notarse, y expondría los descubrimientos que fuesen haciéndose sucesivamente. Asi lo ha hecho fielmente en sus ediciones posteriores, habiendo merecido su obra tal aceptacion en Francia, que la universidad la ha señalado para asignatura de la enseñanza de fisica experimental en los colegios reales. No debo omitir que la primera edicion de esta obra sirvió en España de texto en el curso de fisica experimental que se explicó en los años 1819 y 1820, en la cátedra de fisica y química que existia establecida en el real palacio, fundada y provista de un completo gabinete y laboratorio por el serenísimo señor infante don Antonio, quien la puso á cargo del sabio profesor don Juan Mieg, mi digno maestro.

La última edicion, que tengo el honor de presentar al público traducida sin la menor alteracion, ha sido publicada en Paris el año de 1829, y contiene los mas modernos descubrimientos hechos en muchas importantes teorías, tales como las del sonido, calórico, luz, y mas particularmente en las de la electricidad y magnetismo, variadas notablemente respecto de las primeras ediciones por los trabajos de MM. Amjère, Biot y otros sabios que han logrado averiguar que el magnetismo no es mas que un caso particular de la electricidad. Todos estos resultados, y la sencillez con que estan expuestos, dan á la obra de Mr. Beudant el mayor interes, colocándola en la linea

de las mejores para la enseñanza elemental de la física. En la traduccion del texto no he hecho la más mínima novedad por no permitirlo el orden sumamente filosófico con que está escrito, ni la naturaleza de la materia. Unicamente he sustituido á la tabla alfabética que pone el autor en su cuarta edicion, otra analítica, análoga á la que puso en la primera, y que me parece más conforme con el orden de la obra por servirle de índice. Por razon del enlace de las materias he conservado la numeracion de párrafos, seguida en los dos tomos de que consta, á fin de no alterar las citas por una variacion del todo insignificante. Al mismo tiempo he cuidado de reducir las dimensiones y medidas francesas á las correspondientes castellanas, condicion indispensable para facilitar su inteligencia.

El público juzgará del mérito de la traduccion, disimulando los defectos que pueda tener, supuesto que al apelar á su juicio, creo será indulgente por el servicio que juzgo haberle hecho, especialmente á los jóvenes que se dediquen al estudio de física experimental, y demas ciencias naturales, por la escasez de libros elementales en nuestro idioma, y la necesidad que es consiguiente de tenerlos que traer del extranjero, con graves dispendios y pérdida de un tiempo precioso.

Quedará bastante recompensado mi trabajo si por medio de la presente traduccion se difunde más y más el gusto y aficion á las ciencias naturales, cuyo estudio patrocinaria especialmente la sabiduria de nuestro amado Soberano y la ilustracion del gobierno, como bases de la prosperidad pública.

INTRODUCCION.

Cuando muchas ciencias tienen entre sí una conexión muy íntima, encontrándose y aun confundándose en muchos puntos, y separándose considerablemente en otros, es sumamente esencial al que las estudia adquirir ideas claras acerca de las diferencias que pueden tener entre sí, y de los puntos de contacto que pueden presentar. Esta consideración nos ha determinado á poner en este lugar un cuadro comparativo de las ciencias matemáticas y las ciencias físicas, cuyos elementos forman parte de la educación de la juventud, para hacer conocer los principales rasgos que las distinguen y caracterizan sus diferentes divisiones.

Las ciencias matemáticas, haciendo abstracción de la naturaleza de los cuerpos, tienen por objeto el estudio de las relaciones que existen entre las cantidades ó magnitudes, tomadas idealmente ó figuradas en el espacio de diferentes modos, ó consideradas en las fuerzas que pueden solicitar á los cuerpos.

Las ciencias físicas tienen por objeto el estudio de la naturaleza de los cuerpos y de sus propiedades, como tambien la observación de los di-

versos fenómenos que resultan de sus acciones recíprocas.

Ciencias matemáticas.

El matemático hace frecuentemente abstracción del espacio y de todas las propiedades visibles de los cuerpos, para no considerar mas que magnitudes ideales, representadas por letras ó signos particulares, y examinar mas facilmente los incrementos, los decrementos, ó las combinaciones de que son susceptibles: esto es lo que constituye la *aritmética*, *el álgebra*, *el cálculo diferencial é integral*, y *el cálculo de las variaciones*. Otras veces, circunscribiendo el matemático el espacio, examina las propiedades generales de la extension limitada y figurada de diversos modos. Considera las varias clases de líneas, y las superficies de diversas formas; estudia las circunstancias de sus contactos ó intersecciones mútuas, ó mide estas líneas y estas superficies, como tambien los volúmenes que comprenden. Estas consideraciones son el objeto de las investigaciones de la *geometría*, de la *trigonometría*, de la *aplicacion del analisis general á la geometría*. El geómetra, considerando tambien en el espacio figuras diversas, busca medios para representarlas exactamente sobre planos colocados delante de ellas de diferentes modos. Este es el método de las proyecciones que se designan en general bajo el nombre de *geometría descriptiva*.

Estos diferentes ramos de la ciencia constituyen lo que se llaman las *matemáticas puras*; y aunque conducen á determinar exactamente las diversas proporciones de la magnitud, consideradas bajo todos aspectos en nuestros usos habituales; se debe notar que son producidas enteramente por nuestro entendimiento, no tomando á lo mas de la observacion sino algunas ideas muy generales y sencillas sobre la extension y figura de los cuerpos.

Las *matemáticas aplicadas*, ó *mixtas*, se enlazan mas íntimamente con las ciencias físicas. El geómetra toma desde luego de la observacion el conocimiento de las propiedades que presentan los cuerpos en estado sólido, en estado líquido, y en estado de fluido aeriforme; supone en seguida fuerzas cuya accion se verifica chocando, tirando ó empujando los cuerpos, ya inmediatamente ó ya por intermedio ó interposicion de otro cuerpo. De todo ello deduce las leyes del equilibrio y del movimiento y todas las demas que constituyen la *mechanica racional*.

El geómetra extiende sus investigaciones á los movimientos de los cuerpos solicitados por fuerzas cuyo principio nos es desconocido todavía, y que no se manifiestan á nuestros sentidos sino por medio de los fenómenos á que dan origen. Tales son los movimientos producidos por la gravitacion universal, por las atracciones y repulsiones eléctricas ó magnéticas; tales son tambien los movimientos del calórico y de la luz. Pero para establecer sus cál-

culos, toma el géometra de las ciencias físicas, las leyes que existen entre los diferentes fenómenos del mismo género; y entonces es cuando ambas ciencias adquieren tal enlace, que es imposible hacer progresos notables en una, sin tener conocimientos muy profundos en la otra. La experiencia suministra bases al cálculo; y este con su ordinaria fecundidad, partiendo de una sola observacion, conduce á una multitud de consecuencias que sobrepujan muchas veces á las observaciones sucesivas del mismo género, ó las originan. Asi es como la *astronomia*, la *óptica*, la *acústica*, &c. han llegado á ser ciencias que pertenecen del mismo modo al cálculo que á la observacion.

De esta sencilla exposicion resulta que, si el estudio de las matemáticas puras, ó á lo menos de parte de ellas, debe preceder al estudio de las ciencias físicas para dar exactitud á nuestro entendimiento é ilustrarnos en nuestra marcha; del mismo modo el estudio de las ciencias físicas debe preceder á su vez al de las matemáticas mixtas ó aplicadas. En este caso el físico debe tener por objeto el descubrir las relaciones que existen entre los diferentes fenómenos del mismo género; por consiguiente, en el estudio de la naturaleza es preciso siempre comparar cuidadosamente las observaciones entre sí, para averiguar sus mútuas dependencias y reunir las en ciertos grupos formados sobre algunos fenómenos de los cuales cada uno pueda considerarse como el principio de todos los que le rodean.

Ciencias físicas.

El físico en medio del inmenso cúmulo de objetos ácia donde dirigir sus indagaciones, hace tambien abstraccion, ya de algunas partes del universo para examinar mas facilmente las otras, ó ya de las propiedades individuales de los cuerpos, para considerarlos bajo relaciones mas generales, y llegar poco á poco á examinarlas separadamente.

Las *ciencias físicas* se dividen principalmente en *astronomía*, *geografía*, *física*, *química*, é *historia natural*.

La *astronomía* dirige sus indagaciones sobre los cuerpos colocados en los espacios celestes; establece las pruebas de la estabilidad de unos, determina sus situaciones respectivas, y examina los diversos movimientos de otros. Observa el tiempo de una rotacion completa del sol ó de los planetas sobre sus ejes; la duracion de una revolucion completa de cada planeta al rededor del sol, y la de los diversos satélites, ó *lunas*, al rededor de sus planetas; examina la especie de curva que estos cuerpos describen al rededor de su centro de movimiento.

La comparacion de estos diversos fenómenos conduce al descubrimiento de la *gravitacion universal* ó *atraccion*, que es la base de la *astronomía matemática*.

La *geografía* se ocupa en todo lo que pertenece en particular al globo terrestre: se divide en muchas partes, á saber: 1.^a La *geografía teórica* ó *matemática*, que partiendo de las observaciones astronómicas, considera á la tierra como un cuerpo geométrico aislado en el espacio, dotado de un movimiento continuo de rotacion sobre su eje, y de revolucion al rededor del sol. Enseña á fijar exactamente, por la observacion de los astros, la posicion de los lugares que se pueden recorrer, y por consiguiente la situacion relativa de los diferentes puntos de la superficie terrestre; manifiesta tambien los principios matemáticos necesarios al levantamiento de planos, y á las diferentes proyecciones y trazados de la cartas geográficas. 2.^a La *geografía física*, que tomada en la acepcion mas lata se subdivide en otras dos ramas. Una trata de la configuracion exterior del terreno, determinando la figura de los mares, los contornos de las tierras que forman sus límites, la posicion de las islas, la de las montañas, su direccion, sus vertientes, su configuracion exterior, y por consecuencia la forma de las llanuras, y la direccion de los valles y rios. La otra trata de la composicion del terreno, de la naturaleza y posicion respectiva de las diferentes capas minerales. Esta parte, que recibe particularmente el nombre de *geognosia*, corresponde tambien al dominio de la *historia natural*, lo mismo que la que trata de la distribucion de las diversas especies de animales y vegetales en los di-

versos climas y terrenos. 3.^a La *geografía histórica, civil y política* que pertenece particularmente á la historia de los pueblos que se han sucedido en los diversos países, ó que estan establecidos actualmente en ellos; trata de las costumbres, de la industria y de las diferentes relaciones que estos pueblos pueden tener mutuamente.

La *física*, la *química* y la *historia natural* se ocupan en todo lo que es relativo á los diferentes cuerpos que se hallan en la superficie ó en el interior de la tierra.

La *física*, haciendo abstracion de la composicion de los cuerpos y sus propiedades individuales, y dejando á la *historia natural* todo lo que es relativo á la estructura y funciones de los cuerpos organizados, considera las propiedades mas generales que presentan las materias inertes en estado sólido, en estado líquido, en estado de fluido aeriforme, y en el de fluido incoercible ó imponderable. Examina las acciones mecánicas que estos cuerpos en estos diferentes estados ejercen unos sobre otros, y los diferentes fenómenos que presentan en sus movimientos.

La *química* se ocupa en la investigacion de los principios constitutivos de los cuerpos; examina las propiedades particulares de cada uno de los *elementos* ó *cuerpos simples* que los componen; indaga las combinaciones que estos elementos pueden formar unos con otros, y las acciones que pueden ejercer sobre tal ó tal cuerpo compuesto. Estudia

las acciones recíprocas que los cuerpos compuestos pueden tener sobre sí mismos para formar nuevas combinaciones.

La *química* toma el nombre de *mineral*, *vegetal* ó *animal*, segun dirige sus indagaciones sobre uno ú otro de los tres reinos de la naturaleza.

La *historia natural* estudia las formas y las diversas propiedades que presenta cada uno de los cuerpos que existen en la superficie ó en el interior de la tierra. Examina la estructura de los cuerpos desprovistos de la organizacion necesaria para las funciones vitales: estudia la organizacion y funciones de los seres vivientes: se ocupa en las diversas clasificaciones que pueden facilitar el estudio de los cuerpos, y sobre todo procura disponerlos en un orden metódico el mas conforme posible á sus analogías. Se divide en *mineralogía*, *botánica* y *zoología*.

La *mineralogía* ó *historia natural de los cuerpos inorgánicos* comprende: 1.º La descripción y clasificación de estos cuerpos: 2.º La *geología*, que trata de la posición geográfica de las diversas sustancias minerales, de sus posiciones respectivas, unas respecto de otras, de la antigüedad relativa, de las diferentes capas minerales del globo; en fin, de las modificaciones que ha sufrido y sufre habitualmente la tierra por la acción de la atmósfera, de las aguas, volcanes, &c.

La *botánica* ó *historia natural de los vegetales* comprende: 1.º La descripción y clasificación de

las especies: 2.º La *geografía botánica*, que trata de las disposiciones de los vegetales en diversos grupos particulares segun las diferentes partes de la superficie de la tierra: 3.º La *anatomía* y la *fisiología vegetales*, que tratan de la organizacion de los vegetales y de los diferentes fenómenos de la vegetacion.

La *zoología* ó *historia natural de los animales* comprende: 1.º Su descripcion y clasificacion: 2.º La *geografía zoológica*, análoga á la geografía botánica; y 3.º la *anatomía y fisiología animales*, que tratan de la organizacion de los diferentes animales, de las diferentes funciones de sus órganos, y de los fenómenos de la vida animal.

En la enumeracion que acabamos de hacer no comprendemos los diferentes *artes* que se enlazan con las ramificaciones de la *historia natural*, ó mas generalmente con las diferentes ramas de las *ciencias físicas*. Por ejemplo, el *arte de la minería*, que procede inmediatamente del estudio de las especies minerales, de la geología y de la química: la *agricultura*, que procede del estudio de las diversas especies vegetales, del de su organizacion y del de los diferentes fenómenos de la vegetacion.

La *medicina* y *cirugía*, que dirigen particularmente sus investigaciones ácia los males que afligen á la humanidad; y la *veterinaria*, que estudia los males que acometen á nuestros animales domésticos; son aplicaciones continuas de la fisiología y de la anatomía animal, como tambien del conocimien-

to de las varias propiedades de los vegetales, &c.

El arte del alfarero, vidriero, tintorero, curtidor, &c., &c., aunque practicados mucho tiempo antes de que se tuviesen conocimientos exactos sobre las ciencias físicas, sacan de ellas todos los dias aplicaciones de la mayor importancia, tanto que ellas solas pueden conducir las á su perfeccion y hacer salir á los operarios de la ciega rutina. Tendremos, pues, ocasion de citar las varias aplicaciones de las ciencias físicas á las artes, y tambien á las diversas necesidades de la vida.

Si las diferentes divisiones que acabamos de establecer en las ciencias físicas, indican desde luego bastante bien los diferentes caminos que pueden seguirse para llegar á conocer la naturaleza, no debe concluirse de esto que permanecen asi aisladas y separadas unas de otras en toda su extension: al contrario se las ve acercarse, divergir y cruzarse alternativamente, concluyendo muchas veces por confundirse. Pero lejos de que esto sea un inconveniente, es una ventaja preciosísima, pues las mismas verdades descubiertas por muchos caminos, adquieren mayor solidez, y prestándose todas las ciencias mútuos auxilios, se afirman y se ilustran recíprocamente.

CURSO ELEMENTAL DE FÍSICA.

LIBRO PRIMERO.

Nociones preliminares y fenómenos generales.

La Física propiamente dicha, tiene por objeto el estudio de las propiedades mas principales que presentan las materias inertes en estado sólido, en estado líquido, en estado de fluido aeriforme, y en estado de fluido incoercible. Examina tambien las acciones mecánicas que los cuerpos en estos diferentes estados pueden ejercer unos sobre otros, y las diversas circunstancias de sus movimientos.

En los cuatro estados que acabamos de citar, presentan los cuerpos propiedades particulares que trataremos sucesivamente en diferentes libros, aplicándolas á las diversas circunstancias del movimiento; pero existen fenómenos generales que necesitan estudiarse desde luego, y estos fenómenos exigen para ser comprendidos nociones preliminares de mecánica que hemos creído deber apuntar aqui. Estas nociones preliminares y estos fenómenos generales son los que dan origen al primer libro.

CAPÍTULO PRIMERO.

Caractéres generales de los cuerpos, y de sus diferentes estados.

1. Se llama *espacio infinito ó absoluto* la idea que queda despues de hecha abstraccion por el pensamiento de todos los cuerpos del universo. Cada parte de este espacio ó vacío que se puede concebir limitada de diferentes modos, se llama *espacio limitado ó espacio relativo*.

2. Se llama *cuerpo* la extension limitada dotada de propiedades materiales que nuestros sentidos pueden percibir de diferentes modos. Lo que distingue en general un cuerpo de una simple extension ó de un vacío es la *impenetrabilidad*, es decir, la propiedad que tiene un cuerpo de desalojar del lugar que ocupa á todos los demas (*).

La impenetrabilidad es la que anuncia la existencia de una materia cualquiera. Esta misma propiedad es la que da lugar á los diversos géneros de movimientos, pues si los cuerpos fuesen penetrables no podrian dar ni recibir ninguna especie de impulso. Por otra parte, como no se podria concebir movimiento donde no existe nada, se puede en todas partes donde se reconozca que hay movimiento anunciar la existencia de un cuerpo.

(*) Para entender bien esta propiedad en todos los casos, es menester distinguir el espacio de un cuerpo circunscrito por la continuidad aparente de su superficie, del espacio real que ocupa. Todos los cuerpos son mas ó menos porosos, y á favor de estos poros es como muchos se dejan en la apariencia penetrar, y sufren varias mutaciones notables.

3. Al momento que se concibe la idea de la extension se presenta la de la *divisibilidad*; pues si un cuerpo tiene extension se puede concebir la mitad, despues la mitad de esta mitad, y asi hasta el infinito. Esto es lo que se llama *divisibilidad geométrica*: pero se ignora si por medios mecánicos se podrá dividir un cuerpo al infinito. Todo lo que la experiencia nos enseña sobre este punto, se reduce á que muchos cuerpos pueden ser divididos en partículas tan ténues que se hacen imperceptibles á nuestros sentidos.

4. La Física propiamente dicha, no trata, como hemos ya dicho en la Introduccion, sino de las propiedades mas generales de los cuerpos inorgánicos, ó si extiende sus investigaciones sobre los cuerpos orgánicos hace abstraccion en ellos de la vida, para no considerar mas que la materia. Bajo este punto de vista los cuerpos se nos presentan en cuatro estados diferentes, á saber: en *estado sólido*, en el *liquido*, en el de *fluido aeriforme*, y en el de *fluido incoercible*.

5. Los *cuerpos sólidos* son aquellos que, como la piedra, la madera, &c. presentan al tacto una resistencia bastante sensible para poder ser cogidos y apretados entre los dedos. Son susceptibles de ser cortados de diferentes modos, y conservan inmediatamente las figuras que se les da, ó que naturalmente pueden tener. Las arenas, el polvo, &c. no son mas que una reunion de pequeñas partículas sólidas sin enlace entre sí, de las cuales se puede á lo menos tomar un puñado, si su tenuidad no permite siempre aislarlas. Aunque estas partículas sean susceptibles de rodar unas sobre otras cediendo al mas mínimo choque, sin embargo se las puede

amontonar en grupos mas ó menos considerables.

6. Los *cuerpos líquidos* son aquellos que, como el agua, no manifiestan inmediatamente al tacto mas que una débil resistencia, pero bastante sensible sin embargo para indicar su presencia aun en el estado de reposo. No pueden ser cogidos ó apretados entre los dedos como los cuerpos sólidos; no pueden amontonarse, ni conservan mas figura que aquella que les obligan á tomar las vasijas.

7. Los *fluidos aeriformes* son cuerpos la mayor parte invisibles que, como el aire que nos rodea, no pueden ser palpados, ni manifiestan de ningun modo su presencia al tacto cuando estan en reposo; pero se reconoce su existencia con certidumbre cuando estan en movimiento. Asi es que no podemos dudar de la *corporeidad* del aire atmosférico al ver el esfuerzo que tenemos que sufrir cuando nos hallamos expuestos á un viento fuerte. Por otra parte los cuerpos aeriformes pueden ser encerrados en vasos, excluir de ellos los líquidos ó excluirse mutuamente; y si pueden ser comprimidos hasta cierto punto en los vasos en que se les encierra exactamente, resisten bien pronto á la presión con una fuerza extraordinaria, como veremos en lo sucesivo. (*Lib. IV, cap. 8.*)

8. *Influencia de la temperatura sobre el estado de los cuerpos.* — El mismo cuerpo, segun las diferentes circunstancias, puede muchas veces presentarse sucesivamente bajo los diferentes estados que acabamos de indicar. La mayor parte de los cuerpos inorgánicos que son sólidos en la temperatura ordinaria, pueden ser conducidos al estado líquido por una temperatura elevada cierto número de grados mas ó menos considerable. Esto es lo que

sucede con la cera, el azufre, la mayor parte de los metales, &c. Existen sin embargo cuerpos que no pueden liquidarse ó fundirse sino con suma dificultad, y otros que son absolutamente infusibles: los hay que no pueden liquidarse por los medios ordinarios, porque un calor superior los descompone, como sucede con el mármol; sin embargo tomando las convenientes precauciones pueden tambien llegar á fundirse.

Todos los cuerpos, puestos en estado líquido por una elevacion de temperatura, vuelven al estado sólido cuando la temperatura disminuye: del mismo modo los cuerpos liquidos á la temperatura ordinaria se solidifican cuando estan expuestos á una temperatura mas baja. Asi es que el aceite comun, líquido durante el estío, toma una consistencia pastosa en el invierno. El agua toma el estado sólido en el cero del termómetro, y el mercurio se solidifica á los 39° bajo cero del termómetro centígrado.

Sin embargo existen cuerpos liquidos, tales como el espíritu de vino, que no pueden solidificarse aunque se les exponga al mayor grado de frio que se conoce.

9. Muchos cuerpos puestos en el estado líquido pueden aun pasar al estado aeriforme por un aumento de calor. Asi es que el mercurio toma el estado aeriforme en la temperatura de 346° . Se sabe que el agua pasa repentinamente á este estado á los 100° , y se puede observar que el espíritu de vino pasa al 78° , y que otros diversos cuerpos se gasifican á temperaturas mas bajas. En general no existirian sino cuerpos aeriformes si la temperatura de la superficie del globo fuese mucho mas alta

que lo es, de donde se sigue que los cuerpos que en la temperatura ordinaria se hallan en estado aeriforme, se hallarian entonces en un estado tan prodigioso de enrarecimiento, que no seria posible hacer ver su peso ni aun acaso su presencia.

Los cuerpos pueden volver del estado aeriforme al líquido bajando la temperatura. Tambien se les puede conducir á este estado comprimiéndolos en vasos, acercando asi las partículas materiales unas á otras, en cuyo caso se desprende mucho calor. La mayor parte de los cuerpos gaseosos á la temperatura ordinaria no pueden sin embargo reducirse á estado líquido ni por el frio ni por la presion.

10. Los *fluidos incoercibles ó imponderables* son en número de cuatro. Se han imaginado para explicar los fenómenos del calor, de la electricidad, del magnetismo y de la luz, y no se ha podido manifestar ni su impenetrabilidad ni su peso, lo que hace su existencia muy dudosa; pero hasta cierto punto hay motivo para admitirlos como base de teoría en razon de los movimientos de que son susceptibles. Por los experimentos modernos que citaremos en su lugar, se ha averiguado que el magnetismo procede de la electricidad, ó que ambos no son mas que modificaciones del mismo fluido.

CAPÍTULO II.

*Nociones generales sobre el equilibrio y el movimiento.*11. *Definición del reposo y del movimiento.*—

Los cuerpos se nos presentan en el estado de *reposo* ó en el de *movimiento*. Juzgamos que un *cuerpo está en reposo* cuando todas las partes de que se compone perseveran constantemente en las mismas relaciones de situacion respecto á ciertos objetos que miramos como fijos. Al contrario juzgamos que *un cuerpo está en movimiento* cuando este cuerpo ó sus diferentes partes mudan de situacion respecto á los objetos que consideramos fijos.

12. *Dificultad de juzgar si un cuerpo está en reposo ó en movimiento.*— Por simple que parezca la distincion del reposo y del movimiento, es frecuentemente muy difícil decidir si un cuerpo está en uno ó en otro estado. Por ejemplo, un hombre llevado en un barco por la corriente de un rio, juzga en reposo todos los objetos que conservan la misma situacion respecto á este bajel, y al contrario juzga que la ribera está en movimiento, y solo comparando la pequeñez del espacio en que se encuentra con la magnitud de las masas que le rodean sobre la ribera, puede adquirir un grado de certidumbre de que es realmente el bajel el que se mueve. En el mismo caso estamos sobre la tierra en donde nos parece que el sol y los astros circulan al rededor de nosotros, y solo comparando la pequeñez del globo con el sistema de los astros, es cuando principiamos á sospechar que estos podrán

acaso estar en reposo, y la tierra por el contrario en movimiento; pero esto no es mas que una sospecha que jamas prevaleceria entre las muchas opiniones contrarias si no estuviese apoyada con razones mas decisivas. En general siempre que tenemos un movimiento comun con los cuerpos que nos rodean, nos es imposible conocer el movimiento de estos cuerpos que creemos están en reposo efectivo siendo solo aparente. Esto es precisamente lo que experimentamos en la superficie de la tierra. Los cuerpos que creemos en reposo están comprendidos con nosotros en el movimiento de rotacion diurna de este globo sobre su eje, y en el movimiento anual al rededor del sol.

13. *Reposo absoluto y relativo.* — Se distingue el reposo *verdadero ó absoluto*, y el reposo *aparente ó relativo*. El reposo *absoluto* es la idea que nos formamos de la privacion *total* de movimiento, es decir, de la permanencia del cuerpo y de sus diferentes puntos en el mismo lugar del espacio absoluto. El *relativo* es la permanencia de un cuerpo, y de cada uno de sus diferentes puntos en el mismo lugar de cierto espacio limitado que se considera en reposo, aunque realmente pueda estar en movimiento, ya sea en el espacio absoluto, ó ya sea en otro espacio limitado y móvil. Por consecuencia de la distincion de reposo *absoluto y relativo* se distingue también el *movimiento absoluto y relativo*, siendo de notar que las leyes del movimiento relativo en un espacio limitado y móvil, son absolutamente las mismas que si este espacio estuviese en un reposo absoluto.

14. *Inercia de la materia.* — La naturaleza nos ofrece ningun ejemplo de un cuerpo inorgáni-

co que pase del estado de reposo al de movimiento y reciprocamente, sin que esta mudanza no proceda de una accion ejercida en este cuerpo por un agente exterior. Si los animales tienen la facultad de moverse de diferentes maneras, no puede ser sino por la accion de un agente que es independiente de la materia, puesto que los cuerpos privados de la vida no pueden tomar por sí mismos un movimiento. Por esto se admite como verdad de hecho, que la materia no puede por sí misma, es decir, sin la cooperacion de un agente independiente de ella, mudar su estado de reposo ó de movimiento. Esta ley es lo que se llama *inercia de la materia*.

15. *Idea de la resistencia y de la fuerza.*—El ejercicio habitual de nuestras facultades físicas nos da el conocimiento de la fuerza y de la resistencia. Asi pues, cuando buscamos el modo de mover una masa cualquiera experimentamos una *resistencia*, y para vencerla nos vemos obligados á desplegar una accion á la que damos el nombre de *fuerza*. Por esta razon siempre que vemos un agente cualquiera producir ó parar el movimiento de un cuerpo, juzgamos que ha desplegado una cierta fuerza, y por esto decimos: la fuerza de un caballo, la fuerza de un resorte, la fuerza de una bala, &c. Recíprocamente siempre que vemos un cuerpo que está en reposo entrar en movimiento, ó que cuando está en movimiento le vemos pararse de repente ó mudar de direccion, juzgamos que es por efecto de una fuerza, aunque el agente que la produce nos sea muchas veces desconocido.

16. *Comparacion de las fuerzas.*—El ejercicio de nuestras fuerzas físicas nos suministra tam-

bien la idea del mas y del menos en el esfuerzo que hacemos para producir ó impedir el movimiento de tal ó cual cuerpo. Esto nos enseña que las fuerzas son susceptibles de aumento ó disminucion, y que por consiguiente pueden ser consideradas como cantidades matemáticas que tienen entre sí relaciones marcadas, capaces de representarse por números ó por líneas proporcionales á estos números.

Se considera en una fuerza su *direccion* y su *intensidad*. Su direccion es la recta, segun la cual procura moverse el cuerpo: su intensidad es el esfuerzo que ejerce sobre él.

17. *Reposo y equilibrio.*—El reposo de un cuerpo puede tener lugar de muchos modos, á saber: 1.^o cuando este cuerpo no experimenta accion de ningun agente capaz de ponerle en movimiento: 2.^o cuando experimentando una accion cualquiera, su efecto es destruido, sea por obstáculos invencibles, ó sea por acciones opuestas. Cuando sucede que las fuerzas aplicadas á un cuerpo se destruyen mútuamente se dice *que se equilibran*, y el reposo que posee entonces el cuerpo se designa tambien por la palabra *equilibrio*, para distinguirle del reposo que podria tener lugar por la carencia de toda fuerza.

No existe ningun cuerpo que realmente esté en reposo por carencia de toda fuerza. El reposo que observamos en los cuerpos, es siempre el resultado del equilibrio de fuerzas actuantes ó el de la suspension de sus efectos por obstáculos invencibles. Este último caso se manifiesta en un cuerpo colocado sobre un plano horizontal, pues todo el mundo sabe que este cuerpo entra en movimiento, y cae hasta la superficie de la tierra en el mismo instante que

se retira el plano que suspendia el efecto de su pesantez.

18. Esto nos hace notar que el movimiento puede verificarse de dos maneras: ya sea por el efecto de una fuerza que obra sobre el cuerpo durante un tiempo determinado y que le abandona después á sí mismo, ó ya por efecto de una fuerza que obra constantemente sobre él, y manifiesta su accion en el momento en que desaparece el obstáculo ó causa cualquiera que se oponia al movimiento.

19. La ciencia cuyo objeto es determinar el efecto que debe producir sobre un cuerpo la aplicacion de una ó muchas fuerzas se llama *Mecánica*, y se divide en dos partes: *Estática* y *Dinámica*. La primera demuestra las relaciones que las fuerzas deben tener entre sí en magnitud y direccion para equilibrarse mutuamente; la segunda investiga el modo de moverse el cuerpo cuando las fuerzas que se le aplican no se destruyen mutuamente.

El equilibrio que se establece entre dos fuerzas iguales y opuestas, aplicadas á un mismo punto se llama equilibrio. Por consiguiente, despues de haber hallado el resultado de un numero cualquiera de fuerzas aplicadas á un mismo punto, podrá siempre establecerse el equilibrio, cuando convenientemente una fuerza igual y contraria igualmente nos hallamos en estado de descubrir si tal punto material libre está en equilibrio entre las fuerzas que se aplican, pues en este caso el resultado final debe ser igual á cero, ó lo que es lo mismo, cualquiera de las fuerzas debe ser igual y directamente opuesta á la resultante de todas las demas.

Es pues importante que empiecen por buscar

CAPÍTULO III.

Estática

20. *Resultante de muchas fuerzas.*—Cuando muchas fuerzas que no se equilibran obran simultáneamente sobre un punto material, es evidente que este punto se mueve ó adquiere una tendencia á moverse, siguiendo cierta direccion que es necesariamente única, porque este punto no puede ir por muchos caminos á un tiempo. Nada impide considerar este movimiento ó tendencia al movimiento, como el efecto de una fuerza única capaz de producir el efecto que resulta de la accion de todas las fuerzas propuestas. Esta fuerza única se llama la *resultante* de las fuerzas que solicitan el punto material, y estas toman comparativamente el nombre de *componentes*.

Es evidente que dos fuerzas iguales y directamente opuestas, aplicadas á un mismo punto se equilibran. Por consiguiente, despues de haber hallado la resultante de un número cualquiera de fuerzas aplicado á un mismo punto, podrá siempre establecerse el equilibrio, oponiendo directamente una fuerza igual y contraria. Igualmente nos hallaremos en estado de descubrir si tal punto material libre está en equilibrio entre las fuerzas que le solicitan, pues en este caso la resultante final debe ser igual á cero, ó lo que es lo mismo, cualquiera de las fuerzas debe ser igual y directamente opuesta á la resultante de todas las demas.

Es pues importante que empecemos por buscar

la magnitud y dirección de la resultante de un número cualquiera de fuerzas aplicadas á un punto ó á un sistema de puntos.

ARTÍCULO PRIMERO.

Composicion de las fuerzas aplicadas en un punto.

21. *Resultante de las fuerzas dirigidas en una misma línea.* — Cuando dos fuerzas P y Q que obran sobre un punto material M (*fig. 1*), tienen una misma dirección y ejercen su acción en un mismo sentido, es evidente que la resultante es igual á su suma, y sigue la misma dirección.

Cuando estas fuerzas obran en sentido contrario (*fig. 2*), es evidente que la resultante es igual á su diferencia, y se dirige en el sentido de la mayor.

Segun esto, la resultante de un número cualquiera de fuerzas que obran en una misma dirección y en sentido contrario, es igual á la diferencia de las sumas de las fuerzas que obran en sentidos opuestos, y obra en el sentido de la suma mayor.

22. *Resultante de las fuerzas en direcciones convergentes.* — Cuando las fuerzas propuestas obran en direcciones diferentes (*fig. 3*), tienden en parte á unirse y en parte á destruirse. En las obras de mecánica se demuestra que la resultante está representada entonces en dirección y magnitud por la diagonal del paralelogramo construido por líneas proporcionales á las fuerzas tomadas en su dirección. Asi pues, la línea M R (*fig. 3*), es la resultante de las fuerzas P y Q, representadas por las líneas P M y Q M.

Es fácil por este teorema el determinar la resultante de un número cualquiera de fuerzas aplicadas en un punto. Se buscará desde luego la resultante de dos fuerzas, despues se compondrá esta resultante con la tercer fuerza, y asi sucesivamente.

ARTÍCULO II.

Composicion de las fuerzas aplicadas á un sistema de puntos ligados invariablemente entre sí.

23. Si cada punto material es solicitado por muchas fuerzas, se principiará por buscar la resultante de cada grupo de fuerzas, y luego no habrá mas que componer todas estas resultantes. En esto se presentan varios casos:

1.º *Estas resultantes pueden ser todas paralelas entre sí:* 2.º *todas pueden estar situadas en un mismo plano:* 3.º *en fin, pueden estar dirigidas en el espacio de diversos modos.*

PRIMER CASO. *Composicion de las fuerzas paralelas.*

24. *Obrando las fuerzas en un mismo sentido.* — Dos fuerzas paralelas P y Q (*fig. 4*) que obran en el mismo sentido, y cuyos puntos de aplicacion A y B estan unidos entre sí de un modo invariable por una línea recta A B, tienen una resultante única paralela á ellas igual á su suma, y dirigida en el mismo sentido.

El punto O de aplicacion de la resultante sobre la recta A B, está colocado de tal modo, que divide esta línea en partes recíprocamente proporcionales á las fuerzas; es decir que se tiene

$$AO:OB::Q:P.$$

25. *Obrando las fuerzas en sentidos contrarios.* — Si las fuerzas paralelas aplicadas á los puntos A y B obran en sentido contrario (*fig. 5*), la resultante es siempre paralela á las componentes; pero es igual á su diferencia, y se dirige en el sentido de la mayor.

El punto de aplicacion O no se encuentra ya entre los puntos A y B, sino en la prolongacion de la recta que las une, del lado de la fuerza mayor, y á distancia de los puntos A y B que son recíprocamente proporcionales á las fuerzas, es decir, que tiene $OA : OB :: P : Q$.

26. *Siendo las fuerzas contrarias iguales.* — Cuando las fuerzas paralelas que obran en sentido contrario P y Q (*fig. 5*) son iguales, no tienen resultante. Se concibe en efecto que si pudiesen ser reemplazadas por una fuerza única, no habria razon para que esta fuerza obrase mas en un sentido que en el otro.

La reunion de dos fuerzas paralelas iguales se designa por el nombre de *par*. Se demuestra que un par cualquiera puede ser trasportado donde acomode en su plano, ó en otro cualquiera paralelo, y puesto como se quiera en este plano sin que su efecto sobre el cuerpo á que está aplicado se altere, con tal que los nuevos puntos de aplicacion esten invariablemente enlazados con los primeros.

27. *Resultante de un número cualquiera de fuerzas paralelas.* — Siguiendo estos detalles es fácil componer un número cualquiera de fuerzas paralelas que esten ó no situadas en un mismo plano. Se compondrán desde luego dos fuerzas, despues se compondrá su resultante con otra fuerza, y asi sucesivamente. Se obtendrá de este mo-

do una *fuerza única* que será la *resultante* de las propuestas, ó un *par* de fuerzas que no tendrá *resultante*.

28. *Centro de las fuerzas paralelas.*—Si las fuerzas P y Q (*fig. 4*), sin mudar de magnitud y sin cesar de ser paralelas, mudan de direccion girando al rededor de sus puntos de aplicacion, la resultante girará igualmente, será siempre igual á su suma, y pasará siempre por el mismo punto. Este punto fijo por el cual pasa siempre la resultante sea la que fuese la posicion de las fuerzas paralelas, se llama *centro de las fuerzas paralelas*.

SEGUNDO CASO. *Composicion de las fuerzas situadas en un mismo plano.*

29. *Resultante de dos fuerzas.*—Sean P y Q dos fuerzas de direcciones concurrentes que obran sobre los puntos A y B (*fig. 6*) ligados invariablemente entre sí: prolongando las direcciones de estas fuerzas se encontrarán en un punto O; y si se imagina por un momento que este punto está invariablemente ligado con los dos primeros, se podrán considerar las fuerzas como si estuviesen inmediatamente aplicadas sobre él. Desde luego por la regla del paralelógramo de las fuerzas (22) se determinará la resultante R de las fuerzas, que encontrará la recta A B en un cierto punto C, donde se podrá, si se quiere, aplicarla.

Este punto está determinado por la condicion de que en tirando desde él las perpendiculares CD, CE á las direcciones de las fuerzas propuestas, esten entre sí recíprocamente como las fuerzas, es decir que se tiene $CD: CE:: Q: P$, ó lo que es lo mismo, $P \times CD = Q \times CE$.

Los productos que constituyen cada uno de los miembros de esta ecuacion se llaman *momentos* de las fuerzas.

30. *Para componer un número cualquiera de fuerzas* dirigidas en el mismo plano, y aplicadas á un número de puntos ligados entre sí de un modo invariable, se prolongarán dos de estas fuerzas hasta que se encuentren; se buscará su resultante y su punto de aplicacion; despues se compondrá esta resultante con otra fuerza, &c. y se obtendrá de este modo una *resultante final* que será la de todas las fuerzas, ó un *par* de fuerzas que reemplazará todas las propuestas.

TERCER CASO. *Composicion de las fuerzas que obran de un modo cualquiera en el espacio.*

31. *Un sistema de fuerzas de esta naturaleza puede transformarse en dos sistemas*; el uno compuesto de fuerzas que se hallen situadas todas en un plano dado de posicion, y el otro compuesto de fuerzas perpendiculares á este plano, lo cual se demuestra rigurosamente, y es fácil concebir su posibilidad. En efecto, supongamos un plano fijo dado de posicion, y prolonguemos mentalmente las direcciones de las fuerzas hasta encontrar este plano: si se consideran los puntos de interseccion como ligados invariablemente con los puntos dados, se podrán considerar las fuerzas como inmediatamente aplicadas á ellos. Pero como la fuerza que obra en un punto puede ser mirada como la resultante de dos fuerzas, de las cuales una estaria en el plano, y la otra seria perpendicular á este mismo; resulta que cada fuerza puede ser reemplazada por un sistema de dos fuerzas, y por consi-

guiente el sistema total puede descomponerse en los mismos dos sistemas que hemos enunciado.

32. Ya sabemos componer cada uno de los dos sistemas que acabamos de enunciar; pero pueden ocurrir tres casos.

- 1.º Que cada sistema tenga una resultante única.
- 2.º Que uno de los sistemas tenga una resultante única, y el otro se reduzca á un par de fuerzas.
- 3.º Que cada sistema se reduzca á un par.

(A) *Teniendo cada sistema una resultante única.*

Si las dos resultantes se hallan en un mismo plano, se podrá componerlas en una sola fuerza que será la resultante de estas dos fuerzas.

Si estas dos resultantes se hallan en planos diferentes, ya no será posible el componerlas en una fuerza única. En efecto, si estas dos fuerzas tuviesen una resultante, se podría tomar en su direccion un punto fijo ligado invariablemente con los demas puntos, y las dos fuerzas se equilibrarian á su rededor; pero este equilibrio es imposible, pues entonces se podría tirar por dicho punto una recta fija que cortase la direccion de una de las fuerzas, sin estar comprendida en el plano de la otra: la fuerza que esta recta encontrase seria destruida, pero nada podría impedir á la otra producir un movimiento de rotacion al rededor del eje fijo.

(B) *Teniendo un sistema una resultante única, y reduciéndose el otro á un par de fuerzas.*

Descomponiendo, ya sea la resultante única, ya cada una de las fuerzas del par, se pueden reducir

las tres fuerzas á otras dos, situadas en planos diferentes, que desde luego se ve no pueden ya reducirse á una sola.

Recíprocamente se pueden descomponer dos fuerzas que no se encuentren, en un par de fuerzas situadas en cierto plano, y una fuerza situada en otro plano.

(C) *Cada sistema reduciéndose á un par.*

Se demuestra que los dos pares pueden ser reducidos á uno solo, y por consiguiente que no hay resultante única.

ARTÍCULO III.

Condiciones del equilibrio de un cuerpo sólido entre las fuerzas que le solicitan.

33. Es fácil deducir de lo que precede las condiciones de equilibrio de un cuerpo solicitado por un sistema cualquiera de fuerzas; pero distinguiremos dos casos: 1.º el caso en que el cuerpo está libre, es decir, que no está sujeto por ningun punto fijo: 2.º el caso el que el cuerpo está sujeto por uno ó muchos puntos fijos.

PRIMER CASO. *Equilibrio de un cuerpo libre.*

34. *Un cuerpo libre solicitado por una sola fuerza no puede estar en equilibrio.*

Si está solicitado por un grupo de fuerzas que concurren al mismo punto, no puede estar en equilibrio á menos que la resultante de todas las fuerzas no sea igual á cero.

35. *Un cuerpo libre solicitado por dos fuerzas aplicadas á puntos diferentes, no puede estar en equilibrio sino en el caso en que estas fuerzas sean iguales y directamente opuestas; pues si son paralelas ó convergentes, ó están situadas en planos diferentes no pueden equilibrarse.*

Si este cuerpo está solicitado por dos grupos de fuerzas que cada uno tenga su punto particular de aplicacion, no puede estar en equilibrio sino en el caso en que las resultantes sean iguales y directamente opuestas, y en el caso en que cada grupo tenga una resultante nula.

36. *Un cuerpo libre solicitado por un número cualquiera de fuerzas paralelas, no puede estar en equilibrio sino en el caso en que estas fuerzas tengan entre sí tal relacion de magnitud y de posicion, que una cualquiera pueda ser igual y directamente opuesta á la resultante de todas las demas; pues si no tienen esta relacion entre sí, se reducirá á una fuerza única de una cierta magnitud ó á un par de fuerzas, y en ninguno de estos casos podrá haber equilibrio.*

Lo mismo absolutamente puede decirse de un cuerpo solicitado por fuerzas situadas en un mismo plano, y que cada una tenga su punto particular de aplicacion.

37. *Un cuerpo libre solicitado por un número cualquiera de fuerzas dirigidas de un modo cualquiera en el espacio, y que cada una tenga su punto particular de aplicacion, no puede estar en equilibrio á menos que cada uno de los sistemas en que hemos visto se podia descomponer el sistema total (31) no esté separadamente en equilibrio, pues si uno está en equilibrio y el otro no, este último*

producirá un movimiento cualquiera; y si cada sistema no está en equilibrio, no podrán presentarse sino tres circunstancias diferentes:

1.^a *Que cada sistema se reduzca á una fuerza única.*

2.^a *Que uno de los dos sistemas se reduzca á una fuerza única, y el otro á un par de fuerzas.*

3.^a *Que cada sistema se reduzca á un par.*

Hemos ya notado (32 A) que en la primera circunstancia, si las dos fuerzas se encuentran en un mismo plano tienen una resultante que por consiguiente debe producir un movimiento; y que si estas dos fuerzas se hallan en planos diferentes no pueden equilibrarse.

En la segunda hemos visto que las tres fuerzas se reducen á dos que no están en un mismo plano, y no pueden equilibrarse (32 B).

En la tercera los dos pares se reducen á uno que no puede producir equilibrio (32 C).

Luego el sistema total no puede estar en equilibrio sino en el caso en que cada sistema parcial lo esté separadamente.

SEGUNDO CASO. *Equilibrio de un cuerpo sujeto por uno ó muchos puntos fijos.*

38. *Cuando un cuerpo está sujeto por un punto fijo al rededor del cual puede girar libremente, ya no se necesita para que haya equilibrio que la resultante de todas las fuerzas sea nula, sino solo que pase por el punto fijo que destruye su efecto por su resistencia. Si la resultante tiene una intensidad real y no pasa por el punto fijo, es evidente que producirá en el cuerpo un movimiento de rotación al rededor de este punto; luego si sucede que un*

sistema de fuerzas aplicadas á un cuerpo fijo por un punto, en lugar de componerse en una fuerza única se compone en un par de fuerzas, ó en dos que esten en planos diferentes no podrá haber equilibrio, porque las dos resultantes no podrán pasar á la vez por el punto fijo.

39. *Cuando un cuerpo está sujeto por un eje al rededor del cual puede girar sin resbalar sobre su longitud, es evidente que el equilibrio puede tambien verificarse sin que la resultante de todas las fuerzas que se solicitan este cuerpo sea nula.*

1.º Si las fuerzas están situadas en un mismo plano sobre el cual se halle el eje, es evidente que no podrá resultar ningun movimiento; pues el efecto de cada fuerza será destruido, ya porque esta fuerza encuentre el eje fijo, ó ya porque le sea paralela.

2.º Si las fuerzas están situadas de un modo cualquiera en el espacio, y se reducen á una resultante única, es menester para que haya equilibrio que esta fuerza pase por el eje ó que le sea paralela.

3.º Si las fuerzas que obran sobre el cuerpo se reducen á un par, es menester para que haya equilibrio que el eje del cuerpo se halle en el plano de este par, pues entonces no puede resultar ningun movimiento; ó si no es menester que el plano de este par sea paralelo al eje, pues entonces puede transportarse el par á un plano que pase por el eje (26).

4.º En fin, si las fuerzas que solicitan un cuerpo se reducen á dos fuerzas situadas en planos diferentes, es menester en el caso de equilibrio que estas dos fuerzas pasen por el eje, ó si no pueda des-

componérselas en un par cuyo plano pase por el eje ó le sea paralelo, y otra fuerza que tambien pase por el eje.

40. Si el cuerpo está simplemente apoyado en una superficie, el equilibrio no puede verificarse sino en el caso de una resultante única; pero además es menester que esta resultante oprima al cuerpo contra la superficie, de modo que no pueda resbalar en ningun sentido, lo que exige que sea *normal* á la superficie (*).

Si el cuerpo está apoyado por un solo punto, es menester que la resultante normal pase por este punto; si está apoyado por dos puntos, es menester que la resultante encuentre á la línea que une estos dos puntos. En fin, si este cuerpo está apoyado por tres ó por mayor número de puntos, es menester que la resultante normal pase por el interior del polígono formado por los puntos de apoyo.

41. *Aplicacion á las tres máquinas simples.*— Todo lo que acabamos de decir sobre el equilibrio de los cuerpos sostenidos por uno ó muchos puntos fijos, encierra de un modo general la teoría del equilibrio de las tres máquinas simples: la *palanca*, el *torno*, y el *plano inclinado*, á las cuales se pueden reducir todas las demas.

La *palanca* es una barra inflexible, recta ó curva, sostenida por un obstáculo ó por un punto fijo, al rededor del cual puede girar en uno ó muchos sentidos.

(*) Como no se puede decir que una línea recta es perpendicular á una superficie curva, se expresa por la palabra *normal* la perpendicular al plano tangente á la curva en el punto de que se trata.

Se hace mucho uso de la palanca para poner en equilibrio dos fuerzas que no son directamente opuestas, y que se hallan con el punto de apoyo en un mismo plano. Asi es como dos fuerzas paralelas iguales y aplicadas á las extremidades A y B de una vara inflexible (*fig. 7*), y colocadas á igual distancia del punto de apoyo C se equilibran. Este es el principio de la balanza ordinaria de dos platillos ó sea el *peso de cruz*.

Si las fuerzas P y Q fuesen desiguales, bastaria para que hubiese equilibrio que el punto C estuviese de tal modo colocado, que dividiese la recta que une los puntos de aplicacion en partes recíprocamente proporcionales á las fuerzas. Este es el principio de la balanza llamada *romana*.

Cuando las fuerzas son oblicuas á la palanca, la posicion del punto fijo en caso de equilibrio, está determinado por la condicion de que los momentos de fuerzas tomados desde este punto son iguales. Se vé que con una fuerza muy pequeña se puede por medio de una palanca de gran longitud producir un esfuerzo muy considerable.

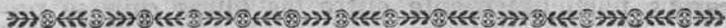
El *torno* ó *cabrestante* es un cuerpo que puede girar libremente al rededor de un eje fijo; se da mas particularmente á esta máquina el nombre de *torno* cuando el eje es orizontal, y de *cabrestante* cuando el eje es vertical.

El *plano inclinado* es un plano inflexible inclinado á la fuerza que solicita el cuerpo, y sobre el cual puede este cuerpo resbalar libremente.

Se hallarán todos los detalles de estas máquinas simples y otras que se derivan de ellas en las obras de Mecánica, con muchas indagaciones sobre el equilibrio de los cuerpos de formas variables. Cita-

remos particularmente entre las obras que se podrán consultar la Estática de Monge, corregida por Hachette, donde se encuentra á un tiempo suma sencillez, claridad y precision: la Estática de Poincot que es algo menos elemental, pero está redactada bajo un plan muy luminoso; la Mecánica de Poisson, cuyo primer libro encierra todo lo que se puede desear sobre la estática elemental, pero que exige conocimientos del cálculo diferencial. Estas dos últimas obras que nos han servido de guia, presentan la série de las proposiciones poco mas ó menos en el orden que hemos adoptado, y nos parece el mas filosófico. Con su estudio es como se podrá formar una idea clara de todas las proposiciones que hemos enunciado, cuya demostracion no pertenece á una obra de Física. Es menester adquirir estos conocimientos por medio de las matemáticas, cuyo estudio á lo menos en lo que tiene de elemental, debe ser la base principal de una buena educacion. (*)

(*) Estas obras que cita el autor están todas en francés; y los que no posean este idioma deben consultar el tratado de Mecánica de D. J. M. Vallejo, que es el tomo III, parte primera de su obra de Matemáticas. == *Nota del traductor.*



CAPÍTULO IV.

Dinámica.

42. Un punto material libre solicitado por una fuerza (*), se mueve siguiendo la línea recta que señala la dirección de esta fuerza. La rapidez ó velocidad del movimiento en un punto cualquiera de esta línea, depende de la magnitud de la fuerza que obra sobre él, y del tiempo que ha pasado desde el principio de su acción.

ARTÍCULO PRIMERO.

Movimiento uniforme.

43. *Definición.* — Si una fuerza después de haber obrado durante un tiempo cualquiera cesa de repente, el móvil continúa moviéndose en la misma dirección en virtud de la velocidad adquirida, y conserva constantemente esta misma velocidad, ínterin no experimente ninguna resistencia. Este principio fundamental de la Mecánica es un resultado del raciocinio y de la experiencia. En efecto, siendo un cuerpo por sí mismo incapaz de tomar ningún movimiento, debe también ser incapaz de alterar el que ha recibido, ya sea en su dirección, ya sea en su velocidad. Por otra parte ve-

(*) Esta fuerza puede ser la resultante de muchas fuerzas que no se equilibren, y que conserven constantemente entre sí la misma relación de magnitud y dirección durante todo el tiempo del movimiento.

mos que el movimiento que posee un cuerpo, se perpetúa mas largo tiempo á medida que los rozamientos y todos los demas obstáculos que procuran destruirle disminuyen, lo cual conduce á creer que sin estos obstáculos (de los cuales se puede hacer abstraccion en las teorías, para tomarlos despues en consideracion en su aplicacion) el movimiento adquirido duraria siempre.

Esta especie de movimiento en el cual la velocidad es constante, es decir, en el cual el móvil recorre constantemente el mismo espacio en el mismo intervalo de tiempo, se llama *movimiento uniforme.*

44. *Medida de la velocidad de un cuerpo.* — Se mide la velocidad de un cuerpo por el espacio que recorre uniformemente durante la unidad de tiempo, v. gr. un segundo; segun esto el espacio recorrido uniformemente por un cuerpo durante un tiempo cualquiera, es igual á la velocidad repetida tantas veces como unidades hay en el número que expresa este tiempo, ó, en otros términos, el espacio crece proporcionalmente al tiempo. Llamando V la velocidad del móvil, y E el espacio recorrido durante un tiempo T, se tiene $E = VT$, y de aqui $V = \frac{E}{T}$ es decir, que en el movimiento uniforme la velocidad es igual al espacio dividido por el tiempo.

ARTÍCULO II.

Movimiento uniformemente acelerado.

45. *Definicion.* — Durante todo el tiempo que una fuerza obra sobre un cuerpo, le comunica sucesivamente velocidades cada vez mayores. La es-

pecie de movimiento que resulta se llama *movimiento uniformemente acelerado*, cuando la fuerza conserva constantemente la misma intensidad.

Para concebir mejor esta especie de movimiento, divídase mentalmente el tiempo en una infinidad de intervalos iguales sumamente cortos, y supóngase que la fuerza obra como instantáneamente sobre el móvil al principio de cada intervalo. Desde luego el movimiento uniformemente acelerado será reemplazado por una serie de movimientos uniformes, cuyas duraciones serán sumamente pequeñas, y cuyas velocidades serán sucesivamente mayores y mayores.

46. *Aplicacion del cálculo á este movimiento.* — Es un principio generalmente recibido que las velocidades que un mismo cuerpo es susceptible de adquirir por fuerzas de diferentes magnitudes que obran sobre él al mismo tiempo, son proporcionales á las intensidades de estas fuerzas (*). De aqui se sigue que si un cuerpo ha adquirido cierta velocidad por la accion casi instantanea de una fuerza, y que otra fuerza viene un momento despues á solicitarle de nuevo durante un tiempo muy corto en la misma direccion, la velocidad que tendrá despues de este segundo instante será proporcional á

(*) La proporcionalidad de las velocidades á las intensidades de las fuerzas no es en el fondo mas que una hipótesi, pues de que una fuerza sea doble, triple, &c. de otra, no se infiere necesariamente que pueda comunicar al móvil una velocidad doble, triple, &c., de la que le comunicaria la fuerza simple; pero esta hipótesis es la única que se adopta á los fenómenos que nos presenta el estado actual del universo. (Véase á Laplace *Mecánica celeste lib. I, cap. II, y tambien cap. VI en las leyes del movimiento en una hipótesi cualquiera*).

la suma de las fuerzas, ó á la diferencia si la segunda fuerza obra en sentido contrario á la primera. Segun esto supongamos que la fuerza aceleratriz sea constante, y que g sea la velocidad que comunica á cada instante al móvil: las velocidades sucesivas serán g , $2g$, $3g$ de suerte que despues de un número t de instantes iguales la velocidad será tg .

47. Partiendo de este principio se demuestra que el espacio e recorrido durante un tiempo t se representa por $\frac{1}{2}gt^2$; de donde se concluye que los espacios recorridos por diferentes cuerpos con movimiento uniformemente acelerado, están entre sí en razon de los cuadrados de los tiempos, ó como los cuadrados de las velocidades finales.

Si al cabo del tiempo t la accion de la fuerza aceleratriz cesase de repente, el movimiento se haria al instante uniforme, y la velocidad adquirida v seria tg ; el espacio que el móvil recorrería durante un tiempo t seria vt (44), y reemplazando por v su valor, seria representado este espacio por gt^2 : pero esta expresion es el doble de $\frac{1}{2}gt^2$: luego *el espacio recorrido durante un tiempo t con un movimiento uniformemente acelerado, es la mitad del espacio que seria recorrido uniformemente en el mismo tiempo con la velocidad final.* Luego una fuerza aceleratriz constante comunica al móvil en un tiempo cualquiera una velocidad doble del espacio que le ha hecho recorrer en este mismo tiempo.

48. Si en el momento en que la fuerza aceleratriz constante principia á obrar sobre el móvil, tenia éste ya en el mismo sentido cierta velocidad inicial, la velocidad adquirida al fin de cada instante en virtud de la fuerza aceleratriz, se hallará

aumentada con esta velocidad inicial; de suerte que se tendrá $v = a + gt$, llamando a á la velocidad inicial. Del mismo modo el espacio recorrido durante un tiempo t , estaria aumentado con el espacio recorrido en el mismo tiempo con la velocidad inicial; de manera que se tendria

$$e = at + \frac{1}{2} gt.^2$$

ARTÍCULO III.

Movimiento uniformemente retardado.

49. En vez de concebir la fuerza aceleratriz como obrando constantemente en sentido del impulso primitivo, se puede suponer que obra en sentido contrario: desde luego disminuirá cada instante la velocidad inicial por los mismos grados que la aumentaria si obrase en el mismo sentido; de suerte que despues de un tiempo t , la velocidad del móvil seria $v = a - gt$; y el espacio recorrido seria

$$e = at - \frac{1}{2} gt.^2$$

La velocidad inicial disminuida continuamente concluirá por hacerse nula, y si entonces la fuerza retardatriz se hace tambien nula, el móvil quedará en reposo; pero si al contrario la fuerza retardatriz continúa su accion, el móvil retrocederá por el mismo camino, y cuando haya llegado al punto de donde habia partido, habrá adquirido una velocidad igual á la que poseía en este punto, pero en sentido contrario.

ARTÍCULO IV.

Movimiento simplemente variado.

50. Si la fuerza aceleratriz varía continuamente de intensidad durante el tiempo que obra sobre el móvil, la velocidad adquirida á cada instante variará proporcionalmente, y el movimiento producido no será ya uniformemente acelerado, sino que dependerá de la ley segun la cual varíe la fuerza aceleratriz. Se hallan en este caso fórmulas particulares que deben consultarse en las obras de Mecánica.

ARTÍCULO V.

Movimientos curvilíneos.

51. *Modo de concebir este movimiento.* — Si una fuerza principia á obrar sobre un punto en reposo, y continúa siempre su accion en la misma direccion, este punto describirá una línea recta; pero si la direccion de esta fuerza varía sin cesar durante el movimiento, es evidente que el punto material describirá una curva.

Un punto material que despues de haber recibido un impulso queda abandonado á sí mismo, no puede describir una línea curva, á menos que no sobrevenga una fuerza ó un obstáculo que mude á cada instante la direccion de su movimiento.

52. *Modo de someterle al cálculo.* — Para determinar en todos los casos con mas facilidad las circunstancias del movimiento curvilíneo, se pueden considerar las fuerzas como que obran sobre el

móvil en intervalos de tiempo infinitamente pequeños, de modo que la curva será un polígono de infinito número de lados, de los cuales cada uno será recorrido con un movimiento uniforme durante el intervalo correspondiente.

Es evidente que el punto material que describe un polígono, continuaria describiendo uniformemente el último lado de este polígono, si ninguna fuerza obrase de nuevo sobre él; por consiguiente, cuando un móvil describe una línea curva, si en un punto cualquiera la fuerza que varía el movimiento se hiciese nula, el móvil recorrería uniformemente la tangente de la curva en este punto.

53. *Que se entiende aqui por velocidad.* — En el movimiento curvilíneo se llama velocidad de un móvil en un instante cualquiera, la del movimiento rectilíneo y uniforme que se verificaria si en este instante las causas que hacen variar el movimiento cesasen en su accion. Se puede hallar la velocidad en un punto cualquiera de la curva considerada como una línea polígona, dividiendo la longitud infinitamente pequeña del lado que el móvil describe entonces, por el tiempo infinitamente pequeño que emplea en describirle.

54. *Ejemplo del movimiento curvilíneo parabólico.* — Sea A un punto material dotado de un movimiento uniforme en direccion de la recta AC (fig. 8), y solicitado á cada instante por una fuerza aceleratriz P, constantemente perpendicular á la horizontal AM.

Los espacios recorridos segun AB, ó segun las paralelas á esta línea, crecerán como los cuadrados de los tiempos (47); de suerte que si Ab representa el espacio recorrido, en el primer instante los

espacios recorridos en 2, 3, 4....., &c. instantes serán 4 Ab , 9 Ab , 16 Ab , &c.

Los espacios recorridos segun AC crecerán solamente como el tiempo (44); de suerte que, si Aa representa el espacio recorrido en el primer instante, los espacios recorridos en 2, 3, 4 instantes serán 2 Aa , 3 Aa , 4 Aa , &c.

Segun esto, el móvil que en el primer instante está dirigido por una parte hácia a y por otra hácia b , recorrerá la diagonal Am , y se hallará en el punto m al fin de este instante. Al segundo instante el móvil empujado por una parte hácia a' y por otra hácia b' se hallará trasportado en m' ; despues en m'' , m''' , &c. La línea polígona recorrida será una línea curva, cuando los intervalos de tiempo que separan los impulsos sucesivos sean infinitamente pequeños.

Cada uno de los puntos m , m' , m'' , &c. se hallará en la interseccion de dos líneas, de las cuales una será paralela á AC y la otra paralela á AB . Las líneas paralelas á AC son entre sí como los tiempos 1, 2, 3, 4; las líneas paralelas á AB están entre sí como los cuadrados de los tiempos 1, 4, 9, 16, &c. es decir, como los cuadrados de las primeras. Lo mismo será para todos los puntos de la curva continua; es así que este es el caracter de una parábola cuyo eje mayor sería paralelo á AB ; luego *la curva descrita por el móvil es una parábola situada de este modo.*

55. *Caso en que la fuerza aceleratriz se dirige hácia un punto fijo.* — Uno de los casos del movimiento curvilíneo que interesa con mas particularidad en las ciencias físicas, porque encierra toda la teoría del movimiento de los cuerpos celestes, es

aquel en que la fuerza aceleratriz que muda á cada instante el movimiento, se dirige constantemente hácia un punto fijo á donde procura conducir al móvil. *Esta fuerza se llama centripeta.*

En este caso se demuestra que, cualquiera que sea la fuerza aceleratriz, las *áreas descritas al rededor del punto fijo por el radio vector (*) del móvil, son proporcionales á los tiempos empleados en describirlas.*

Cuando la fuerza es proporcional á la distancia del móvil al punto fijo, se demuestra que *la curva descrita es una elipse, cuyo centro se halla en el punto fijo.*

Cuando la fuerza está en razon inversa de los cuadrados de las distancias del móvil al punto fijo, se demuestra que *la curva descrita es una elipse, una parábola, ó una hipérbola que tienen por uno de sus focus al mismo punto fijo.*

Si muchos móviles describen elipses diferentes en virtud de una fuerza que obra en razon inversa de los cuadrados de sus distancias al punto fijo, se demuestra que *los cuadrados de los tiempos de las revoluciones son como los cubos de los ejes mayores de estas curvas.*

Para ver estas demostraciones deben consultarse los tratados de Mecánica de Poisson, de Franccœur, &c.

(*) Se llama *radio vector* la línea que junta á cada momento el móvil y el punto fijo.

ARTÍCULO VI.

Movimiento de un cuerpo material sobre una curva dada.

56. Acabamos de examinar el caso en que la dirección primitiva de un punto material se cambia á cada instante por la acción de una fuerza. Se puede fácilmente referir á este caso aquel en que el cuerpo fuese desviado á cada instante por un obstáculo.

Cuando un móvil está sujeto á moverse sobre una curva dada, *la resistencia de la curva produce el efecto de una fuerza aceleratriz dirigida á cada momento según la normal al punto que se considera*; de modo que, añadiendo al sistema de fuerzas que solicita ya al cuerpo una nueva fuerza normal á la curva, igual y contraria á la presión que sufre esta curva, se podrá considerar el punto material como si estuviese libre.

57. *Ejemplo de un movimiento circular.* — Supongamos un punto material m (fig. 9), ligado á un punto fijo c por un hilo inextensible cm . Supongamos que se da á este punto cierta velocidad en una dirección perpendicular á la longitud del hilo, es evidente que este punto describirá un círculo cuyo centro será c , y cm el radio, y que durante este movimiento el hilo que mantiene al móvil á una distancia constante del punto c , sufrirá cierta tensión en el sentido de su longitud. Aplicando al móvil una fuerza igual y contraria á esta tensión, y constantemente dirigida hácia el centro c , se podrá en seguida hacer abstracción del hilo, y considerar el móvil como absolutamente libre.

La *tension* que experimenta el hilo se debe en el caso presente á la tendencia continua del móvil á escaparse por la tangente al círculo que describe. Se demuestra que esta *tension* es igual al cuadrado de la velocidad dada al móvil, dividido por el radio del círculo, es decir, $\frac{v^2}{R}$. Esta es la medida de la fuerza centrípeta que sería menester aplicar en el punto *m* para poder hacer abstraccion del hilo.

La *tension* $\frac{v^2}{R}$ que experimenta el hilo *cm* en virtud de la velocidad tangencial aplicada al móvil se llama *fuerza centrífuga*. Esta fuerza está en razon directa del radio del círculo descrito, é inversa del cuadrado del tiempo empleado en describir la circunferencia entera.

58. *Fuerza centrífuga variada.* — En todos los casos en que el móvil ha recibido un solo impulso, y en seguida queda abandonado á sí mismo, la velocidad del movimiento circular es uniforme, y la *tension* $\frac{v^2}{R}$ es la misma en todos los instantes; pero si sucediese que el móvil fuese solicitado por una fuerza aceleratriz constantemente perpendicular al hilo, la *tension* variaría á cada instante, y sería igual en un punto cualquiera al cuadrado de la velocidad correspondiente á este punto dividido por el radio.

Si esta fuerza, en vez de ser perpendicular á la longitud del hilo, fuese oblicua en uno ú otro sentido, se la descompondrá en dos, la una perpendicular á dicha longitud, y la otra dirigida segun la misma longitud. La *tension* del hilo en un instante cualquiera será igual á la fuerza centrífuga que hay

en aquel momento mas ó menos el esfuerzo constante que produce la componente normal.

59. En lugar de suponer que el punto material esté retenido al rededor del centro c por un hilo, se puede concebir que está sujeto á recorrer la circunferencia interior de un anillo; en este caso el móvil ejercerá en la superficie presiones normales análogas á las tensiones que ejercia en los hilos de los números precedentes.

60. *Movimiento curvilíneo cualquiera.* — Si el móvil está sujeto á describir cualquiera otra curva que no sea el círculo, se descompondrán del mismo modo las fuerzas que le solicitan en componentes tangentes á la curva, y componentes normales; la presion ejercida sobre la curva será igual á la fuerza centrífuga debida á la velocidad actual, mas ó menos la accion de las fuerzas normales.

La fuerza centrífuga en las curvas diferentes del círculo, es igual al cuadrado de la velocidad en el punto que se considera, dividido por el radio del círculo osculador, es decir, por el radio del círculo que se acerca mas á confundirse con la curva en este punto.

61. *Efectos de la fuerza centrífuga.* — Todos los cuerpos que giran al rededor de un eje fijo adquieren una fuerza centrífuga. En virtud de esta fuerza el lodo que se pega á las ruedas de los coches se desprende de ellas, y es arrojado en línea recta con la velocidad adquirida durante el movimiento de rotacion. Tambien causa la fuerza centrífuga la tirantez de los cordones de una honda, y en virtud de la velocidad adquirida durante el movimiento de rotacion, la piedra se escapa tan pronto como se suelta uno de los ramales que la

detienen. Toda la destreza del hondero consiste en calcular bien la tangente que pase por el punto á que se propone llegar.

Los soles artificiales tambien nos presentan un hermoso ejemplo de la velocidad centrifuga combinada con la velocidad de rotacion: se puede notar que los cohetes describen en el aire curvas parabólicas.

ARTÍCULO VII.

Medida de las fuerzas.

62. Mientras que se consideran las fuerzas como aplicadas á puntos materiales, ó á cuerpos del mismo volumen y de la misma materia, sus intensidades están entre sí en razon de las velocidades que comunican en el mismo intervalo de tiempo; pero no sucede lo mismo cuando las fuerzas están aplicadas á cuerpos diferentes, ya sea por su volumen, ya sea por su naturaleza.

63. *Cuerpos diferentes por su volumen.*—Sea (fig. 10) una serie de cuerpos del mismo volumen y de la misma materia que están independientes unos de otros, y se hallan solicitados por fuerzas iguales y paralelas; todos estos cuerpos adquirirán la misma velocidad en el mismo intervalo de tiempo. Si se supone que de repente quedan ligados invariablemente entre sí, de modo que no formen mas que un solo cuerpo, es evidente que su reunion poseerá la misma velocidad que cada cuerpo en particular: esta velocidad podrá considerarse como resultante de la accion de una sola fuerza, igual á la suma de las fuerzas propuestas.

De aquí se sigue que si es menester cierta fuerza para comunicar en un tiempo dado cierta velocidad á un volumen determinado de materia, se necesitará una fuerza doble, triple, cuádruple, &c. para dar en el mismo tiempo la misma velocidad á un volumen de la misma materia doble, triple, cuádruple del primero. Pero, si en el primer caso la velocidad representase la intensidad de la fuerza, sería menester duplicar, triplicar, cuádruplicar, &c. esta velocidad para representar la fuerza en los casos siguientes; de donde resulta que las fuerzas que comunican la misma velocidad á volúmenes diferentes de una misma materia, están entre sí como estos volúmenes, ó, lo que es lo mismo, como las cantidades de materia.

64. *Cuerpos diferentes por su naturaleza*— La experiencia nos enseña que los cuerpos de naturaleza diferente aunque del mismo volumen, no son susceptibles de adquirir la misma velocidad por la acción de la misma fuerza; por ejemplo, todo el mundo puede convencerse de que se necesita desplegar un esfuerzo mas considerable para mover un volumen dado de plomo, que para mover un volumen igual de vidrio. De esta observacion se sigue que las fuerzas aplicadas á cuerpos de naturaleza diferente no están entre sí como los volúmenes.

Los primeros géómetras que se han ocupado en la mecánica, se han representado los cuerpos como conjuntos de puntos materiales *siempre idénticos*, separados unos de otros *por espacios vacíos ó poros*. Alargando ó disminuyendo mentalmente estos espacios, han concebido números menores ó mayores de partículas materiales encerradas en volúmenes iguales. De esto han deducido que en gene-

ral las fuerzas que comunican la misma velocidad á cuerpos diferentes, están entre sí como el número de puntos materiales puestos en movimiento, es decir, como las cantidades de materia, ó, siguiendo el language recibido, como las *masas*, porque se llama *masa* la suma de los puntos materiales contenidos en un cuerpo.

Este modo de considerar los cuerpos no es sino una hipótesi, pues el vidrio es por lo menos tan compacto como el plomo; es probable que la diferencia de 1 á 5 que nos presentan estos cuerpos, respecto á la resistencia que oponen á la accion de una fuerza que procura mudar su estado de reposo ó de movimiento, proceda mas bien de la diferencia de naturaleza entre las moléculas de que se componen que de la diferencia de porosidad. En el estado actual de las ciencias no puede admitirse que la materia sea idénticamente la misma en todos los cuerpos.

Sea de esto lo que quiera, esta hipótesi puede ser admitida al establecer las bases de una teoría sobre la medida de las fuerzas. Sin embargo, sería esencial que en la mecánica que se halla elevada á tan alto grado de precision, se usase asi en este punto como en otros un language mas exacto.

65. *Las fuerzas que comunican velocidades diferentes á masas diferentes, son entre sí como los productos de las masas por las velocidades.* — Esto es fácil de probar por lo que precede: en efecto sean F y F' las fuerzas aplicadas á las masas m y m' , y sean v y v' las velocidades comunicadas.

Consideremos un tercer cuerpo cuya masa sea M , sea f la fuerza que le comunicase la velocidad v , y sea f' la fuerza que le comunicase la velocidad v' .

Las fuerzas F y f que comunican la misma velocidad v á masas diferentes, están entre sí como estas masas, y se tiene

$$F: f:: m: M.$$

Las fuerzas F' , f' que comunican la misma velocidad v' á masas diferentes, están entre sí como estas masas, y se tiene

$$F': f':: m': M.$$

En fin, las fuerzas f y f' que comunican velocidades diferentes á la misma masa, están entre sí como estas velocidades, y se tiene

$$f: f':: v: v'.$$

De estas tres proporciones se saca

$$F: F':: m v: m' v',$$

que es lo que habíamos enunciado.

66. El producto $m v$ de la masa de un cuerpo por su velocidad se llama *cantidad de movimiento*. Se concibe fácilmente que en los cuerpos que se mueven con movimiento variado, la cantidad de movimiento varía á cada instante.

Si la fuerza que se considera obra continuamente sobre el móvil, será preciso valuarla por el producto de la masa y de la velocidad naciente, es decir, por la cantidad de movimiento que posee el cuerpo en el primer instante de la acción de la fuerza sobre él.

67. *Valuacion de las masas.* — Puesto que se hacen entrar las masas en la expresion de la fuerza que solicita un cuerpo, es necesario saberlas valuar. Supongamos una fuerza constante F que obra sobre un punto material apoyado en un plano; la presión que sufrirá este plano será F ; pero si hay 2, 3, 4.... m puntos materiales solicitados cada uno por la misma fuerza F , y si todas estas fuerzas son para-

lelas entre sí, es evidente que la presión que sufrirá el plano será mF : sea pues P esta presión, y se tendrá $P = Fm$.

Para otro número m' de puntos materiales, se tendrá bajo las mismas condiciones la presión $P' = Fm'$. Estas dos ecuaciones dan $P : P' :: m : m'$. Luego las presiones están entre sí como las masas: no se trata ya sino de conocer la fuerza constante F , y valuar las presiones P y P' ; pero como la pesantez dirige todos los cuerpos al centro de la tierra, puede ser tomada por esta fuerza, y los pesos de los cuerpos por las presiones. (*Véase el capítulo siguiente artículo III*).



CAPÍTULO V.

Gravitacion.

ARTÍCULO PRIMERO.

Definiciones.

68. Los viajes por mar y las observaciones astronómicas, han demostrado que la tierra es un esferoide aislado por todas partes. Admitido este hecho, se nos presenta una gran cuestion que resolver: *¿Por qué las partes de que se compone el globo terrestre no se dispersan en el espacio? ¿Por qué las que de él se desprenden, y son llevadas por nosotros lejos de su superficie, vuelven á caer sobre ella cuando cesan de ser sostenidas?*

No se puede hallar la causa primera de este extraño fenómeno sino en la voluntad del Supremo Hacedor; pero las cosas pasan como si el centro del globo terrestre estuviese dotado de una fuerza *atractiva* que hiciese dirigir hácia él todos los cuerpos que le rodean: por consiguiente, sin tratar de profundizar mas, los físicos se han convenido en designar el fenómeno bajo los nombres de *atraccion*, de *gravitacion* ó de *gravedad*, y parten de esto como de una base fija para explicar ó prever una multitud de fenómenos: es de notar en esta materia que lo que la teoría preve, concuerda tanto con lo que pasa efectivamente, que parece que la Divinidad, para darnos una idea de su inmenso poder,

ha querido revelarnos el secreto de las leyes que rigen el universo.

69. *Todos los cuerpos están sujetos á la acción de la gravedad:* todos efectivamente se dirigen hácia el centro de la tierra, aun los aeriformes. Si vemos los globos elevarse en nuestra atmósfera, ó un pedazo de corcho flotar en la superficie del agua, es porque estos cuerpos en un volumen determinado tienen menos masa que un volumen igual del fluido en que están sumergidos (*libro III, capítulo VII*). Los cuerpos que se elevan en nuestra atmósfera caen en un vaso purgado de aire lo mismo que se ve caer un pedazo de corcho en el fondo de un vaso en donde no hay agua.

70. *En un mismo lugar de la superficie de la tierra, la acción de la gravedad es la misma para todos los cuerpos;* de donde se sigue que cualquiera que sea su masa, todos debían adquirir al caer la misma velocidad. Si, como vemos, sucede otra cosa en nuestra atmósfera, pues un pedazo de plomo llega mas pronto á la tierra que una pluma, es efecto de la resistencia del aire, el cual se opone mas eficazmente al movimiento del cuerpo que tiene menos masa. Asi pues, en un vaso privado de aire los cuerpos cualesquiera que sean, emplean exactamente el mismo tiempo en caer de una misma altura. Para hacer este experimento se toma un tubo de vidrio de dos metros (*) ó varas de altura,

(*) El metro ó unidad de medida lineal francesa es la diezmillonésima parte de la distancia del polo boreal al ecuador: vale sobre poco mas ó menos 3 pies, 11 líneas y 3 décimas de la antigua medida. Se divide en décimas, céntimas y milésimas que toman los nombres de decímetros, centímetros y milímetros. En España no se usa el metro sino la va-

con su correspondiente llave (fig. 11); se introducen en él cuerpos de diversa naturaleza, tales como papel, corcho, plomo &c.; y en seguida se hace el vacío por medio de la máquina neumática (lib. IV, cap. IV). Invirtiendo despues el tubo se verá que todos estos diferentes cuerpos emplean exactamente el mismo tiempo en recorrer su longitud.

ARTÍCULO II.

Del centro de gravedad.

71. Todos los puntos de un cuerpo pesado son solicitados por la acción de la gravedad á bajar hácia el centro de la tierra, siguiendo una línea recta normal á la superficie terrestre. Esta línea es la que se llama la *vertical*, y está determinada en todos los puntos de la tierra por la dirección de una plomada. Teniendo presente la excesiva magnitud del radio terrestre comparado con las dimensiones de los cuerpos que tenemos á la vista habitualmente (*), se ve que los ángulos que hacen entre sí las direcciones de las fuerzas que solicitan sus partículas son absolutamente inapreciables; de suerte que sin error sensible se pueden mirar estas direcciones co-

ra llamada de Burgos que tiene 3 *pies*, el pie 12 *pulgadas*, y la pulgada 12 *lineas*. La vara equivale á 0,83591 metros, y para que puedan compararse ambas medidas, la figura 23 representa el *decimetro* dividido en *centímetros* y *milímetros*, y el *medio pie* español dividido en *pulgadas* y *lineas*. (Para estas medidas puede verse el tomo I de la traducción del curso de Matemáticas de Lacroix). = E. T.

(*) El radio de la tierra supuesta esférica es de 6366745 metros, que hacen 7616600,7 varas españolas, ó próximamente 1142½ leguas de 20000 pies.

mo paralelas en toda la extension de un mismo cuerpo. De aqui se sigue que si á un cuerpo se le hacen tomar sucesivamente varias posiciones con respecto á las direcciones de estas fuerzas, su resultante pasará constantemente por un mismo punto de este cuerpo. Este punto que hemos llamado ya *centro de las fuerzas paralelas* (28) toma aqui el nombre particular de *centro de gravedad*.

72. *Determinacion del centro de gravedad de un cuerpo.*—Para que un cuerpo suspendido por un hilo esté en equilibrio, es necesario que la direccion de este hilo pase por el centro de gravedad; de aqui resulta un medio sencillo para hallar por experiencia el centro de gravedad de todo cuerpo. Suspéndase pues el cuerpo (*fig. 12*) por el punto *a*, y sea *ab* la direccion del hilo; es claro que el centro de gravedad se hallará en cualquier punto de la *ab*: suspéndasele despues por el punto *d*, y sea *df* la direccion del hilo; el centro de gravedad tambien se encontrará en esta misma linea: hallándose á la vez en dos rectas *ab*, *df* no puede estar sino en su interseccion *c* que es el centro buscado.

En los cuerpos regulares cuya masa es homogénea, el centro de gravedad se halla en el centro de figura: en los demas se halla en otro punto. Las mas veces cae el centro de gravedad dentro del cuerpo que se considera, pero otras cae fuera como sucede en un anillo.

73. *Aplicaciones de la teoría de los centros de gravedad.*—Para que un cuerpo pesado esté en equilibrio, es necesario que la direccion de la vertical tirada por el centro de gravedad, pase por el interior del polígono que forma la base de este cuerpo. Cuanto mas pequeña es la base del cuerpo

tanto mas dificil es obtener esta condicion: por eso es dificil el sostener un baston verticalmente.

Equilibrio de una columna. — En una columna cilindrica homogenea (*fig. 13*), el centro de gravedad se halla en medio de su eje. Para que la columna esté en el máximo de estabilidad, es menester que la vertical tirada por este punto pase por el centro de la base, es decir, que su eje esté vertical. Sin embargo la columna conservaria aun la suficiente estabilidad, con solo que la vertical tirada por el centro de gravedad cayese dentro de la base. Asi es que en la posicion (*fig. 14*), la columna permaneceria en equilibrio, y aun podria aumentarse su masa del lado *AB* para traer el centro de gravedad á la vertical que pasa por el centro de la base.

Se cree que las torres de Pisa y de Bolonia que están inclinadas al horizonte, y parecen amenazar á los pasajeros con su caida, han sido construidas expresamente de este modo, y que en cada una de ellas ha dispuesto el arquitecto de tal suerte los materiales, que la línea vertical tirada por el centro de gravedad pasa por el centro de la base.

74. *Equilibrio del cuerpo humano.* — En el hombre el centro de gravedad se halla hácia la mitad de la parte inferior de la pelvis (*). Para que un hombre puesto en pie esté en equilibrio, es necesario que la direccion de su centro de gravedad pase por la base que determina la posicion de sus pies. Un hombre puesto en pie verticalmente está en equilibrio, y está tanto mas firme, cuanto mayor base determina la posicion de sus pies.

(*) Se designa asi en anatomia la cavidad formada por bajo del tronco por los huesos de las caderas.

Un hombre que junta sus talones, y procura que sus pies sigan la misma direccion, tiene po- quísima estabilidad, porque al mas mínimo movi- miento la vertical sale de esta pequeña base: no puede inclinarse hácia adelante, á menos que al mismo tiempo no procure inclinar la parte poste- rior de su cuerpo hácia atras para traer la vertical á la base. Un hombre que tiene sus pies uno de- lante de otro sobre una misma recta, está en el mínimo de la estabilidad lateral; sin embargo, los bailarines de cuerda consiguen acostumbrarse á per- manecer y sostenerse sólidamente en esta posicion.

Cuando un hombre está sentado le es imposi- ble levantarse si tiene verticalmente su cuerpo en- cima del asiento. En este caso su centro de grave- dad está sobre la silla, y cae fuera de la base for- mada por sus pies. Se ve obligado á inclinarse há- cia adelante, para lograr que su centro de gravedad caiga dentro de la base.

Un hombre que lleva un fardo á costillas tiene forzosamente que inclinarse hácia adelante, porque el fardo y él forman un solo cuerpo, cuyo centro de gravedad caería fuera de su base si se mantu- viese verticalmente. Por la misma razon un hom- bre que lleva un fardo en brazos tiene que incli- narse hácia atras.

Los diversos movimientos que se hacen invo- luntaria y naturalmente con los brazos para soste- nerse cuando se titubea, no tienen otro objeto que el de hacer que la línea vertical que pasa por el centro de gravedad, caiga dentro de la base forma- da por los pies. A este efecto tienen los bailarines de cuerda mientras bailan un palo largo en las ma- nos que llaman *balancin*, y cuando no le tienen ha-

cen con los brazos diversos movimientos para poder sostenerse.

75. Cuando un cuerpo pesado está en equilibrio, su centro de gravedad *se halla siempre lo mas alto ó lo mas bajo posible*. Tomemos por ejemplo un cuerpo elíptico *a* (fig. 15), siendo el centro de gravedad *c*; este cuerpo puede estar en equilibrio en dos posiciones, á saber, en el caso de la figura *a* en la que el centro de gravedad está en su máximo de elevacion, ó en el caso de la figura *b* donde el centro de gravedad está lo mas bajo posible. En el primer caso el cuerpo caerá al mas mínimo choque, y jamas recobrará por sí mismo su primera posicion, porque era preciso que el centro de gravedad pudiese subir por sí lo que no es posible. En el segundo caso movido el cuerpo de su posicion, procurará volver á ella por sí mismo, haciendo oscilaciones pequeñas que el rozamiento destruye prontamente. Se distinguen estos dos casos de equilibrio, el primero por el nombre de *equilibrio instantáneo*, y el segundo con *el de equilibria estable*.

Se ve que un cuerpo está tanto mas estable ó á plomo, quanto mas cerca de su base está su centro de gravedad. Por esta razon los conos y las pirámides son mucho mas permanentes que las columnas cilíndricas y prismáticas verticales.

ARTÍCULO III.

Peso de los cuerpos.

76. *Se llama peso de un cuerpo la presion que este cuerpo ejerce sobre los obstáculos que se opo-*

nen directamente á su caída. Esta presión depende de la acción de la gravedad y de la masa del cuerpo. En efecto, si por ejemplo un punto material pesado está sostenido por un plano horizontal, la presión ejercida sobre este plano será igual á la acción de la gravedad; pero si hay 2, 3, 4.... m puntos materiales libres ó ligados entre sí, es evidente que considerando las direcciones de la gravedad como paralelas, la presión ejercida sobre el obstáculo será $2g$, $3g$, $4g$ mg ; luego el peso de un cuerpo es proporcional á su masa, y por tanto estas dos cantidades pueden ser tomadas una por otra.

77. *Variación del peso en diferentes latitudes.*— Como la acción de la gravedad varía en diferentes latitudes y á diferentes distancias de la superficie de la tierra segun veremos (101 y 106), resulta que el peso de un cuerpo varía proporcionalmente, de suerte que es menos pesado en el ecuador que en los polos; pero segun el modo que tenemos de valuar los pesos no es posible percibir esta diferencia, porque los contrapesos que se emplean sufren tambien la misma alteración.

78. El peso de un cuerpo se determina por medio de una balanza; pero es evidente que estableciendo el equilibrio, solo se halla una presión vertical equivalente al peso propuesto, y que esta operación no sería de ninguna utilidad, si no se encontrase el medio de comparar entre sí las diversas presiones que pueden obtenerse por la experiencia para saber si una es doble, triple, cuádruple, &c. de otra, ó si es una fracción cualquiera de ella.

79. *Unidad de peso.*— Para hacer esta comparación es preciso fijar una unidad de peso conven-

cional, y expresar el peso de los cuerpos en multiples ó en fracciones de esta unidad (*)

En Francia la unidad de peso que se llama *grama*, es el centímetro cúbico de agua destilada, tomada á cuatro grados sobre cero (**). Segun esto se enuncia el peso de un cuerpo, diciendo cuantas gramas ó fracciones de gramas se necesitan para hacer equilibrio á la presion que ejerce. Esto es lo que se llama *peso absoluto de un cuerpo*.

(*) Los números abstractos que expresan las diversas especies de magnitudes no son sino relaciones numéricas, cuya unidad se fija arbitrariamente en cada una de ellas. Contrayéndonos á las medidas decimales adoptadas en Francia, tenemos que la extension longitudinal se compara con una unidad lineal llamada metro. La extension superficial se compara con una unidad superficial, cual es el metro cuadrado. La extension en volumen se compara con una unidad de volumen llamada metro cúbico.—En España se usan la *vara* y *estadal longitudinal* para longitudes; el *estadal* vale 4 varas ó 12 *pies* de Burgos. — El *estadal* y *vara cuadrada* sirven para superficies; la *vara cuadrada* tiene 9 *pies cuadrados*, y el *estadal* cuadrado 144 *pies cuadrados*. — Para volúmenes se pueden emplear estas mismas medidas cubicadas, pero lo mas comun es el *pie cúbico español*: el peso de un pie cúbico de agua dulce, pesa segun Don Juan Peñalver, 46,8973 libras españolas. Tiene 1728 pulgadas cúbicas.

(**) La grama se divide en décimas, céntimas y milésimas: 10 gramas forman el decagrama, 100 forman el hectograma, 1000 forman el kilograma. La unidad de peso español es la *libra* de 16 *onzas*; la onza tiene 16 *adarmes*, y el adarme 36 *granos*.—La *grama* equivale á 20,031 *granos* españoles; el *decagrama* á 5,66409 *adarmes*; el *hectograma* á 3,47756 *onzas*, y el *kilograma* á 2,17347 libras españolas. = *E. T.*



ARTÍCULO IV.

Peso ó pesantez específica.

80. *Definicion.*—La experiencia nos demuestra que bajo volúmenes iguales los cuerpos heterogéneos tienen pesos desiguales: así es que una bola de plomo pesa mas que una bola de corcho del mismo diámetro. Se acostumbra á expresar esta diferencia diciendo que el primer cuerpo es mas denso que el otro, lo que significa literalmente que en tal cuerpo las partículas están mas juntas que en tal otro. Sin duda esto es verdadero en los cuerpos cuya composicion es absolutamente la misma, como por ejemplo, el azucar cande y el azucar rosado; pero esto no prueba satisfactoriamente que la diferencia del peso que se observa entre los volúmenes iguales de dos cuerpos cuyas composiciones son diferentes, como el plomo y el vidrio, proceda de la misma causa.

Cualquiera que sea la causa de estas diferencias, se han convenido los físicos para expresar que un cuerpo pesa mas que otro bajo el mismo volumen, en decir que el primero es específicamente mas pesado que el segundo. En este sentido es como debe entenderse que el plomo es mas pesado que el agua; pues sería muy ridiculo creer que se quiere decir que una arroba de plomo pesa mas que otra arroba de agua.

81. *Para obtener los pesos específicos de los cuerpos* es menester reducirlos todos al mismo volumen, ó si no se les puede reducir á la unidad de volumen, es menester dividir el peso que se deter-

mine para un volumen cualquiera, por el número de unidades que el volumen encierre. Supongamos por ejemplo que se tenga el proyecto de reducir todos los cuerpos á una pulgada cúbica, y no se pueda conseguir mecánicamente: entonces se tomará un volumen cualquiera de un cuerpo, se le pesará, se valuará el número de pulgadas cúbicas que el volumen dado tiene, despues de lo cual dividiendo el peso total por el número de unidades ó pulgadas cúbicas que se ha determinado, tendrá el peso de una pulgada cúbica del cuerpo. Sea pues P el peso de un cuerpo, y V el número de unidades de volumen que encierre, y se tendrá que su peso en la unidad de volumen será $\frac{P}{V}$ que es el peso específico, cuando se comparan muchos cuerpos entre sí bajo este mismo volumen. En este sentido es exacto el decir que el peso específico de un cuerpo es la relacion entre su peso y su volumen. Es menester notar que la letra P representa un número abstracto que se refiere á la unidad de peso, y V representa otro número abstracto que se refiere á la unidad de volumen.

82. *Unidad de peso específico.* — Para poder comparar entre sí los pesos de los diferentes cuerpos bajo el mismo volumen, es menester fijar una unidad de esta especie de magnitud. Se ha convenido en tomar el agua destilada por término de comparacion, y se expresa el peso específico de un cuerpo diciendo: que pesa dos, tres, &c. veces un volumen de agua igual al suyo, ó que no pesa si no su mitad tercera ó cuarta parte, es decir, que el peso específico de un cuerpo es la relacion entre el peso del agua y el peso de este cuerpo en volúme-

nes iguales. Segun este modo de expresar el peso específico, no es ya necesario el reducir exactamente todos los cuerpos al mismo volumen: basta pues que el agua y el cuerpo que se quieren comparar se hallen ya reducidos, pues esto es lo que se necesita para valuar despues la relacion entre su peso.

83. *Peso específico de los líquidos.* — Es sumamente fácil reducir el agua y un líquido cualquiera al mismo volumen. Basta para esto escoger una vasija que sirva de medida comun: se pesará esta vasija llena de agua, y despues del líquido propuesto restando de cada peso el peso del vidrio. Asi pues, se tendrán dos pesos cuya relacion se hallará por la proporcion siguiente: p (*peso de agua*): p' (*peso del líquido*):: 1 (*peso específico del agua*): x (*peso específico buscado*), de donde $x = \frac{p'}{p}$.

84. *Peso específico de los sólidos.* — Hay dos modos de reducir el agua y los cuerpos sólidos al mismo volumen; pero no citaremos mas que uno por ahora, exponiendo el otro en el libro III, capítulo VIII.

Se pesa desde luego el cuerpo propuesto, despues se toma un vaso de boca ancha cerrado ajustadamente, se le llena enteramente de agua, se tapa y seca bien por fuera: en seguida se coloca este vaso en el platillo de una balanza muy exacta con el cuerpo sólido propuesto, y se pesa todo. Hecho esto se sumerge el cuerpo en el vaso, y evidentemente se sale un volumen de agua igual al cuerpo. Se vuelve á tapar la vasija, se seca bien, y se pesa de nuevo: es evidente que la diferencia entre el peso de agua y el peso primitivo, es el peso del volumen desalojado de agua; se tiene pues el

peso del agua y el peso del cuerpo propuesto en volúmenes iguales, y ya no hay mas que hacer que hallar la relacion entre ellos por la propocion citada antes. Para hacerlo entender mejor citaremos un ejemplo. Sea un pedazo de plomo del peso de diez onzas, y una vasija llena de agua. Supongamos que pesando juntos el vaso y el metal se halla 25 onzas; se sumerge el metal en el vaso, y despues de tapado y secado bien, se pesa de nuevo. Entonces se halla que no pesa mas de 24.119, de donde resulta que el peso de volumen de agua desalojado es igual á 0,881 onzas, se tiene pues $p = 0,881$; $p' = 10$ y la proporcion $p: p':: 1: x$ se convierte en $0,881: 10:: 1: x = 11,33$ peso específico del plomo.

85. *Observaciones respecto de los cuerpos porosos.* — Se puede valuar el peso específico de los cuerpos por su volumen exterior, sin tener en cuenta las cavidades interiores accidentales que encieran, y que les hacen específicamente mas ligeros, ó sino se pueden despreciar estos vacíos para tomar en consideracion solo las partículas materiales. En el primer caso no hay que mudar en nada el método que hemos indicado; en el segundo hay que tomar algunas precauciones: 1.º si el cuerpo es susceptible de embeber agua, se principiará por pesarle, despues se le sumergirá en el agua hasta que esté completamente empapado en ella, y se le pesará de nuevo. Es claro que el aumento que entonces haya experimentado, será el peso de un volumen de agua igual al volumen que presentan todas las pequeñas cavidades reunidas. Hecho esto, se determinará como lo hemos hecho antes, el peso del agua que puede salir de la vasija cuando se

sumerge en ella el cuerpo: este peso es del volumen del agua igual al volumen exterior del cuerpo. Se quitará de esto el aumento que el cuerpo ha experimentado por lo que ha embebido, y se tendrá entonces el peso del volumen de agua igual al volumen exterior de este cuerpo, menos el volumen de las cavidades, lo que da el volumen de la parte puramente material: 2.º si el cuerpo no embebe agua, el único modo que se tiene de tomar en consideracion su parte puramente material, es reducirle á polvo fino, que se introducirá despues en el vaso con las precauciones convenientes, para que no se pueda escapar con el líquido ninguna de sus partículas.

86. *Para los cuerpos solubles en el agua, como la sal comun, el azucar, &c. es menester elegir un líquido en el cual no se disuelvan, tal como el alcohol, aceite de trementina, mercurio, &c. Se operará como antes, solamente que en lugar de la proporcion indicada se tendrá $p : p' :: a : x = \frac{ap'}{p}$, llamando a el peso específico del líquido: no se tratará ya sino de determinar el valor de a , y sustituirle en el valor de x , para tener el peso específico del cuerpo comparado con el del agua destilada.*

Tabla de los pesos específicos de varias sustancias comparadas con el del agua.

Agua destilada.	1
Platino puro.	20,722
Platino forjado llega hasta.	23,000
Oro puro fundido.	19,258
Oro puro forjado.	19,361

Mercurio ú azogue.	13,586
Plomo.	11,352
Plata pura fundida.	10,474
	10,784
Bismuto.	9,822
Cobre puro.	7,788
	9,000
Latón fundido.	8,395
	8,870
Hierro fundido.	7,645
	7,788
Hierro forjado.	7,875
	8,778
Acero.	7,767
	7,833
Acero templado.	7,752
	7,816
Estaño fundido.	7,264
	7,291
Estaño forjado.	7,299
Zinc fundido.	6,861
	7,100
Zinc batido.	7,000
Diamante blanco.	3,521
Flint-glass francés (vidrio de coches).	3,200
Crown-glass francés (Id.)	2,487
Cristal.	2,400
	2,500
Vidrio comun.	2,500
	2,600
Mármol de Carrara.	2,670
	2,716
Piedra de chispa (pedernal).	2,536
	2,602

Cristal de roca.	2,581
	2,653
	2,888
Arcilla.	2,415
Piedra caliza de construccion.	2,077
Porcelana de Sevres.	2,145
Cera blanca.	0,954
	0,960
Sebo.	0,941
Manteca ó grasa.	0,942
Encina verde.	0,930
Encina seca.	0,670
Ciruelo.	0,785
Haya.	0,852
Pino macho.	0,550
Pino hembra.	0,498
Corcho.	0,240
Azufre.	1,990
Ácido sulfúrico concentrado.	1,850
Ácido nítrico concentrado.	1,554
Amoniaco.	1,420
Aceite de linaza.	0,940
Aceite comun.	0,915
Alcohol ó espíritu de vino.	0,837
Éter sulfúrico.	0,716
	0,745

Siendo los cuerpos gaseosos infinitamente mas ligeros que el agua, se comparan con el aire atmosférico. (*Véase lib. IV, cap. V*).

87. Si se conoce *á priori* el peso de un volumen de agua, será fácil por las tablas del peso específico (*) determinar el peso de un volumen igual

(*) Se puede notar en la tabla precedente que los pesos

de un cuerpo cualquiera: para esto se multiplicará el peso del volumen dado de agua por el peso específico del cuerpo propuesto. Por ejemplo, si un volumen de agua dado pesa 29 libras, el mismo volumen propuesto de mercurio pesará 13,586 veces 29, ó 393,995 libras.

El pie cúbico de agua pesa 46,8973 libras: es claro que un pie cúbico de oro pesará 903,1482 libras: el de mercurio pesará 637,006 libras: el de plomo pesará 532,84, multiplicando el peso del pie cúbico de agua por las respectivas gravedades específicas del oro, mercurio y plomo; y así se determinaría el peso del pie cúbico de cualquiera otra sustancia.

ARTÍCULO V.

Aceleracion de los graves durante su caída.

88 *Experimento.* — Los cuerpos al caer libremente adquieren el movimiento uniformemente acelerado. Haciendo caer de un parage alto un cuerpo de una masa bastante notable respecto á su volumen, se observa que en Madrid, durante el primer segundo, corre poco mas ó menos (*) 17,58 pies

específicos de los cuerpos sólidos son muchas veces bastante inciertos. Esto puede provenir de que no todos los operadores han tenido igual cuidado; pero tambien depende de las variaciones de que los cuerpos son susceptibles por las diferentes colocaciones que toman sus particulas al cristalizar.

(*) Decimos poco mas ó menos porque la resistencia del aire se opone con cierta energía al movimiento del cuerpo. Para hacer esta resistencia menos eficaz se emplea un cuerpo que con mucho peso presente poca superficie. (*Véase en el lib. IV, cap. II el modo de introducir la resistencia del aire en los calculos.*)

españoles, que durante el segundo siguiente corre tres veces esta distancia, es decir 52,74 pies, que durante el tercero corre cinco veces los 17,58 pies ó 87,90, y que en general los espacios corridos durante instantes iguales y sucesivos, son como los números 1, 3, 5, 7, 9, &c.; de donde se sigue que los espacios corridos desde el principio del movimiento durante 1, 2, 3, 4 segundos, son como los números 1; $1+3=4$; $1+3+5=9$; $1+3+5+7=16$; es decir, que estos espacios crecen como los cuadrados de los tiempos, que es el caracter del movimiento uniformemente acelerado (*).

Muchas veces es muy difícil el hallar parages elevados y cómodos para esta clase de experimentos; pero existe un modo de hacerlos sin salir del gabinete de Física y aun tener mas exactitud, porque la resistencia del aire se hace casi insensible. Esto es lo que vamos á ver en el párrafo siguiente.

89. *Principio de un método para hacer el experimento.* — Es evidente que dos cuerpos del mismo peso sujetos á los extremos de un hilo inextensible y sin peso que pase por una polea, se equilibran, porque ejercen presiones iguales en los extremos del diámetro, que hace entonces oficio

(*) En la realidad el movimiento de un cuerpo grave no puede ser uniformemente acelerado, porque la accion de la gravedad obra en razon inversa del cuadrado de la distancia del móvil al centro de la tierra; pero como las mayores alturas de donde pueden caer los cuerpos á la superficie de la tierra son infinitamente pequeñas respecto á su radio, resulta que el movimiento variado que el cuerpo adquiere, es muy poco diferente del movimiento uniformemente acelerado que le sustituimos. Los experimentos hechos con la mayor escrupulosidad no manifiestan la mas mínima diferencia.

de una palanca sostenida en su centro. Si los pesos son desiguales, el equilibrio no puede subsistir; pero el peso mas débil que procura siempre moverse de alto á bajo, aunque esté obligado á seguir el movimiento del mas fuerte, moderará la velocidad que éste adquiriria si estuviese libre. Se demuestra en este caso que llamando m y m' las masas puestas en movimiento, g la accion de la gravedad supuesta continua y constante, v la velocidad al cabo del tiempo t , se tiene $v = \frac{m - m'}{m + m'} gt$.

Se demuestra igualmente representando el espacio corrido por e , que $e = \frac{m - m'}{m + m'} \times \frac{1}{2} gt^2$. Estas ecuaciones indican que las velocidades crecen como los tiempos, y los espacios como los cuadrados de estos tiempos, que es la propiedad del movimiento uniformemente acelerado. La velocidad del sistema es tanto menor, cuanto menor es la diferencia de las masas $m - m'$ respecto de su suma $m + m'$, de donde se ve que por medio de una polea se puede moderar tanto como se quiera el movimiento de los cuerpos graves sin mudar su naturaleza. De consiguiente es fácil medir los espacios corridos: para este efecto puede servir la máquina siguiente (*fig. 16*) á la que basta unir un péndulo de segundos.

90. *Aparato.* — Una polea sostenida entre dos listones de madera de dos varas de altura; un hilo fino bastante sólido para que no se rompa pasa por el carril de la polea, y sostiene dos pesos iguales p y q . En frente de estos pesos se coloca una escala dividida en partes iguales (*).

(*) Se halla en los grandes gabinetes de Física un instrumento llamado *máquina de Atwood* del nombre de su

Experimento. — Estando el peso p en cero, si se le añade un pequeño peso (cuyo valor debe estar determinado por los experimentos que se hayan hecho al dividir la escala) para romper el equilibrio, se observará que al fin del primer segundo el cuerpo p se hallará en el punto 1; que al fin del segundo siguiente se hallará en el punto 4; que despues de tres segundos se hallará en el punto 9, &c.; de donde se ve que los espacios corridos desde el origen del movimiento, son como los números 1, 4, 9, 16, &c., es decir, como los cuadrados de los tiempos.

91. *Otro experimento.* — Se puede tambien por medio de esta máquina demostrar experimentalmente que pasado un intervalo de tiempo cualquiera, la gravedad como toda fuerza aceleratriz comunica al móvil una velocidad capaz de hacerle correr uniformemente en otro intervalo igual de tiempo un espacio doble del que ha corrido antes. Con este fin se dispone en *a* (fig. 16) un anillo por el cual el móvil p puede pasar al bajar. Para romper el equilibrio, se añade á este móvil una varita de una longitud mayor que el diámetro del anillo que pueda detenerse en éste al caer. Con esta disposicion se logra que el cuerpo se mueva con movimiento acelerado todo el tiempo que sufre el peso adicional; pero al momento en que se encuentra aliviado de éste al atravesar el anillo, se convierte su movimiento en uniforme. En virtud de la

autor, que no se diferencia de la que describimos mas que en que el eje de la polea gira sobre ruedas movibles, ejerciendo de este modo muy poco rozamiento; pero como este instrumento es demasiado costoso, nos hemos servido con éxito del que acabamos de describir, cuya ligera polea tiene un eje fijo que gira sobre dos goznes.

velocidad adquirida, se reconoce entonces que el espacio que el cuerpo p corre uniformemente en un tiempo igual al empleado ya, es precisamente doble del que ha corrido. Asi es que, si el cuerpo ha corrido cuatro divisiones de la escala durante el tiempo en que la velocidad era acelerada, correrá ocho en el mismo tiempo cuando su movimiento se haya convertido en uniforme. Colocando el anillo sucesivamente en frente de los diferentes puntos de la escala, se verá por el experimento que las velocidades adquiridas son proporcionales á los tiempos pasados desde el origen del movimiento.

92. *Explicacion de algunas observaciones diarias.* — Todo el mundo sabe que la caída de una piedra es tanto mas temible cuanto de mas alto cae. Esto procede de la aceleracion del movimiento, pues haciéndose la velocidad cada vez mayor, despues de un cierto tiempo la cantidad de movimiento mv se hace muy considerable, y por lo tanto el choque que se verifica cuando encuentra con un obstáculo es mucho mas fuerte. Por esta misma razon no es facil saltar de un parage elevado sin peligro de maltratarse contra los cuerpos sólidos que se encuentren. Se puede hasta cierto punto disminuir la gravedad del peligro, para lo cual basta conservar bastante serenidad al llegar cerca de la tierra para dividir el choque, dejándose caer por sí mismo primero sobre los pies, despues sobre las rodillas, y últimamente sobre las manos. Una especie de instinto nos hace muchas veces emplear semejante procedimiento sin haber examinado por qué.

93. *Aplicacion á la medida de la altura de un edificio.* — Partiendo del hecho demostrado por la

experiencia, á saber, que la gravedad es una fuerza aceleratriz constante, y que teniendo presente que en Madrid corren los cuerpos 17,5869 pies españoles en el primer segundo de su caída, es fácil resolver el problema siguiente:

Saber qué altura tiene una torre de la cual ha tardado cinco segundos en caer una piedra verticalmente.—Para resolver este problema, se usará de la relacion de los espacios con los cuadrados de los tiempos, y se formará la proporcion siguiente:

1 (cuadrado de 1'') : 25 (cuadrado de 5'') :: 17,5869 (espacio corrido en el primer segundo) : x (espacio corrido en cinco segundos): de lo cual resulta $x = 439,6725$ pies.

Se puede determinar aproximadamente la altura de un edificio ó la profundidad de un pozo dejando caer una piedra desde el parage mas elevado, y observando exactamente el tiempo de su caída. Si se puede seguir la piedra con la vista hasta abajo, se sabe fácilmente el momento de su llegada; pero si no se puede seguirla, como por ejemplo cuando cae en un pozo muy profundo, el instante de su llegada al fondo se anuncia por el ruido que produce. En este caso es menester observar que el sonido emplea cierto tiempo para llegar desde el parage donde se forma hasta nuestro oido, y que por consiguiente el tiempo observado es sensiblemente mayor que el que el cuerpo emplea en caer.

Para disminuir el error que resultaria de esta circunstancia, se calcula desde luego la magnitud del espacio corrido por el cuerpo grave, haciendo abstraccion del tiempo que el sonido emplea en correr. Conociendo así el espacio, por una pri-

mera aproximacion, se busca quanto tiempo ha debido emplear en correrle, y partiendo del principio que el sonido corre 1209,46 pies por segundo en el aire, se rebaja el resultado del que se ha obtenido, y se corrige el cálculo.

Se ve que para hacer esta clase de experimentos se debe tener un reloj de segundos; pero á falta de este instrumento se puede tener una aproximacion, empleando las pulsaciones que en un hombre de buena salud se verifican de segundo en segundo.

ARTÍCULO VI.

Movimiento de un cuerpo pesado sobre un plano inclinado.

94. Para que un cuerpo pesado esté en equilibrio sobre un plano, es menester que la vertical tirada por su centro de gravedad sea perpendicular á este plano; lo que no puede verificarse si el plano propuesto está inclinado al horizonte del lugar de la observacion; en cuyo caso el cuerpo resbala ó rueda hácia la parte mas baja.

Sea (*fig. 17*) un cuerpo colocado sobre un plano inclinado, la accion g de la gravedad que se representará por fc , se descompondrá en dos fuerzas; una ac perpendicular al plano, que será destruida por la resistencia de este, y la otra bc paralela á este plano, que hará mover al cuerpo.

Los dos triángulos abc , ABC son semejantes, y dan: $bc:fc::AB:AC$; es decir, que la fuerza que solicita al cuerpo á moverse sobre el plano inclina-

do, es á la accion total de la gravedad como la altura del plano á su longitud; luego quanto mas se aproxime el plano á ser horizontal, menor será la fuerza bc que mueve al cuerpo. De la proporcion

anterior se saca $bc = g \frac{AB}{AC}$ y como $\frac{AB}{AC} = \text{sen. } C$, resulta $bc = g \text{ sen. } C$.

Siendo el radio del globo terrestre excesivamente grande respecto á las extensiones que consideramos habitualmente, se pueden sin error sensible mirar las direcciones de la gravedad como si fuesen paralelas entre sí en todos los puntos de estas extensiones (*). Segun esto la fuerza bc obrará continuamente sobre el móvil con la misma intensidad y en la misma direccion, luego será el movimiento uniformemente acelerado; lo que puede hacerse patente por medio de la máquina de Atwood.

Se ve por lo que precede que un cuerpo no puede bajar tan velozmente por un plano inclinado como por la línea vertical; pero se demuestra que al fin de la caída por el plano inclinado la velocidad adquirida por el móvil en el punto C , es igual á la que tendria en B si hubiese seguido la vertical AB ; y en efecto, si la accion de la gravedad está disminuida por la resistencia del punto, se ha aumentado proporcionalmente el tiempo, durante el cual obra sobre el cuerpo.

95. *Uso del plano inclinado para mover y levantar masas pesadas.* — Todo el mundo sabe que para levantar ó mover barricas, fardos ó masas pe-

(*) El ángulo formado por las direcciones de la gravedad tomadas en dos puntos distantes uno de otro 25 leguas, no es sino de un grado poco mas ó menos.

sadas y cargarlas en los carruages, &c. se sirven muy á menudo de dos varas largas puestas de modo que formen un plano inclinado; de este modo se logra que estas varas sostengan una parte del peso del cuerpo tanto mayor quanto mas largas son, pues hacen que la longitud del plano sea mayor respecto de su altura. Se ve desde luego que la fuerza que es menester emplear para mover el cuerpo, es tanto menor quanto mayor longitud tiene el plano; pero se gasta en tiempo lo que se ahorra en fuerza.

96. *Peligro de correr al bajar una cuesta.* — Por consecuencia de la aceleracion que los cuerpos adquieren al bajar á lo largo de los planos inclinados, es muy peligroso bajar corriendo por una cuesta algo pina. La velocidad que se adquiere se hace algunas veces tan grande que no es posible detenerse; lo que es peligroso, no solamente porque se puede llegar á la orilla de un precipicio sin poderlo evitar, sino tambien porque, perdiendo el equilibrio natural del cuerpo, se cae y se rueda estropeándose en el terreno.

97. *Experimentos paradójicos.* — En los gabinetes de Física se hacen diversos experimentos que aparentemente contrarían las leyes de la gravedad. Sea (*fig. 18*) un cilindro de madera atravesado en punto *a* por una varilla de plomo: colocando este cilindro sobre el plano inclinado, puesto el punto *a* en la parte mas elevada, se le verá al primer instante marchar hácia lo alto del plano; pero un instante despues se le verá resbalar hasta la parte inferior, á menos que el rozamiento no sea demasiado considerable, en cuyo caso quedará en reposo.

Reflexionando sobre lo que pasa en esta circuns-

tancia; se verá que, desde el primer momento, á pesar de las apariencias, el cuerpo cae realmente. En efecto, un cuerpo cae siempre que su centro de gravedad se acerca al centro de la tierra; pero en el cilindro, el centro de gravedad se halla hácia el punto *a*, y en el primer momento titubeando el cuerpo de este lado, el centro de gravedad se acerca al centro de la tierra. Al contrario, se alejaría si se dirigiese desde el primer momento hácia la parte inferior. Si en el instante siguiente el cuerpo resbala sobre el plano sin rodar, es porque la direccion de la vertical pasa por la línea de contacto del cuerpo y del plano.

Se hace este experimento de un modo aun mas maravilloso. La *fig.* 19 representa un cuerpo formado por la reunion de dos conos por sus bases. Colocando este cuerpo en el punto mas bajo del aparato (*fig.* 20) formado de dos planchas triangulares, puestas de canto y reunidas bajo cierto ángulo, se le ve subir por el plano inclinado que resulta de ellas; pero es facil ver que haciéndose mas aguda la parte del cono que descansa sobre los triángulos, á medida que el cuerpo avanza sobre mayor abertura, se verifica realmente que el centro de gravedad baja.

ARTÍCULO VII.

Movimiento de los proyectiles.

98. Todo el mundo puede observar que un cuerpo arrojado oblicuamente al horizonte con cierta fuerza, describe en el espacio una curva tal como la *fig.* 21. Este efecto procede de la combina-

cion de la accion constante de la gravedad con la fuerza de proyeccion. Admitiendo que las direcciones de la gravedad son paralelas entre sí, se sigue del número 54 que el proyectil deberia describir una parábola; pero oponiéndose la resistencia del aire á cada instante al movimiento, la curva descrita no es de esta forma. Haciendo entrar esta resistencia en el cálculo, se halla que las dos ramas de la curva son de forma diferente, y que la rama descendente goza de la propiedad de tener una *asintota* vertical, tal como *AB* (*fig. 21*) (*).

Como en la realidad las direcciones de la gravedad no son paralelas entre sí, sino que son constantemente dirigidas hácia un centro fijo, resulta que, haciendo abstraccion de la resistencia del aire, la curva descrita por el proyectil no podria ser una parábola. Se verá (107) que la gravedad obra en razon inversa al cuadrado de la distancia del móvil al centro de la tierra: de donde se sigue que la curva descrita es una elipse cuyo focus mas cercano se halla en el centro del globo. Si la fuerza de proyeccion fuese infinitamente mas fuerte que las que podemos producir, la curva descrita podria ser una parábola, y acaso una hipérbola; pero entonces el móvil no caeria jamas sobre la tierra.

ARTÍCULO VIII.

Movimiento osculatorio del péndulo.

99. *Definiciones.*—En virtud de la accion de la gravedad es como se sostiene un cuerpo suspen-

(*) Se llama *asintota* una línea recta á la que se aproxima siempre una curva sin poder jamas llegar á encontrarla.

dido en un hilo en la posición vertical, procurando volver á ella cuando se le separa. Todo cuerpo pesado suspendido libremente de una vara metálica ó de un cordón, se llama *péndulo compuesto*. Los geómetras conciben un péndulo ideal formado por un hilo inestensible y sin peso, al extremo del cual se halla un punto material pesado, y esto es lo que llaman *péndulo simple*. Tal péndulo no existe en la naturaleza; pero fácilmente se pueden referir á él por el cálculo las observaciones hechas con el péndulo compuesto.

Si el péndulo AB (*fig. 22*) es separado de la posición AC , y abandonado despues á sí mismo, recorrerá el arco CB con un movimiento acelerado; pero la aceleración no será uniforme, porque la acción de la pesantez en C es en parte destruida por la resistencia del hilo, y lo es mas y mas á medida que el móvil avanza hácia B . En este punto el cuerpo ha adquirido cierta velocidad horizontal, en virtud de la cual debe continuar moviéndose, y en efecto continúa en recorrer la misma curva; pero como la acción de la gravedad obra entonces para retardar su marcha, su velocidad decrece por los mismos pasos que crecía cuando caía por el arco CB : de suerte que, considerando la horizontal CD , el cuerpo se halla en D en el estado en que se encontraba en C . Vuelve á bajar hácia B , sube hasta C , y así sucesivamente. Estos movimientos llamados *oscilaciones*, irían al infinito si la resistencia del aire y el rozamiento en el centro de suspensión no los moderasen sucesivamente, de tal modo que desde el primer instante el móvil no sube realmente hasta B , y los arcos que describe se hacen menores y menores hasta que en fin cesan

del todo parando el péndulo. Mientras los arcos no son muy grandes, las oscilaciones sucesivas se hacen regularmente en tiempos iguales, y esto es lo que se llama *oscilaciones isocronas*. Este isocronismo presenta el medio mas seguro de arreglar los relojes de ruedas. A Huighens es á quien se debe la primera aplicacion de este descubrimiento.

100. *Resultados del cálculo.* — En las obras de Mecánica es donde es menester estudiar la teoría del péndulo. En ellas se demuestra:

1.º *Que las duraciones de las oscilaciones están entre sí en razon de las raices cuadradas de las longitudes de los péndulos, y en razon inversa de las raices cuadradas de las fuerzas que les solicitan.*

2.º *Que cuando dos péndulos de diferentes longitudes oscilan, siendo la misma la accion de la gravedad, los números de oscilaciones están en razon inversa de las raices cuadradas de sus longitudes.*

3.º *Que teniendo los péndulos la misma longitud, los números de oscilaciones están en razon directa de las raices cuadradas de las acciones de la gravedad, y por consiguiente que las intensidades de la gravedad son como los cuadrados de los números de oscilaciones.*

101. *Aplicacion de estos resultados.* — Se sigue de este último resultado que si por la observacion se hallaba que un péndulo hiciese en París en un tiempo dado cierto número de oscilaciones, y que trasportado al Perú, por ejemplo, hiciese al mismo tiempo un número de oscilaciones menos considerable, seria preciso concluir de aqui que la accion de la gravedad es mas fuerte en París que en

el Perú. Resulta en efecto de las diferentes observaciones hechas por los sabios más distinguidos, que la acción de la gravedad es constante bajo la misma latitud; pero que varía de una latitud á otra, y que va disminuyendo desde los polos al ecuador.

102. *Péndulo de segundos.* — Se llama péndulo de segundos aquel cuyas oscilaciones se hacen en un segundo de tiempo. Para determinar la longitud de este péndulo, basta hacer oscilar un péndulo compuesto de una longitud cualquiera medida muy exactamente, contar el número de oscilaciones que hace en una hora por ejemplo, y hacer en seguida la proporcion: 3600 número de oscilaciones del péndulo de segundos durante una hora, es al número de oscilaciones del péndulo de observacion, como la raíz cuadrada de la longitud del péndulo de observacion es á la raíz cuadrada de la longitud del péndulo buscado. Elevando al cuadrado se tendrá la longitud del péndulo compuesto que daría los segundos; es facil despues por medio de las reglas que suministra la mecánica calcular la longitud del péndulo simple. (*)

Se ha hallado que la longitud del péndulo de segundos simple es en París 0,99384 metros ó 3,5668 pies españoles. En Madrid es de 3,5638

(*) La fórmula por medio de la cual se calcula la longitud del péndulo simple que corresponde al péndulo compuesto es $l = \frac{a^2 + K^2}{a}$ siendo l la longitud buscada, a la

distancia del centro de gravedad del péndulo compuesto al centro de suspension; K^2 el momento de inercia de la masa del péndulo respecto á un eje paralelo al eje de suspension que pasa por el centro de gravedad, dividido por la masa.

pies españoles. En el ecuador esta longitud es un poco mas pequeña, pues es preciso acortar la varilla del péndulo que en París marcha en conformidad con las estrellas, para que conserve la misma regularidad. Al contrario en los polos hay que alargar la varilla. El primero que descubrió esta variacion de longitud del péndulo en diversas latitudes fue Richer en 1672; la exactitud de su observacion fue desde luego impugnada, pero se reconoció al fin.

103. *Intensidad de la gravedad en una latitud dada.* — Conociendo la longitud del péndulo simple que da los segundos en un punto dado de la tierra, se puede determinar la intensidad de la gravedad en este punto. Se halla para esto la fórmula $g = a\pi^2$, siendo a la longitud del péndulo, y π la circunferencia del círculo, cuyo radio es la unidad, es decir, 3,14154. En París $a = 0,99384$ metros ó 3,5668 pies españoles, luego $g = 9,8088$ metros ó 35,2 pies españoles, que es la velocidad adquirida por el cuerpo al fin del primer segundo de su caída en el vacío por la acción de la gravedad. Esta velocidad expresa el doble del espacio que los cuerpos han recorrido en la unidad de tiempo (47); de suerte que tomando la mitad de 35,2 se tiene 17,6 pies para el espacio recorrido en el primer segundo de la caída en París. En Madrid la longitud del péndulo de segundos es de 3,5638 pies españoles, y la fuerza de la gravedad es de 35,1739 pies: lo que da para el primer segundo del descenso de un cuerpo verticalmente 17,5869 como ya hemos dicho.

Nueva prueba de que la acción de gravedad es la misma para todos los cuerpos. — Haciendo osci-

lar cuerpos de diferentes materias y masas, y determinando para cada uno de ellos la intensidad de la gravedad, se ha reconocido que la acción de esta fuerza es la misma para todos los cuerpos en la misma latitud, lo que confirma lo que hemos ya dicho (70).

104. *Consecuencias que resultan de la variación de la gravedad á diversas latitudes.*— Cuando se vió por las observaciones del péndulo que la acción de la gravedad no era la misma en todas las latitudes, se sospechó que esta variación era debida á una fuerza centrífuga resultante del movimiento de rotación de la tierra sobre su eje; y en efecto si la tierra posee este movimiento, todos los cuerpos que se hallan en su superficie deben participar de él, y hallarse animados de una fuerza centrífuga que se opone á la acción de la gravedad. Esta fuerza irá aumentándose desde los polos donde será cero hasta el ecuador donde estará en su máximo.

Se creyó durante algun tiempo que esta era la única causa de la disminución de la gravedad en diferentes puntos del globo; pero habiendo calculado Bouguer tan exactamente como le fue posible el valor de la fuerza centrífuga en diferentes grados de latitud por medio de la velocidad conocida de la tierra en la rotación sobre su eje, observó que la disminución de la gravedad de los polos al ecuador no era exactamente proporcional al aumento de la fuerza centrífuga (*). Se sospechó entonces que la

(*) La velocidad de rotación de la tierra sobre su eje es de cerca de 400 metros ó 1436 pies españoles por segundo, la fuerza centrífuga que resulta en el ecuador hace perder á la gravedad al rededor de $\frac{1}{289}$ de su acción. Fácilmente se

forma de la tierra influía algo en esto, y que el globo terrestre era algo mas abultado en el ecuador: esto se comprobó despues directamente, midiendo bajo diferentes latitudes arcos de meridiano comprendidos entre paralelos separados unos de otros un solo grado (*),

demuestra segun esto que si la velocidad de la tierra fuese 17 veces mayor, los cuerpos cesarian de pesar en el ecuador, y que si fuese aun todavia mas grande, todas las particulas materiales se esparcerian indefinidamente en el espacio, de suerte que el globo se destruiria,

(*) Se ha hallado por las mediciones mas rigurosas que la longitud de los arcos del meridiano, comprendidos entre paralelos separados un solo grado, van aumentando desde el ecuador hasta los polos. La tabla siguiente tiene algunas de estas mediciones,

<i>Puntos de observacion.</i>	<i>Latitud boreal tomada en la division del circulo en 400,º</i>	<i>Longitud en metros,</i>	<i>En varas castellanas.</i>
Ecuador.	0,º	99552,3	119095,4
Pensilvania. . . .	43,56,º	99787,1	119375,6
Francia.	51,33,º	99948,7	119569,7
Norte.	73,7,º	100695,	120462,4

Partiendo de estas observaciones se ha hallado por el cálculo que el globo terrestre es un elipsoide, cuyo radio en el ecuador es de 6376984 metros ó 7628849,6 varas españolas, y el radio del polo 6356324 metros ó 7604133,9 varas castellanas

Las medidas que se han tomado sobre los paralelos indican con probabilidad que estos paralelos son tambien elipticos, de suerte que la figura de la tierra es sumamente complicada, pues ademas parece que los dos hemisferios no son perfectamente semejantes.

En el uso ordinario se puede despreciar el aplanamiento de la tierra como se hace en las medidas náuticas; pero entonces conviene tomar el radio medio que corresponde á la latitud de 50 grados, y es de 6366745 metros ó 7616600,7 varas españolas.

105 *La gravedad varia á diferentes distancias sobre la tierra.* — Bouguer observó tambien por medio del péndulo que la accion de la gravedad variaba á medida que se alejaba de la superficie de la tierra. Vió que en el Perú al nivel del mar el péndulo simple de segundos tenia 3,5575 pies españoles, mientras que en el Pichincha, montaña elevada 5676,5 varas sobre dicho nivel, no tenia sino 3,5517 pies. En otras operaciones obtuvo resultados análogos, de suerte que es evidente que la accion de la gravedad disminuye á medida que se eleva el observador sobre la superficie del globo.

ARTÍCULO IX.

Gravitacion universal.

106. La atraccion terrestre que, como acabamos de ver, disminuye muy poco á la altura de cerca de 5700 varas sobre el nivel del mar, debe extenderse sumamente lejos en el espacio, conservando una gran intensidad; de suerte que viene naturalmente al pensamiento la idea de que un cuerpo trasportado encima de nosotros á una distancia igual á la de la luna deberia ser atraído hácia la tierra; luego la luna misma debe ser atraida por la tierra: pero si esto es así, ¿por qué este astro no cae sobre nosotros? Consiste en que al mismo tiempo que es solicitado á ello por la gravedad, está empujado por una fuerza de proyeccion considerable, y estas dos fuerzas combinándose le hacen describir una curva elíptica al rededor de la tierra, centro de atraccion (98, 51 y siguientes).

107. *Conjeturas y cálculo de Newton.* — New-

ton fue el primero que conjeturó que el movimiento elíptico de la luna al rededor de la tierra, era el resultado de su movimiento de proyeccion combinado con la atraccion terrestre. Ayudado del cálculo, y con los datos suministrados por las observaciones astronómicas, buscó la altura de donde podria este astro, abandonado á la gravedad, caer sobre la tierra en un tiempo determinado. Comparando en seguida la altura que habia encontrado con la que corre en el mismo tiempo un cuerpo en la superficie de la tierra, descubrió *que si la atraccion terrestre se extendia hasta la luna, debia obrar sobre los cuerpos en razon inversa del cuadrado de las distancias al centro de la tierra.* Se sabe por las observaciones astronómicas que la distancia de la luna á la tierra es de unos 60 radios terrestres, el cuadrado de 60 es 3600, luego la gravedad á la distancia de la luna es 3600 veces menor que en la superficie de la tierra.

El genio de Newton no se contentó con solo este descubrimiento. Sabiendo este ilustre geómetra que los planetas son globos aislados en el espacio (*), miró cada uno de ellos como un centro de atraccion que hacia dirigir á sí todos los cuerpos comarcanos, y como muchos planetas están acompañados de satélites ó lunas que giran al rededor de ellos,

(*) Los planetas son cuerpos que circulan al rededor del sol. En el dia se cuentan once, que estan colocados al rededor del sol en el orden siguiente, contando desde el mas próximo á este astro, *Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Juno, Vesta, Palas, Ceres, Júpiter, Saturno y Urano.*

Los satélites son cuerpos que circulan al rededor de los planetas. La luna es el satélite de la tierra. Júpiter tiene cuatro satélites, Saturno siete, Urano seis. Los otros planetas no tienen ninguno.

consideró los movimientos de estos satélites como el resultado de una fuerza de proyeccion y de la atraccion de su planeta respectivo.

En fin, sabiendo que del mismo modo que los satélites circulan al rededor de los planetas, éstos lo hacen tambien al rededor del sol, describiendo curvas elípticas, arrastrando consigo sus satélites, Newton dedujo esta consecuencia: *que el sol es tambien como el focus de una fuerza atractiva que se extiende hasta los planetas, y que combinada con el movimiento de proyeccion impreso á cada uno de ellos por la mano poderosa del Criador, los hace describir curvas elípticas al rededor de este centro.*

108. *Leyes de Kepler.* — Los fenómenos celestes que sirven de base á los cálculos de toda la teoria de la gravitacion, se conocen con el nombre de *leyes de Kepler*. Estas leyes son el resultado de una larga série de observaciones de este célebre sabio; despues han sido confirmadas por todos los astrónomos, de suerte que deben mirarse como verdades incontestables. He aqui su enunciado:

1.^a *Los planetas se mueven en curvas planas, y sus radios vectores describen al rededor del centro del sol áreas proporcionales á los tiempos.*

2.^a *Las órbitas planetarias son elipses que tienen por uno de sus focus al centro del sol.*

3.^a *Los cuadrados de los tiempos de las revoluciones de los planetas al rededor del sol, son entre sí como los cubos de los ejes mayores de sus órbitas.*

109. *Consecuencias de estas leyes.* — Estas leyes presentan una concordancia exacta con los resultados que hemos visto anteriormente (55), y pa-

ra proceder rigurosamente se demuestran las recíprocas de los teoremas que acabamos de enunciar en el número anterior, como se hace y debe verse en las obras de Mecánica. Caminando de este modo conducen las leyes de Kepler á los resultados siguientes:

La primera nos demuestra que la fuerza que solicita los planetas está constantemente dirigida al centro del sol.

La segunda nos indica que la fuerza que solicita á los planetas, obra en razon inversa de los cuadrados de las distancias de sus centros al del sol.

Por último, la tercera nos indica que esta fuerza es la misma para todos los cuerpos, que no varía del uno al otro sino en razon de sus distancias al sol; de suerte que si estuviesen colocados á distancias iguales al centro del sol, y abandonados á la accion de la fuerza que les empuja hácia este astro, emplearian el mismo tiempo en caer sobre su superficie. Esta última consecuencia es la misma que hemos deducido respecto á los cuerpos solicitados por la atracción terrestre.

Las leyes de Kepler se aplican igualmente á los satélites de los planetas, y resulta que cada sistema de satélites es atraído hácia su planeta por una fuerza que es la misma para todos estos cuerpos, y que obra en razon inversa del cuadrado de las distancias de su centro al del globo á cuyo rededor giran.

El cálculo manifiesta que la curva descrita por los planetas al rededor del sol puede tambien ser parabólica ó hiperbólica, de suerte que aun cuando ciertos cometas (*) describiesen parábolas é hipér-

(*) Los cometas son astros que se mueven al rededor del

bolas, como creen algunos físicos, no dejarían por esto de estar sujetos á la ley general.

La analogía de todos estos resultados nos conduce á la consecuencia de que la atracción que parece poseer cada uno de los cuerpos celestes, obra absolutamente por la misma ley al rededor de cada uno de ellos.

110. Se puede concebir que *la atracción que posee cada cuerpo celeste, se extiende indefinidamente al rededor del mismo*, de suerte que la atracción de la tierra por ejemplo se extiende hasta la luna, lo mismo que la de la luna se extiende hasta la tierra. Esta última conjetura no admite la menor duda si se observa el flujo y reflujo de las aguas del mar, cuyos períodos concuerdan perfectamente con los movimientos lunares. Newton concluyó en general que si los planetas atraen á sus satélites, éstos atraen á sus planetas: que si el sol atrae á los planetas, es atraído por ellos tambien con cierta fuerza; de suerte que el sol, los planetas, los cometas y los satélites ejercen atracciones unos sobre otros. Esta conclusion está justificada por las ligeras perturbaciones que los cuerpos celestes experimentan, y cuya causa halla la mecánica en su mútua influencia.

sol en elipses sumamente prolongadas, ó en parábolas ó hipérbolas. Estos astros han sido por largo tiempo motivos de terror; la traza luminosa que aparece detras de ellos y que se llama su *cota*, era lo que siempre se temia mas.

Admitiendo que ciertos cometas describiesen parábolas ó hipérbolas al rededor del sol, se seguiria que despues de haberlos visto una vez, jamas los volveriamos á ver, porque se apartarian indefinidamente de nosotros. Quiza esta es la causa por la cual muchos cometas que se han observado antiguamente, no han vuelto á aparecer despues.

III. Newton llegó tambien á concebir que la *propiedad atractiva es una cualidad esencial de la materia*, de donde se sigue que las atracciones que los diferentes cuerpos ejercen unos sobre otros, no son sino las sumas de las atracciones particulares de todas las moléculas de que se componen estos mismos cuerpos. Por consiguiente, cuanto mayor es un cuerpo, ó mas bien cuanto mayor masa tiene, mas atraccion ejerce sobre los otros cuerpos. El sol es mayor que ninguno de los planetas: cada planeta es tambien mayor que cualquiera de sus satélites (*).

Quando dos cuerpos están en presencia uno de otro, es ménester, para juzgar de la fuerza con que se atraen, tener en consideracion la masa de cada uno de ellos; pero quando una de las masas es sumamente grande respecto de la otra, se puede despreciar la atraccion de la mas pequeña, para no considerar su tendencia hácia la mas grande sino como el resultado de la atraccion de esta. Esto es lo que se verifica respecto de la tierra y de los cuerpos que están diseminados en ella. Todos estos cuerpos son infinitamente pequeños respecto á ella, y la atraccion que ejercen sobre este globo es como cero respecto á la que él ejerce sobre ellos.

Es ménester tambien tener cuidado con la distancia que hay entre los cuerpos, pues la intensi-

(*) Para dar una idea de la magnitud del sol, haremos notar que el radio de este astro es 112 veces mayor que el de la tierra, y que la distancia de la luna á la tierra es de cerca de 60 radios terrestres. De consiguiente, si el centro del sol coincidiese con el de la tierra, su superficie pasaria 52 radios terrestres mas alla de la luna. El radio medio del globo terrestre es de 7616600,7 varas españolas ó cerca de 1142½ leguas comunes.

dad de la atraccion disminuye rápidamente á medida que aumenta la distancia, supuesto que el cálculo hace ver que obra en razon inversa de los cuadrados de las distancias.

Estas consideraciones condujeron á Newton á este principio general que es la base de todo su sistema planetario: *las moléculas de la materia se atraen en razon directa de las masas, é inversa de los cuadrados de las distancias.*

112. *Consecuencias del principio general de Newton.* — Se sigue de este principio que dos cuerpos colocados libremente á cierta distancia deben atraerse mutuamente, lo que en efecto se verifica; porque 1.º los astrónomos han observado que cerca de las grandes masas de montañas, la plomada no es vertical, y que se halla atraída por la montaña; pero el ángulo que su direccion forma con la vertical es siempre muy pequeña, porque las masas de las mas altas montañas son todavía sumamente pequeñas con respecto á la masa entera de la tierra, que desde luego tiene mas energía para atraer el cuerpo.

2.º Cavendisch ha probado por experimentos muy exactos hechos con la balanza de torsion, que todas las masas de cualquier magnitud que sean, se atraen mutuamente aunque esten colocadas en la superficie de la tierra, que les roba en gran parte su atraccion mútua.

113. *La balanza de torsion* que debemos á Coulomb, es el instrumento mas exacto que poseemos para medir fuerzas muy pequeñas. Consiste en un hilo metálico delgado, aplanado y sujeto á un punto fijo; teniendo en su extremidad libre en suspension horizontal una palanca de dos varas poco mas

ó menos que lleva á cada extremo una bola de plomo.

Mientras el hilo de suspension no está torcido, la palanca queda en reposo en una cierta posicion; pero cuando ha sido torcido procura volver á su forma natural, y hacer girar la palanca en su plano horizontal para volver á la linea de reposo. Los experimentos de Coulomb han probado que la *fuerza de torsion* es proporcional al ángulo que la palanca hace con la posicion de reposo ó equilibrio estable. Se puede medir este ángulo por medio de un círculo graduado.

114. *Detalles del experimento de Cavendish.*—Estando la palanca en reposo, se pone lateral y simétricamente en frente de cada una de sus extremidades una masa de plomo de un diámetro y un peso dado. La atracción de estas masas separa la palanca de la posicion estable, desde luego se tuerce el hilo, y llega un momento en que la fuerza de torsion equilibra la atraccion; pero como la palanca gira hácia su nueva posición con una velocidad adquirida, pasa de ella, luego vuelve sobre sus pasos, y oscila al rededor de ella del mismo modo que un péndulo. La observacion hace conocer la duracion de estas oscilaciones, y comparando la longitud de la palanca á la de un péndulo que oscila en el mismo tiempo, se deduce de todo la relacion de la fuerza atractiva de cada masa con la de la tierra, y por consiguiente la relacion de la masa del globo con la que se ha sujetado al experimento.

115. *Determinacion de la densidad media de la tierra.*—Se puede determinar rigurosamente el volumen del cuerpo sometido á la experiencia co-

mo tambien su densidad. Ademas se conoce aproximadamente el volumen de la tierra, de donde se sigue que se puede tambien por un cálculo simple determinar la densidad media del globo terrestre. Cavendisch ha encontrado que siendo la unidad la densidad del agua, la densidad media del globo era al rededor de 5,48.



CAPÍTULO VI.

Atraccion de cohesion.

116. Se llama *cohesion* la fuerza con la cual adhieren entre sí las partículas de los cuerpos, de modo que oponen mas ó menos resistencia á su separacion.

Se llama *atraccion de cohesion* la misma fuerza que solicita las moléculas de los cuerpos á adherirse entre sí. Pero para dar una idea mas clara de lo que se debe entender por esta expresion, referiremos aquí un experimento conocido, por decirlo así, de todos.

Experimento. — Tómense dos balas de plomo sobre cada una de las cuales se haya hecho una faceta con un cuchillo, reúnaselas por estas facetas, y apretándolas fuertemente una sobre otra, se verá que adhieren con mucha fuerza. Si se toman dos planchas de mármol ó de vidrio bien planas y bien pulimentadas, y se les hace resbalar una sobre otra apretándolas con fuerza para que se toquen lo mas exactamente posible, se observará al procurar separarlas por un esfuerzo perpendicular á su superficie, que adhieren tambien muy fuertemente entre sí.

Consecuencia de este experimento. — ¿Cuál es pues la causa que determina á estas dos balas ó placas á juntarse, y á no formar, por decirlo así, sino un solo cuerpo? La ignoramos; pero las cosas pasan lo mismo que si estos cuerpos por su contac-

to muy cercano se atrajesen mutuamente, ó lo que es lo mismo, como si cada partícula que se puede concebir en la superficie de una, atrajesese á ella la que le corresponde en la otra. Esta tendencia mútua que solo se manifiesta en los puntos inmediatos al contacto, se ha designado bajo el nombre de *atraccion molecular*, que indica solamente el fenómeno, y no la causa que le produce.

117. La atraccion molecular difiere de la atraccion de gravedad en que no obra sino á distancias infinitamente pequeñas; de suerte que si la vista puede distinguir el mas mínimo intervalo entre los cuerpos que se atraen no se verifica el fenómeno. Laplace con el intento de referir éstos dos géneros de atraccion á la misma ley, supone que en los cuerpos los diámetros de las moléculas son incomparablemente menores que los intervalos que las separan; de suerte que cuando el intervalo entre los cuerpos se distingue por la vista, es excesivamente grande respecto á las moléculas.

118. En los experimentos que acabamos de citar se designa mas particularmente el efecto con el nombre de *atraccion de adhesion*. La fuerza de adhesion aumentá con la extension de las superficies, y varía segun la naturaleza de los cuerpos que se ponen en contacto. Se ha notado que despues de haber estado los cuerpos adheridos por algun tiempo, oponen mas resistencia á su separacion que en el primer momento. Se supone para explicar todo esto que la accion prolongada de la fuerza atractiva solicita á las moléculas á hacer pequeñas oscilaciones, á favor de las cuales se verifica una aproximacion mas íntima, y se forma mayor número de puntos de contacto entre las dos superficies.

119. *Dificultad de reunir entre sí las partículas muy divididas.* — Todos saben que después de haber reducido un cuerpo á polvo, no es posible conseguir inmediatamente el reunir las partículas de modo que formen una masa sólida. Esto nace de que las partículas siendo muy gruesas y desiguales entre sí, se hallan además demasiado lejanas unas de otras para poder atraerse mutuamente; pero se concibe que si estuviesen mas divididas y fuesen mas iguales, el espacio que dejasen entre sí se haria menos considerable, y podrian acercarse bastante para atraerse como las dos placas del experimento, y entónces se lograria restaurar el cuerpo que se ha pulverizado.

120. *Ejemplo de reintegración.* — Con una fuerte presion se pueden acercar entre sí las partículas muy divididas de una manera cualquiera, para que puedan juntarse y formar una masa de cierta solidez. Se tiene un ejemplo en la fabricacion de los azulejos por medio de la prensa hidráulica, con tierras reducidas á polvo fino, que no tienen mas humedad que la que toman naturalmente en los talleres. Estando puestas estas tierras en un molde á la accion de la prensa, sale un cuadrado que posee una gran consistencia que se aumenta por la coccion, y queda formado el azulejo.

121. *Consécuencia de los experimentos precedentes.* — Partiendo de estos experimentos, se admite que las partículas infinitamente pequeñas de los cuerpos, están agregadas entre sí como en virtud de una fuerza atractiva que ejercen unas sobre otras. El fenómeno considerado bajo este punto de vista, toma mas particularmente el nombre de *atraccion de cohesion.*

122. *Efectos de la atracción de cohesión.* — De los efectos de la atracción de cohesión mas ó menos modificada por la acción del calórico, dependen los diversos grados de consistencia que presenta un gran número de cuerpos. Por la atracción de cohesión resisten mas ó menos á la fusión y á la disolución, y esta misma es la que les solicita cuando están fundidos ó disueltos en un líquido á volver á solidificarse.

Quando los cuerpos están en estado líquido, se puede concebir que sus partículas están separadas unas de otras casi hasta el límite de su atracción mútua; pero quando la cantidad de calórico que habia producido este efecto llega á disminuir, las partículas se aproximan, y bien pronto se agregan de nuevo volviendo á formar cuerpos sólidos.

Es menester concebir que en virtud de la atracción de cohesión resisten los cuerpos sólidos mas ó menos á la fusión, y no pasan al estado líquido sino quando la acumulación del calórico en ellos ha podido sobrepasar á la adherencia mútua de sus partículas.

123. *Modificaciones producidas en la cohesión de los cuerpos por la temperatura.* — Si algunos cuerpos, v. gr. la cera, el lacre, el vidrio, &c. pueden á cierto grado de temperatura presentar una especie de blandura que permite labrarlos y contornearlos de diferente modo, es preciso concebir que la acción del calórico ha separado bastante las moléculas, para que puedan en algun modo, rodar y reshalar unas sobre otras sin romper del todo su mútua adherencia. Se nota efectivamente que por la acción del calor aumentan estos cuerpos de volumen. El hierro adquiere tambien cierta blan-

dura cuando se calienta hasta el rojo de cereza, de suerte que en este estado se le forja mas fácilmente que en frio: la fundicion que es sumamente dura, adquiere por el calor rojo de cereza tal grado de blandura, que se la puede cortar con la sierra tan fácilmente como si fuera estaño.

Si la mayor parte de los metales usuales, especialmente el plomo y el estaño, pueden ser forjados extendidos y modelados de diferentes modos por la presion á la temperatura ordinaria, es porque sus moléculas se hallan en el mismo caso á esta temperatura que las de vidrio, lacre, &c. á otra mas elevada.

En fin, es preciso concebir lo mismo respecto á los demas cuerpos, como las grasas que aun á la temperatura ordinaria conservan un estado de blandura extrema que permite á sus moléculas resbalar fácilmente unas sobre otras, cediendo al mas mínimo choque. Estos cuerpos forman, por decirlo asi, el intermedio entre los sólidos y los líquidos; pero toman mayor consistencia á una temperatura mas baja.

124. *Modificaciones producidas por el mas ó menos íntimo contacto de las partículas.*—Se supone que en cada sustancia la atraccion que conduce á las moléculas unas hácia otras, tiene su intensidad particular; pero en cada especie las moléculas están unidas con tanta mayor fuerza, quanto mas exactamente se tocan; de suerte que si una circunstancia cualquiera tiene á las moléculas mas separadas entre sí en un caso que en otro, la cohesion del cuerpo será menor en el primero que en el segundo. Asi se puede explicar por ejemplo la diferencia de cohesion entre el mármol blanco

y la creta, que son absolutamente de la misma composición. Un pedazo de mármol de diez onzas v. gr. presenta un volumen mucho mas pequeño que un pedazo de creta del mismo peso; de donde se sigue que las partículas están mas próximas unas á otras en el mármol que en la creta, y por consiguiente están en contacto mas íntimo.

XX

CAPÍTULO VII.

Atraccion de combinacion.

Aunque acabamos sobre poco más ó menos de examinar lo que mas importa conocer en Física sobre atraccion, es decir, como están agregadas entre sí las partículas de los cuerpos sólidos, no podemos dejar de entrar en algunos pormenores que pertenecen mas particularmente á la Química.

25. Los cuerpos inorgánicos son *simples* ó *compuestos*. Los *cuerpos simples* son aquellos que no encierran mas que una sola especie de materia, cuyas partículas están reunidas entre sí por la atraccion de cohesion: tales son los metales.

En los *cuerpos compuestos* las partículas reunidas entre sí por la atraccion de cohesion, están compuestas de varias sustancias de diferente naturaleza *combinadas juntamente*. El químico considera la combinacion de estas sustancias como el resultado de una atraccion particular de las moléculas de diferentes especies entre sí, y distingue particularmente este fenómeno con los nombres de *atraccion de combinacion*, *atraccion de composicion*, ó *afinidad química*.

En los cuerpos compuestos como la sal comun, el alumbre, &c. es menester distinguir dos causas diferentes que concurren á su formacion: la atraccion de combinacion que reúne las moléculas simples de especies diferentes, para formar partículas compuestas que se llaman *partículas integrantes*; y

la atraccion de cohesion, en virtud de la cual estas partículas integrantes están agregadas entre sí.

126. *Especies diferentes de combinaciones.* — Se dice que dos ó muchos cuerpos se combinan siempre que obran uno sobre otro, de modo que forman un todo cuya mas mínima parte encierra los componentes en la misma proporcion que la masa total. Asi se mira como combinacion la mezcla íntima de diversos líquidos entre sí: por ejemplo, el agua y el espíritu de vino, el agua y los ácidos, &c. Esta especie de combinacion puede verificarse sin limites en todas las proporciones imaginables.

La disolucion de una sal en el agua es tambien una combinacion. Se verifica en todas las proporciones hasta cierto término, pasado el cual no puede el agua disolver inmediatamente ninguna parte de sal. Es necesario decir lo mismo de la disolucion de un gas en el agua.

En estos dos géneros de combinaciones, el compuesto conserva siempre las propiedades particulares de los componentes, como el sabor, el olor, &c.; pero tiene sin embargo caracteres propios que se encuentran en la pesantez específica, ordinariamente mayor de la que podria calcularse por la naturaleza y cantidad de los componentes; en el modo de propagar y absorber el calor; &c. &c.

Hay otra especie de combinaciones muy diferentes de las anteriores. Un gran número de cuerpos no se combinan entre sí sino en cierto número de proporciones, todas determinadas y constantes, y no se combinan jamas en las proporciones intermedias. Los compuestos que resultan poseen propiedades muy diferentes de los componentes. Por

ejemplo, los dos gases hidrógeno y oxígeno se combinan en la proporcion de dos partes en volumen del uno y una parte del otro: el resultado es el agua, cuyas propiedades difieren totalmente de las de ambos componentes.

127. La atraccion de combinacion lo mismo que la de cohesion, no se verifica sino cuando las moléculas están entre sí á distancias inapreciables. Puede ejercerse entre cuerpos simples, entre cuerpos simples y compuestos, ó entre cuerpos compuestos. Se puede decir en general que todos los cuerpos tienden á combinarse; pero esta tendencia mútua no tiene la misma intensidad en todos, de suerte que de dos cuerpos dados, uno se unirá mas fácilmente á un tercero que el otro. Puede decirse en general que hay tanta diversidad en las intensidades de la atraccion como cuerpos diferentes existen.

128. *Medida de la intensidad de la atraccion de combinacion.* — Se pueden medir hasta cierto punto las relaciones de estas tendencias mútuas de un cuerpo determinado, á combinarse con los demas, examinando los compuestos en que este cuerpo está combinado con todas las cantidades posibles de tal ó tal otro. Por ejemplo, si una cantidad determinada de agua puede disolver una parte de una sal, dos de otra, tres de otra, &c. se concluirá de ello que las tendencias mútuas del agua y de las sales, están representadas por los números 1, 2, 3, &c. Pero las fuerzas que solicitan á los diferentes cuerpos á unirse entre sí, pueden ser modificadas por un sin número de circunstancias como la cohesion, la temperatura, &c.; de suerte que la determinacion de las intensidades de esta

atraccion se hace sumamente dificil en muchos casos.

129. *Causas modificantes.*—La cohesion que existe entre las partículas respectivas de dos cuerpos opone siempre un obstáculo á su combinacion; si es igual á su atraccion mútua ó si es mayor, la combinacion no se verifica: si es mas pequeña logra solamente disminuir la atraccion. Por ejemplo si la tendencia mútua de dos cuerpos está representada por 8, y la suma de sus cohesiones por 3, los dos cuerpos no obrarán uno sobre otro sino como si tuviesen una tendencia mútua representada por 5.

Cuando se hace obrar el agua sobre una sal, se puede considerar que existen dos fuerzas opuestas, á saber, la atraccion mútua de los dos cuerpos que procura combinarlos, y la fuerza de cohesion que procura conservar la sal en el estado sólido. No habrá disolucion sino en tanto que la primera fuerza prevalezca, y entonces los dos cuerpos obrarán uno sobre otro hasta que la tendencia mútua resultante esté satisfecha: en este punto ya no será posible hacer que el agua disuelva la mas pequeña cantidad de sal, formándose lo que se llama *saturacion*.

Entonces es cuando se puede conocer la influencia de la temperatura, puesto que si se hace calentar el líquido se verá una nueva parte de sal disolverse, y se formará un nuevo término de *saturacion*. El calor obra aqui disminuyendo la fuerza de cohesion de la sal, y quizá tambien aumentando la afinidad mútua.

130. En una disolucion saturada se debe concebir que hay equilibrio entre la atraccion de co-

hesion de las partículas del cuerpo sólido disuelto, y la atraccion de combinacion entre el cuerpo y el agua; de suerte que el mas pequeño aumento de cohesion debe hacer volver una parte de la sal al estado sólido. Asi pues, toda disolucion que despues de haber sido saturada á la temperatura ordinaria, se ha cargado por la aplicacion del calor de una nueva cantidad de sal, la deposita al enfriarse; lo cual puede verse haciendo disolver en el agua hirviendo todo el alumbre que sea posible. Mientras que la disolucion esté caliente no se observará nada; pero al momento que se enfrie se verá una parte del alumbre deponerse en masa sólida ó en cristales octaédricos (*fig. 24*).

Lo mismo sucede cuando se disminuye la cantidad del líquido por la evaporacion. En los dos casos se acercan las moléculas, y se colocan en su esfera de atraccion mútua.

131. Los detalles que acabamos de dar nos parecen suficientes para nuestro objeto; pues en lo demas se deben consultar las obras de Química.

LIBRO SEGUNDO.

Cuerpos sólidos.

Consideraremos desde luego las propiedades que los cuerpos nos presentan en el estado de solidez. Después examinaremos las varias circunstancias que estas propiedades determinan en sus movimientos.

SECCION PRIMERA.

Propiedades de los cuerpos sólidos.

CAPÍTULO PRIMERO.

Figura de estos cuerpos.

132. Los cuerpos sólidos se nos presentan bajo un gran número de formas. Las hay que son el resultado de la organizacion vital, y que por lo mismo varían al infinito, y no son objeto de las indagaciones de la Física; pero hay otras que no son sino el resultado del juego de atracciones moleculares, en virtud de las cuales las partículas materiales se unen entre sí; de estas segundas debemos á lo menos dar una idea, ya que no podamos en-

trár en todos los detalles que merecerian. Estas formas son de dos especies: unas regulares y otras irregulares.

133. *Las formas regulares* que se designan bajo el nombre de *crisales*, son poliedros determinados por facetas planas, lisas, regulares, y algunas veces tan brillantes como si se les hubiese hecho labrar por un lapidario. Citaremos aqui por ejemplo al *crystal de roca*, que ofrece con frecuencia formas prismáticas hexaedras, terminadas por pirámides tambien hexaedras (*fig. 25*) dotadas de perfecta transparencia: el *alumbre* que cristaliza en octaedro (*fig. 24*), la *sal comun* que cristaliza en cubo (*fig. 26*), &c. &c.

Las formas regulares se hallan con abundancia en la naturaleza, y todos los dias las obtenemos en nuestros laboratorios, ya abandonando á sí misma la disolucion de un sólido en un líquido, ya dejando enfriar lentamente un cuerpo que ha sido fundido, ó ya en fin reduciendo á vapores algunos cuerpos susceptibles de ello, y que se subliman ó depositan en crisales, en la pared superior del vaso que sirve para la operación.

134. Las formas irregulares son de diferentes géneros. Unas veces son realmente crisales, cuyas facetas están mal formadas y redondeadas, de lo que resultan cilindros, filetes, cuerpos lenticulares, esferóides, &c.; otras veces son grupos confusos de crisales que producen bolas, ramificaciones, &c. En otros casos son formas cónicas, cilíndricas, macizas ó huecas interiormente; bolas compuestas de capas concéntricas que resultan del movimiento impreso al líquido en el momento en que las partículas materiales que tiene en disolucion principian á

depositarse. En fin, hay formas que provienen de la modelacion de la materia en las cavidades pre-existent. Estos diferentes modos de colocarse dan lugar tambien á estructuras particulares. Del agrupamiento irregular de cristales resultan las masas compuestas de láminas entremezcladas; de fibras ya paralelas, ya divergentes, ya entrelazadas unas con otras; de granos mas ó menos finos, que tienen mas ó menos adherencia entre sí, cuyo conocimiento es objeto de la Mineralogía.

135. *Causas de estas diferencias.* — Parece que todas estas diferencias provienen de las diversas circunstancias que acompañan á la agregacion de las partículas. En nuestros laboratorios se nota que las disoluciones no dan cristales bien marcados sino cuando la masa del disolvente es tal que las moléculas del cuerpo sólido, ni están demasiado separadas unas de otras, ni demasiado próximas.

Si la cantidad del líquido es demasiado grande, no se obtienen sino muy pequeños cristales que comunmente son muy limpios y muy brillantes. Si al contrario la cantidad del líquido es demasiado pequeña, no se obtienen sino grupos irregulares, ó agujas cilindricas como se vé en el salitre; ó bien toda la masa se solidifica súbitamente, y resultan cristales entremezclados como se vé en las masas de sal marina y azucar piedra.

En general para que se formen cristales de cierto volumen, es menester que el líquido esté en ciertas proporciones con la cantidad de materia que tiene en disolucion; y para que estos cristales sean bien regulares, es menester que la cristalización se haga lentamente, y que no sea perturbada por ninguna causa exterior que pueda trastornar el movi-

miento interior producido por las atracciones recíprocas de las partículas.

Circunstancias análogas se presentan en el paso de los cuerpos líquidos al estado sólido.

136. *Variaciones de las formas regulares.* — El estudio de las sustancias minerales y de las sales que logramos componer en nuestros laboratorios, nos ha enseñado hace largo tiempo que un mismo cuerpo es susceptible de tomar al cristalizarse cierto número de formas regulares muy distintas unas de otras. Así no es raro hallar á un tiempo en la misma sustancia cubos, octaedros, dodecaedros de planos romboidales, ú otros poliedros, que son el resultado de la combinación de muchas de estas formas entre sí (*fig. 24 á 29*). Otras muchas sustancias se presentan bajo otras formas que no son sólidos geométricos como las precedentes, pero no son menos constantes en sus ángulos, y presentan un número infinito de formas en una misma sustancia.

No hay una especie de mineral mas fecunda en variedad de formas que el *carbonato de cal*: esta sustancia se presenta tan pronto bajo la forma de romboídes (sólidos de seis planos iguales y semejantes é igualmente inclinados sobre el eje), que varían desde los romboídes muy obtusos (*fig. 30*) hasta los muy agudos (*fig. 31*). Otras veces se presenta bajo la forma de prismas hexaedros simples (*fig. 32*) ó terminados por pirámides (*fig. 33, 34, 35 y 36*) y aun algunas veces toma la forma que presenta la *fig. 37*, &c.

Podríamos citar una despues de otra todas las sustancias minerales y las sales artificiales conocidas, y hallaríamos en todas ellas un gran número de variaciones de formas de diversos géneros, tales como

prismas de bases cuadradas, rectangulares ó romboidales, rectos y oblicuos; octaedros de todas especies, &c. &c.

137. *Relacion de estas formas entre sí.* — Cualquiera que sea la diferencia que puedan presentar los cristales de una misma sustancia, se reconoce sin embargo estudiándolos atentamente, que tienen relaciones constantes, y que todas las formas no se hallan indistintamente en todos los cuerpos. Reuniendo todos los cristales que pertenecen á una misma especie, se reconoce bien pronto que existen entre ellos graduaciones particulares. Partiendo del cubo, por ejemplo, se reconoce que este sólido en la naturaleza se presenta unas veces completo (*fig. 26*); otras con sus ángulos sólidos, ó sus aristas truncadas y reemplazadas por nuevos planos llamados *facetas* (*fig. 27 y 28*). Siguiendo estas facetas en sus diversas mudanzas, se las ve extenderse sucesivamente desfigurando mas y mas al cubo hasta que le hacen desaparecer enteramente. Asi pues, las facetas *a* (*fig. 27*) que se hallan en los ocho ángulos sólidos del cubo, producen por su prolongacion el octaedro regular (*fig. 24*). Las que se forman sobre las doce aristas de este cubo (*fig. 28*) producen por su prolongacion el dodecaedro romboidal (*fig. 29*). Recíprocamente partiendo del octaedro, se ve fácilmente el paso al cubo por la truncadura de los seis ángulos sólidos, y el paso al dodecaedro por la truncadura de las doce aristas. Lo mismo sucede partiendo del dodecaedro de planos romboidales; se puede notar que entre los catorce ángulos sólidos que presenta hay seis que están compuestos de cuatro caras, y ocho que están compuestos de tres; luego la truncadura de los

seis primeros ángulos produce el cubo, y la truncadura de los otros ocho produce el octaedro. La truncadura de las veinte y cuatro aristas del dodecaedro, conduce tambien á otro sólido particular compuesto de veinte y cuatro caras trapezoidales que puede tambien producir el cubo, el octaedro y dodecaedro romboidales, &c. Todos estos pasos de uno á otro proceden de que entre estos poliedros hay algunos cuyos ángulos sólidos iguales, ó aristas semejantes, se hallan precisamente en el mismo número que las caras de los otros, y colocados simétricamente con respecto al centro del cristal. Circunstancias análogas se presentan respecto de los cristales que no se refieren á los poliedros regulares de la Geometría: se reconoce tambien en todos aquellos que son susceptibles de producirse por la misma sustancia, que las caras de los unos corresponden á los ángulos sólidos ó á las aristas de los otros, y recíprocamente. Pero esta es una ley que debemos contentarnos con enunciarla, porque seria preciso para demostrarla y explicar algunas anomalías aparentes, entrar en pormenores cristalográficos que nos harian traspasar los límites de un tratado de Física elemental.

138. *Division mecánica.* — Existe aun otra circunstancia que establece relaciones íntimas entre los diversos cristales que una propia sustancia es capaz de producir, y que los refiere todos á un tipo comun é invariable. En efecto, se conoce un número considerable de sustancias, cuyos cristales son susceptibles de reducirse por la percusion á una multitud de pequeñas particulas regulares de forma constante en la misma especie, cualquiera que sea la figura exterior del cristal que se ha ro-

to. El carbonato de cal que hemos citado antes, ofrece un ejemplo notable de este fenómeno. Reúnase una porción de cristales de esta sustancia los mas desiguales en la apariencia que se puedan encontrar, como los de las *fig.* 30 y 37 y otras muchas, y se observará que constantemente se rompen en partículas romboidales (*fig.* 38), cuyas caras están inclinadas entre sí $105^{\circ} 5'$ y $74^{\circ} 55'$.

Un gran número de sustancias presentan del mismo modo cuando se les rompe partículas regulares y formas constantes en la misma especie. Así pues, todos los cristales de sal comun se rompen constantemente en partículas cúbicas. Otras sustancias producen tetraedros regulares, paralelepípedos de diversos géneros, &c.

Existen sin embargo sustancias que no se rompen generalmente sino en partículas irregulares; tales son por ejemplo el alumbre, el cristal de roca, &c., ó á lo menos no presentan mas que indicios bastante vagos de las divisiones regulares; pero esto puede nacer de su dureza, y los ejemplos que se tienen de otras sustancias conducen á aprovechar los mas mínimos indicios, y concluir que todos estos cuerpos están tambien compuestos de partículas integrantes de una forma determinada y constante.

139. *Núcleo ó sólido central de un cristal.*—En lugar de romper los cristales arbitrariamente como acabamos de indicar, para hacer ver que en la misma sustancia todos están compuestos de partículas semejantes, se puede hacer la operacion de un modo mas regular, y se consigue entonces reconocer otra circunstancia que es tanto mas notable y recomendable, quanto es la que ha dado lugar á todos los bellos descubrimientos con que el célebre Haüy

ha enriquecido la Mineralogía. Si se toma por ejemplo un cristal de carbonato de cal que no sea el romboide de $105^{\circ} 5'$ (*fig. 38*), se reconocerá que algunos de sus ángulos, ó algunas de sus aristas pueden romperse con mucha facilidad, y en su lugar aparecerá una faceta sumamente viva. Despues de haber así cortado una pequeña porcion del cristal, se puede sacar una lámina paralela á la cara que ha producido; despues una segunda lámina, una tercera, &c., todas paralelas unas á otras y sucesivamente mas anchas. Esta especie de division ó *tallado* (*) puede hacerse en el mismo cristal segun seis posiciones diferentes, y continuarse igualmente mientras sea posible, sacando sucesivamente láminas, y se concluye por hacer desaparecer todas las caras que forman el cristal que se habia elegido, y llegar al romboide de $105^{\circ} 5'$ como la *fig. 38*, que es en algun modo como *núcleo* ó *centro* del cristal que se ha roto. Esta especie de núcleo está indicado en su posicion natural en los cristales (*fig. 30, 32 y 33*) y que se dividen todos segun sus ángulos sólidos, y en el cristal (*fig. 38 bis*) que se divide segun las aristas.

140. *Hipótesis del decrecimiento de las facetas.* — En la division que acabamos de indicar, la cual se verifica igualmente en otras muchas sustancias, parece que la naturaleza al formar cada cristal ha partido de un núcleo central, regular y constante en cada especie, sobre cuyas caras ha ido

(*) La palabra *tallado* ó *talladura* que usan los mineralogistas, es derivada de una palabra antigua alemana que significa *cortar madera*. Los lapidarios designan tambien con ella la operacion por la cual tallan el diamante, aprovechando sus junturas naturales para quitarle las partes defectuosas.

aplicando láminas sucesivas, todas paralelas y semejantes entre sí; pero disminuyendo de un modo regular sus dimensiones hasta llegar á reducirlas á un solo punto que forma la cúspide de un ángulo sólido, ó una línea que forma una arista en el cristal exterior. Esta observacion condujo al célebre Haüy á admitir para cada sustancia una forma simple que llama *primitiva*, ya dada por la division como en el experimento auterior, ó ya deducida del conjunto de las formas observadas en una sustancia, y de la cual hace derivar todos los demas cristales que llama *secundarios*, concibiéndola envuelta de tal ó tal modo por capas sucesivas, cuyas dimensiones varían siguiendo ciertas leyes fijas. Por ejemplo, admitiendo un núcleo cúbico concibe la formacion del dodecaedro romboidal (*fig. 29*) por láminas cuadradas aplicadas sucesivamente sobre cada cara del cubo, y que teniendo una altura expresada por la unidad, decrecen sucesivamente en sus orillas en una cantidad igualmente expresada por la unidad (*fig. 43*); del mismo modo concibe el sólido compuesto de veinte y cuatro caras (*fig. 44*) por una aplicacion de láminas que teniendo el mismo espesor representado por 1, decrecen sucesivamente en una cantidad 2 (*fig. 45*) ó en una cantidad 3, &c., segun que la pirámide es mas ó menos rebajada. Concibe la formacion del dodecaedro regular por una aplicacion, sobre las caras del cubo, de láminas cuya altura es la unidad, y que decrecen sucesivamente por los ángulos en una cantidad representada por $\frac{1}{2} V$.

En general, habiendo adoptado una forma conveniente para núcleo de una sustancia, nada es mas fácil que determinar de qué modo deben colocarse

las láminas, y la ley segun la cual deben decrecer para producir tal ó tal forma mas ó menos complicada, cuyos ángulos se hayan medido de antemano.

141. *Observaciones.* — Por ingenioso que sea este modo de concebir la diversidad de cristales en una misma sustancia, y cualesquiera que sean los descubrimientos que haya proporcionado á su sabio autor, es menester no perder de vista que jamas ha sido mirado sino como una hipótesi propia para guiarnos en nuestras investigaciones. No es muy probable en efecto, que la naturaleza comience realmente por formar el cristal primitivo para aplicar en seguida láminas decrecientes. La inspeccion de los cristales que son muchas veces de una pequeñez suma, aunque de figura muy complicada, parece al contrario manifestar que todas las formas han sido producidas de un solo golpe; por otra parte, se puede observar que la mayor parte de los cristales grandes no son sino reuniones regulares de cristales mas pequeños, muchas veces semejantes al grande y otras desemejantes: asi es por ejemplo como se hallan cristales octaedros de fluato de cal formados de cubitos muy bien marcados como *fig. 40* y *41*: cristales de carbonato de cal de la forma *fig. 35*, resultantes de la agregacion de pequeños cristales romboidales (*fig. 30*); cristales grandes de la misma sustancia (*fig. 37*), y de cuarzo (*fig. 36*) que resultan de la agregacion de cristalitos de la misma forma, cuyas caras semejantes todas estan colocadas simétricamente, &c. &c.

142. *Relacion de las formas con los números de moléculas reunidas.* — Estas observaciones prueban con bastante evidencia que en general la cris-

talizacion no se verifica en la naturaleza como la concebimos en la teoría que acabamos de exponer, sino que los diversos cristales resultan mas bien de la colocacion que toman repentinamente entre sí las moléculas regulares en el acto casi espontáneo de su solidificacion. Estudiando el modo con que ciertas partículas infinitamente pequeñas de forma determinada, pueden reunirse entre sí por el número y posicion de sus caras, se puede concebir que los diferentes poliedros á que dan origen penden de los números segun los cuales son solicitadas á reunirse en el momento de la cristalización. En efecto, tomando por ejemplo las partículas cúbicas, se comprende que no podrán formarse cubos completos (*fig.* 26 y 39), sino en el caso que las moléculas se reunan en un número cúbico, como 8, 27, 64, 125 &c.

Parando algun tanto la atención, se verá tambien que no pueden formarse octaedros regulares (*fig.* 24, 40 y 41), sino en el caso en que las moléculas cúbicas sean solicitadas á reunirse bajo los números 7, 25, 63, 129 &c. En fin, no se formarán dodecaedros de planos romboidales (*fig.* 29, 42, y 43), sino cuando las moléculas esten solicitadas á reunirse en uno de los números 33, 185, 553 &c.

Podriamos llevar mas adelante estas consideraciones teóricas para producir otras formas con partículas cúbicas; pero ya se debe ver que se formarán mas fácilmente octaedros y cubos que ningun otro sólido, porque los números de moléculas necesarias son mas sencillos.

Se puede extender la misma consideracion á partículas de otra forma, y obtener resultados aná-

logos; se reconoce fácilmente que ciertos poliedros exigen para su formacion números tan complicados, que no debe sorprendernos el que se presenten en la naturaleza muy rara vez; de esta suerte no es extraño hallar ciertas sustancias que no presentan sino un pequeño número de cristales diferentes.

Por estas consideraciones parece posible que en el acto casi espontáneo de la solidificacion, las moléculas se encuentren solicitadas á reunirse en tal ó cual número, y entonces se formen diversos cuerpos sólidos, quizá desde luego infinitamente pequeños; pero en seguida, siendo estos mismos solicitados á reunirse en otros números, puedan dar origen á otros poliedros mas voluminosos, ya semejantes ya desemejantes á los primeros.

143. *Modificaciones posteriores á una cristalización primordial.* — Si los cristales, especialmente los mas pequeños, parece haberse formado repentinamente por la reunion de cierto número de moléculas, sucede tambien que son modificados de pronto de diferentes modos, por la aplicacion de nuevas partículas materiales sobre sus caras ó sus ángulos. Asi es que muchas veces se hallan entre los cristales de carbonato de cal prismas hexaedros transparentes, que estaban primitivamente terminados en pirámides triedras mas ó menos elevadas, y que fueron cubiertos de pronto por capas del mismo carbonato de cal, algunas veces opacas, que hacen desaparecer las pirámides y terminar el prisma en una cara perpendicular á su eje. Otras veces tambien se nota que estos depósitos ó capas se forman sobre las aristas del cristal solamente, quedando el medio de la cara vacío; otras se forman

únicamente en la parte media de la cara no llegando á las aristas.

Sucede tambien que cristales que pueden haberse formado espontáneamente, se hallan cubiertos de nuevas capas cristalinas que les envuelven en su totalidad y aumentan considerablemente su volumen. Casi todos los cristales grandes presentan indicios positivos de esta especie de aumento. Unas veces la figura que conservan en la misma que la del cristal primitivo que fue envuelto posteriormente; otras es del todo diferente, distinguiéndose entonces por su mayor opacidad ó por un color particular.

144. *Causa de las variaciones de las formas cristalinas en la misma sustancia.* — Los detalles en que hemos entrado nos hacen ver claramente cómo es posible por diversas colocaciones de las partículas integrantes, que una misma sustancia tome al cristalizar formas tan diferentes unas de otras; pero no por eso es menos espeso el velo que cubre las diversas causas que determinan estas variaciones, y fuerzan á las moléculas á colocarse en un caso de un modo y no de otro; ignorándose por ejemplo, por qué en la hipótesi precedente se reúnen en un caso 8, 25, &c. moléculas, para formar el cubo: en otro 7, 33 &c. para formar el octaedro: en fin, en otros números para dar lugar al dodecaedro y á otros poliedros mas ó menos complicados. La determinacion de estas causas es uno de los problemas mas importantes y mas difíciles de la filosofia cristalográfica. He hecho un gran número de experimentos sobre las sales de nuestros laboratorios (*), y he reconocido para estos

(*) Véase Anales de minas, 1818, pág. 239.

cuerpos muchas causas fundamentales de variacion, que son igualmente aplicables á las sustancias minerales.

1.º Cuando una sal cristaliza en medio de un líquido en ebulcion, con partículas insolubles é incoherentes, arrastra siempre una parte de estas en su cristalizacion y toma una forma mas sencilla que la que hubiera tomado cristalizando naturalmente en un líquido puro.

2.º La naturaleza de los líquidos en que cristalizan las sales, influye poderosamente sobre las formas, y se puede, haciéndola variar de un modo conveniente, obtener de una misma sal todas las modificaciones de que es susceptible. Cuando una sal cristaliza en un líquido que encierra una parte superabundante de uno de sus principios constitutivos, toma en general formas diferentes de las que afecta cuando la disolucion está perfectamente saturada.

3.º Ciertas sales que son susceptibles de ser arrastradas en proporciones variables á la cristalizacion de otra, obligan siempre á esta á tomar formas particulares muy diferentes de aquellas que afecta cuando está pura. Se pueden por este medio hacer variar considerablemente las formas que una sal es susceptible de tomar, y obtener arbitrariamente, valiéndose de diversas mezclas, todas las formas que deseen. Ciertas sales experimentan en sus formas variaciones muy marcadas, cuando encierran en estado de mezcla una porcion de uno de sus principios constituyentes.

CAPITULO II.

Porosidad de los cuerpos sólidos.

145. Se llaman *poros* las pequeñísimas cavidades que existen en el interior de todos los cuerpos sólidos. En Francia la porosidad es mirada generalmente como una propiedad esencial de la materia. Se cree que existen mas espacios vacios que llenos en los cuerpos, ó, en otros términos, que la distancia entre las moléculas de los cuerpos, es incomparablemente mayor que los diámetros de las mismas moléculas. Se ha admitido este principio para hacer depender la atraccion molecular de la misma ley que la atraccion planetaria que obra en razon inversa de los cuadrados de la distancia, entre los cuerpos que se atraen mutuamente (107). En Alemania la mayor parte de los fisicos miran al contrario esta propiedad como accidental. Sea lo que fuere, no es dudoso que la mayor parte de los cuerpos son porosos y se prueba su porosidad por diversos esperimentos mas ó menos palpables, segun su naturaleza.

146. *Pruebas de la porosidad.* — La facultad que poseen ciertos cuerpos de dejar paso á tal ó tal líquido por medio de su masa, es una prueba evidente de su porosidad; pero un sin número de cuerpos son susceptibles de permitir este paso, y por consiguiente son porosos. Tales son las piedras calizas que sirven para la construccion de las fuentes por filtracion, que dejan pasar el agua con suma facilidad, ó se embeben prontamente cuando se

las deja sumergidas en este liquido. Tales son tambien la mayor parte de los sólidos que provienen de los cuerpos orgánicos como las maderas, las diferentes especies de tejidos vegetales, la piel despojada de su epidermis &c.

Ciertos cuerpos que no se dejan penetrar por el agua, manifiestan su porosidad por la facilidad con que se empapan en otros liquidos. Los mármoles estatuarios por ejemplo, que el agua no penetra sensiblemente, son penetrados por el aceite y por los cuerpos crasos derretidos. Hay cuerpos que resisten muy bien al paso de los liquidos en los casos ordinarios, pero que se dejan penetrar y aun los dejan escapar por la aplicacion de una fuerte presion. Los metales, por ejemplo, estan en este caso; pues, si despues de haber llenado de agua un vaso metálico de paredes delgadas, y de haberle cerrado herméticamente, se le somete á una fuerte presion, se ve sudar el liquido por su superficie exterior; pero no todos los metales presentan este fenómeno en el mismo grado. Los hay que son mas porosos que otros, y su porosidad varia segun el modo con que han sido preparados, lo que les da diversas especies de estructura interior. El hierro fundido es una de las materias metálicas mas porosas, de suerte que no se puede usar de él para los cilindros de las prensas hidráulicas sin forrarlos interiormente con cobre.

La porosidad se prueba tambien por la mayor ó menor pesantez específica que presenta el mismo cuerpo segun su estructura interior. En efecto, los metales fundidos cuyo interior es muy cristalino, son específicamente mas ligeros que los mismos metales forjados ó pasados por la hilera. En las

sustancias naturales las variedades que tienen una estructura laminosa, fibrosa ó granugienta, ofrecen una pesantez específica menor que las que son compactas. Asi pues, para obtener un carácter constante de la pesantez específica, es menester tomar en consideracion los pequeños vacíos que las diversas variedades pueden contener (85).

Si pudiesen quedar algunas dudas sobre la porosidad de las materias mas compactas, se hallarian desvanecidas por la facultad que poseen estos cuerpos, lo mismo que todos los demas, de disminuir de volumen al pasar de cierta temperatura á otra mas baja. En efecto, es preciso que en la temperatura á que se ha considerado un cuerpo, tenga sus vacíos en el interior, para que las moléculas hayan podido acercarse mas por el enfriamiento, y aun es menester que estos vacíos sean bastante considerables, para que el cuerpo tenga la propiedad de contraerse continuamente, á medida que logremos enfriarle mas y mas.

147. *Fenómenos particulares producidos por el empapamiento de los líquidos.*—Si la porosidad es una propiedad comun á todos los cuerpos, la facultad que produce muchas veces en ellos de embeber los líquidos, determina en muchos casos mudanzas de volumen y aun algunas veces de forma, lo cual merece nuestra atencion. Todos los líquidos no producen igualmente este fenómeno; los aceites, por ejemplo, al penetrar en los cuerpos no aumentan su volumen á lo menos de un modo sensible: el agua al contrario hace dilatar todos los cuerpos, y particularmente las materias orgánicas, de modo que aumenta considerablemente su volumen. Se aprovecha esta circunstancia para pro-

ducir una multitud de efectos en los usos de la vida ó en las necesidades de las artes, y se deduce de ella la explicacion de otros muchos que es algunas veces muy importante impedir. Se sabe que los toneles que se han dejado secar se desunen, y no pueden contener ya líquidos; pero basta dejarlos algun tiempo en el agua para que las maderas se hinchen, y todas las aberturas que habia entre ellas queden cerradas. El efecto de la hinchazon que se quiere obtener aqui, es precisamente el que se quiere impedir en las puertas y ventanas que no se pueden abrir ni cerrar en tiempo húmedo. Para impedir que penetre la humedad en ellos, se las pinta con barnices ó pinturas al oleo, que tapan tanto mejor los poros cuanto mas dentro penetra la materia de que se componen.

Como el agua es susceptible de evaporarse, los cuerpos penetrados de ella se desecan y vuelven en todo ó en parte á su primera magnitud. Se aprovecha muchas veces esta circunstancia para algunos usos que no dejan de tener importancia: por ejemplo, cuando se quiere extender un pliego de papel sobre un tablero para dibujar se le moja, y despues se encolan sus orillas sobre el tablero: en este estado el papel se agranda en todas sus dimensiones; pero obligándole el desecamiento á tomar su primera magnitud, y estando retenidas sus orillas por todas partes, queda estirado por todos lados. Sucede algunas veces que se rompe ó se desencola, pero esto se verifica si se ha extendido demasiado cuando estaba mojado. Este último efecto es el que se manifiesta en los ensamblados ó chapeados que se han construido con madera verde ó húmeda, pues se desunen por las junturas

con la sequedad, y aun se rajan si las junturas son demasiado sólidas para ceder.

Los cuerpos pueden tener sus partes de tal modo dispuestas, que por el empapamiento haya prolongacion en un sentido y acortamiento en otro. Las cuerdas son un ejemplo de esto. Cuando se sumerge una cuerda en el agua, aumenta de diámetro y disminuye de longitud: estos dos efectos son consiguientes uno á otro, y son debidos á la oblicuidad de las hebras que están retorcidas en forma espiral. Al secarse recobra mucha parte de su longitud; pero jamas vuelve á su estado primitivo, porque sus partículas sufren demasiado rozamiento para poder resbalar unas sobre otras.

Las telas, que pueden considerarse como compuestas de cuerdecitas cruzadas, encojen en el agua en todos sentidos cuando son nuevas, y al mismo tiempo su tejido se hace mas tupido; pero si se mojan varias veces cesan de encojer. Las telas viejas al contrario se ensanchan en todos sentidos cuando están mojadas, como la hoja de papel; pero al secarse recobran su primera magnitud. Es facil concebir que la causa de este efecto nace de que los hilos de la tela se han destorcido por el uso continuo, y que las partes que los componen se han hecho en cierto modo paralelas.

Si durante el empapamiento no penetra igualmente el líquido todas las partes de un cuerpo, este se desfigura mas ó menos. Por ejemplo, si se moja una hoja de papel por un lado solamente, se encorba del otro al momento, porque la primera cara se halla agrandada por la accion del líquido, mientras que la segunda no ha experimentado variacion.

Si los ensamblados se desfiguran encorvándose en los parages húmedos, es porque la humedad los ensancha por el lado que la sufren, mientras que el otro queda intacto. Ordinariamente se hace pintar al oleo la superficie exterior de los ensamblados ó embutidos, mientras que la interior queda al natural; pero este medio no hace mas que apresurar su destruccion, pues si la cara exterior pudiese tambien empaparse con la humedad, el ensamblado se desfiguraria menos. Para evitar esto seria preciso pintar las dos caras, ó mejor todavía, cubrir la posterior con una buena capa de resina. En las artes se hacen muchas aplicaciones de este género de efectos: cuando se quiere encorvar una tabla, por ejemplo, se enciende fuego bajo la cara que quiere encorbarse, y se moja la cara opuesta: el fuego arrebatá la humedad de la primera cara, y la acorta mientras la humedad dilata la segunda: concurriendo estos dos efectos al mismo fin, encorvan la tabla cualquiera que sea su grueso. Si se quiere escribir alguna cosa en relieve en una tabla, se puede lograr de un modo muy sencillo: es menester desde luego escribir en hueco comprimiendo la madera con el punzon, despues se cepilla la superficie hasta hacer desaparecer los agujeros, y se sumerge en seguida la tabla en el agua: desde luego la madera se hincha, y las partes que habian sido comprimidas recobrando su primer volumen, dejan las letras en relieve.

Fuerza de la dilatacion. — Es notable la fuerza prodigiosa con que obra todo líquido para aumentar el volumen de un cuerpo. Se ha hecho algunas veces uso de esta fuerza para producir grandes esfuerzos. Por ejemplo, cuando se quiere divi-

dir un pedazo de piedra en dos, basta algunas veces el hacer con el cincel entradas estrechas y profundas, en las cuales se introducen con fuerza cuñas de madera floja secadas al fuego; se mojan en seguida las cuñas, y el aumento de su volumen basta para hacer saltar la masa. Este método se practica muchas veces en Francia para labrar las piedras de molino, y en algunos parages para sacar los pedazos de mármol ó granito de las canteras, ó dividirlos convenientemente.

Tambien se ha empleado algunas veces esta fuerza de otro modo para acortar las cuerdas y levantar el peso que sostienen. Se cuenta respecto á esto una anécdota interesante. En tiempo del Papa Sixto V se levantaba en Roma un obelisco traido de Egipto, cuyo peso considerable daba tanto cuidado á los arquitectos, que se habia mandado *bajo pena de muerte* guardar el mas profundo silencio. El concurso era innumerable, como tambien las máquinas que se habian empleado para elevar la masa, y ya se hallaba casi al nivel del pedestal; pero las cuerdas sobrecargadas con un peso tan considerable se habian alargado, y se desconfiaba poder levantarla á la altura conveniente, cuando de en medio del gentío salió una voz que dijo: *mojad las cuerdas*; se hizo asi, y el obelisco fue colocado.



CAPÍTULO III.

Impenetrabilidad.

148. Un espacio limitado de un modo cualquiera no podrá ser ocupado á la vez completamente por un cuerpo, y completamente tambien por otro. Por consiguiente, si un cuerpo ocupa un espacio, excluye necesariamente de él á cualquier otro. Esta propiedad se ha designado con el nombre de *impenetrabilidad*. Todos los cuerpos que no son susceptibles de combinarse químicamente cuando se les pone en contacto, son impenetrables unos respecto de otros.

Es inútil entrar en ningun detalle para probar que los cuerpos sólidos son impenetrables entre sí, puesto que evidentemente un cuerpo no puede ocupar el lugar que ocupa otro sin quitarle de allí; pero si se quiere probar que los cuerpos sólidos son igualmente impenetrables á los líquidos ó á los fluidos aeriformes, es preciso para formarse idea exacta de esta propiedad, distinguir cuidadosamente el volumen del cuerpo ó su magnitud aparente del espacio real que ocupa. Por ejemplo, un monton de arena presenta cierto volumen; pero esta magnitud aparente no indica el espacio real ocupado por la arena, porque se halla entre cada grano cierta extension que podria ser ocupada por otro cuerpo. Sin embargo, existen en este volumen ciertas partes que ocupan por sí solas los espacios en que están, y excluyen de ellos á cualquier otro cuerpo. Resulta de estas observaciones que la impenetrabi-

lidad debe entenderse solamente respecto de las partículas materiales que forman parte del volumen de un cuerpo, pero no respecto del volumen mismo del cuerpo: así pues, aunque un monton de arena pueda dejar penetrar en él cierta cantidad de agua no es por eso menos impenetrable, porque el volumen de agua que ha entrado en él, no excede jamás de la suma de los vacíos que se encuentran entre los diferentes granos.

Si algunos líquidos pueden introducirse en varios cuerpos sólidos, es á favor de los poros imperceptibles de que están estos acribillados. Los fluidos aeriformes se introducen en los cuerpos por el mismo medio, y la analogía induce á creer que sucederá lo mismo respecto de los fluidos incoercibles. En virtud de esta *porosidad* de los cuerpos, es como puede introducirse un clavo en la madera, cera, plomo, &c., pues la existencia de los poros permite á las partes materiales ó moléculas acercarse á sus adyacentes, cediendo al impulso que les comunica la fuerza empleada para introducir el clavo. También puede este mismo efecto nacer de la *compresibilidad*, por consecuencia de la cual un gran número de cuerpos aun muy compactos, pueden apretarse por sí mismos cuando están sometidos á una fuerte presión. En fin, esta circunstancia puede también verificarse como en el plomo y en la cera, en virtud de otra tercera propiedad que se llama *ductilidad*, por razón de la cual las moléculas de ciertos cuerpos pueden desquiciarse resbalando unas sobre otras, y dirigiéndose á la parte opuesta á aquella en que se efectua la presión.

Resulta de estas observaciones que la impenetrabi-

CAPITULO IV.

Divisibilidad de los cuerpos sólidos.

149. Ya hemos distinguido (3) la divisibilidad geométrica y la física. La primera es ilimitada; se ignora si la segunda lo es también. Todo lo que la experiencia manifiesta sobre este punto, es que existen muchos cuerpos que se pueden dividir en partículas tan ténues, que aisladamente son imperceptibles á nuestros sentidos.

Se sabe que se puede con mas ó menos facilidad dividir un cuerpo sólido en partículas sumamente finas; pero estas partículas llegan pronto á tal pequeñez, que no es posible aislarlas para someterlas á nuevas operaciones mecánicas. Sin embargo, si se las examina con el microscopio parecen aun muy grandes, y se ve claramente que si se poseyeran instrumentos bastante delicados se podría todavía continuar dividiéndolas.

Se puede dividir un cuerpo en partículas tan sumamente finas, que echándolas en un líquido y agitándole permanezcan suspendidas durante muchas horas y aun días antes de precipitarse ó depositarse en el fondo. Se emplea este medio para obtener ciertos colores en partículas sutilísimas, ó bien para obtener polvos finísimos de diversas materias que sirven para pulimentar los cuerpos.

De este modo se prepara el azul de cobalto. Se tritura el vidrio coloreado por esta sustancia, y se agita su polvo en el agua, se aguarda á que las partes mas groseras se hayan depositado, y se saca

el líquido restante por decantación: se deja en seguida reposar durante una hora, después se le traiega de nuevo para dejarle reposar otra hora, y así en seguida hasta cuatro veces. El depósito que se forma después de la cuarta hora recibe el nombre de azul de *cuatro fuegos*; los otros depósitos llevan el nombre de azul del primero, segundo y tercer fuego. Se sigue un proceder análogo para obtener los esmeriles conocidos en el comercio bajo el nombre de *esmeril de uno, de dos, de tres minutos, &c.* que sirven para preparar los cuerpos que deben pulimentarse.

150. *Ejemplos de divisibilidad.* — Para juzgar la extrema tenuidad de las partículas del azul de los cuatro fuegos, es menester notar que un solo grano de este polvo, aunque insoluble en el agua, colora sensiblemente dos kilogramas (4,34 libras españolas); pero conservando en este ejemplo, la división decimal para hacer más palpable la divisibilidad, los dos kilogramas equivalen á 2000 centímetros cúbicos (79), y cada centímetro cúbico contiene 1000 milímetros cúbicos; lo que da 2000000 milímetros cúbicos. Lo menos que puede concederse á cada milímetro cúbico es una partícula aunque sea tenuísima, de materia colorante; y en este supuesto, que ciertamente es el más aproximado á la realidad, se tendrán dos millones de partículas colorantes en un grano de color azul.

El sutilísimo hilo de plata sobredorada con que se cubren los hilos de seda que sirven para la fabricación de los galones de oro, nos presenta un ejemplo más asombroso de divisibilidad física. Para preparar estos hilos se dora un riel ó barreta de plata, cubriéndola con amalgama de oro (aleación

de oro y mercurio); calentándolo se volatiliza el mercurio, quedando el oro en la superficie de la plata. Dorada así, se pasa por la hilera hasta reducirla al espesor de un cabello, y entonces se aplanan pasándola por el cilindro. Pero un grano de oro puede dorar una barrita de plata de 350 granos. Esta barra pasada por la hilera y aplanada puede llegar á 7000 varas de largo por una línea de ancho. Como está dorada por las dos caras se pueden suponer ambas una en seguida de otra, lo que hará 14000 varas de longitud. Como el grueso debe ser de un cabello, puede dividirse el ancho en dos partes, lo que da 28000 varas, que reducidas á líneas son 412000 líneas; y como tiene cada línea 12 puntos, resultan 48144000 puntos, y suponiendo en cada punto una partícula de oro tenuísima, resultan por consiguiente 48144000 partículas de oro en el grano. Hemos despreciado las dos caras laterales del hilo que están también doradas; si se las cuenta en el cálculo se tendrán otras 14000 varas, que reducidas á puntos y suponiendo en cada punto una partícula de oro tenuísima, dan mas de 24000000 de partículas. Añadiendo esta suma á la precedente, se tienen 72.000000 millones de partículas que pueden percibirse á simple vista, número ya bastante considerable, pero que se puede aumentar prodigiosamente si se examinan estas partículas con un microscopio, lo que permitirá todavía concebirlas divididas en otras aun mas ténues. Se valúa que la película de oro que cubre estos hilos, no tiene mas que la doscientas veinte y dos milésima parte de media línea de espesor.

151. Apenas se podrá creer que existen animales infinitamente mas pequeños que las particu-

las que acabamos de citar; pero se puede convencer cualquiera de ello dejando durante algun tiempo una infusion vegetal al aire libre. Examinando despues el líquido con un microscopio, se reconocerán animales excesivamente pequeños que se mueven con suma facilidad. Segun los cálculos de Lewenhoëck, serían necesarios quinientos millones de ciertos animalitos de esta especie para ocupar el volumen de un centímetro cúbico de agua (5,1684 líneas cúbicas españolas); de suerte que se podrian tener muchos millares de ellas en la punta de una aguja. ¡Júzguese si es posible despues de esto, la extremada tenuidad de sus órganos!

CAPITULO V.

De la ductilidad.

152. Se llama ductilidad la propiedad que poseen ciertos cuerpos de tener sus partículas colocadas de tal modo que, permaneciendo adheridas entre sí, pueden por un esfuerzo mas ó menos considerable resbalar unas sobre otras, y colocarse de un modo permanente en nuevas posiciones respectivas; de esto resulta que los tales cuerpos pueden ser machacados ó extendidos por el martillo y tomar diversas formas que conservan hasta que un nuevo esfuerzo llega á desarreglar de nuevo la colocación de sus partículas, obligándolas á tomar otras posiciones.

153. *Cuerpos muy ductiles.* — Un gran número de cuerpos son bastante ductiles para poder ser extendidos, alargados, estirados y modelados entre los dedos de diferente modo, tales son las arcillas humedas, la almáciga y las grasas de diferentes especies. Esta especie de ductilidad se designa muchas veces por el nombre de *blandura*, pero esta expresión se emplea muchas veces tambien en designar propiedades muy diferentes de los cuerpos, como la facilidad de dejarse doblar, comprimir, soldar &c., que veremos despues bajo los títulos de *flexibilidad*, *compresibilidad* &c.

154. *Cuerpos poco ductiles.* — Otros cuerpos no manifiestan su ductilidad, sino cuando se les somete á una fuerza de presión mas considerable

tales son el plomo, el estaño y los diversos metales que generalmente se usan, los cuales no podrian aplastarse por una débil presion, pero se extienden fácilmente por medio del martillo (de donde viene la expresion *maleabilidad*), ó por la accion de un cilindro, y se pueden estirar en hilos mas ó menos gruesos por medio de la hilera.

Tambien en virtud de su ductilidad pueden ser alargados los metales en hilos de cierto diámetro, cuando se tira de sus extremos en sentidos opuestos; pero este alargamiento jamas es muy considerable, porque pronto se rompen por el esfuerzo.

155. *Influencia de la temperatura.* — El grado de ductilidad que presenta un cuerpo depende del grado de temperatura á que se hace el experimento. Las grasas, que son muy ductiles en la temperatura ordinaria, se hacen *quebradizas* cuando están expuestas á un considerable grado de frio. El vidrio, que no es nada ductil en la temperatura ordinaria, adquiere esta propiedad de una manera muy notable cuando se calienta hasta el rojo; pues entonces se puede extenderle y darle la forma que se quiera. La pez es muy quebradiza en invierno y muy ductil en estío. Los cuerpos resinosos adquieren tambien blandura á una temperatura que varia desde los 30.º á los 50.º segun su naturaleza: el lacre, cuya base es la *goma laca*, es un ejemplo que tenemos todos los dias á la vista.

La ductilidad de los metales varia tambien con la temperatura. El hierro se forja con mucha mas facilidad cuando se ha calentado hasta el rojo que en frio: el zinc, que es poco maleable á la temperatura ordinaria puede forjarse y reducirse á lámi-

nas é hilos con bastante facilidad á la temperatura del agua hirviendo, siendo notable que despues de trabajado conserva mucha ductilidad aun en la temperatura media. No se ha averiguado si existe para otros metales un grado de temperatura ventajoso para las diversas operaciones del martinete. Parece que el cobre al calor rojo se forja con menos facilidad que en frio. El plomo y el estaño, elevados á una temperatura muy próxima al punto de fusion, se rompen bajo el martillo al paso que se forjan fácilmente en frio.

156. *Batido de los metales.* — Hay muchos metales que forjados en frio durante algun tiempo, ó pasados por los varios agujeros sucesivos de la hilera, se hacen rígidos y quebradizos; entonces se dice que están batidos, y los operarios se ven obligados, para continuar trabajándolos, á *recocerlos*, es decir; á calentarlos ó enrojecerlos hasta cierto punto.

Esto puede depender en algunos casos de que durante las varias operaciones, las moléculas del metal se han acercado unas á otras, como se prueba por el aumento de densidad (174); pero existe otra causa que parece ser al mismo tiempo mas general y poderosa. En efecto, las operaciones del martillo, cilindro, é hilera tienen por resultado el hacer resbalar las moléculas de los cuerpos unas sobre otras: y por consiguiente mudar enteramente la disposicion que tienen naturalmente para hacerles tomar otra nueva. Así es que se nota muchas veces en los metales templados una estructura particular que no existe en los metales simplemente fundidos. Se reconoce, por ejemplo, en los metales pasados por la hilera una disposicion de

fibras alargadas, algo inclinadas y entrelazadas que pierden poco á poco su adherencia mútua, de suerte que el metal se quiebra prontamente al menor esfuerzo (176). Por consecuencia en un metal batido las moléculas se hallan en posiciones forzadas, y tanto mas, cuanto mayor cohesion tienen entre sí naturalmente, es decir; tanto mas cuanto menos ductil es el metal. De esta nueva colocacion proviene necesariamente el temple, es decir; la mayor rigidez, y por consiguiente mayor tendencia á quebrarse.

El *recocido*, es decir, la accion de un calor rojo, aumentando la ductilidad del cuerpo permite á las moléculas llevadas á un estado de tension mas ó menos fuerte, el ceder mútuamente y colocarse en una posicion media que restablece el equilibrio entre las fuerzas opuestas. Entonces se pueden principiar de nuevo las operaciones sobre el metal sin ninguna dificultad.

El plomo, el estaño y el oro puro no se templen sensiblemente por el martillo, cilindro ni hilerera, como tampoco el zinc, puesto á la temperatura del agua hirviendo, ni el hierro á la roja. Esto nace probablemente de que trabajando estos metales á estas temperaturas, sus moléculas tienen en sumo grado la facilidad de resbalar unas sobre otras, y colocarse fijamente en nuevas posiciones. Podrá existir tambien un grado de calor en que los demas metales se hallen en el mismo caso.

157. *Grados diferentes de ductilidad en los metales.* — Aunque todos los metales que usamos generalmente sean ductiles, no poseen todos esta propiedad en el mismo grado. Respecto á sus diversos grados de ductilidad en la temperatura

ordinaria, se les puede colocar en el orden que sigue, que es poco mas ó menos el que se reconoce batiendo estos cuerpos con el martillo: *plomo, estaño, oro, zinc, plata, cobre, platina y hierro.*

La facilidad de ser estirados en hilos muy finos, depende de la *ductilidad* y de la *tenacidad*. Parece que la platina ocupa en este punto el primer término, pudiéndose establecer la série siguiente: *platina, plata, hierro, cobre, oro, zinc, estaño y plomo.*

La facilidad de ser reducidos á hojas muy delgadas depende de la *ductilidad* y de la *densidad*. El oro no es mas fácil de batir que el plomo; pero por su gran densidad puede reducirse á hojas sumamente delgadas que conservan una perfecta continuidad.

Con relacion á esta propiedad, los metales parece colocarse en el orden siguiente: *oro, plata, cobre, estaño, plomo, zinc, platina y hierro.*

El oro y la plata pasados por el cilindro y batidos despues en un librito de tripa, pueden reducirse á hojas tan sumamente delgadas, que se necesiten mas de mil para llegar al grueso del papel comun. Estas hojas delgadas son las que se emplean para el dorado y plateado sobre madera, metales barnizados, papel &c. El dorado y plateado sobre metales, se hace con mayor ó menor solidez por otros medios.

Tambien se preparan hojas sumamente delgadas de cobre y estaño para los dorados y plateados falsos, que se emplean con frecuencia en una multitud de circunstancias en que se quieren economizar gastos.

58. *Inconvenientes de la ductilidad de algunos metales.* — La grande ductilidad del plomo y del estaño impide emplear estos metales en obras delicadas. El peso solo de los adornos que podrian hacerse con ellos, bastaria para desfigurarlos. Las vasijas de estaño no son jamas de estaño puro, porque no tendrian bastante consistencia; pero se emplea la aleacion de estaño y plomo, y algunas veces de bismuto, que tiene mas rigidez. Las leyes determinan en algunos paises la cantidad de plomo que se debe mezclar para no perjudicar la salud del consumidor; y para evitar los fraudes, todas las piezas son reconocidas en un contraste establecido al efecto.

Porque el oro es demasiado blando, y seria imposible hacer uso de las alhajas en que estuviese enteramente puro, los plateros mezclan siempre este metal con cierta cantidad de cobre fijada por las leyes.



CAPITULO VI.

Extensibilidad de los cuerpos no ductiles.

159. La *extensibilidad* es la propiedad que poseen ciertos cuerpos no ductiles de ser extendidos por la presión ó por la acción de dos fuerzas que tiran de sus partes en sentidos opuestos. Los cuerpos extensibles difieren de los cuerpos ductiles en que poseen al mismo tiempo una propiedad que se llama *elasticidad*, en virtud de la cual las partes vuelven mas ó menos completamente á su primera posición cuando la fuerza deja de obrar, lo cual se puede ver por ejemplo, en la goma elástica, que se deja aplastar por la presión ó se extiende considerablemente cuando se tiran sus partes en sentido opuesto, y vuelve á su primitiva forma cuando la fuerza cesa de obrar.

160. *Extensibilidad por desarreglo momentáneo de las partículas.*—Existen muchos cuerpos en los cuales su extensibilidad se verifica, porque sus moléculas pueden mudar de lugar momentáneamente por un esfuerzo mas ó menos grande. Esto es lo que se verifica en la goma elástica preparada para los instrumentos de cirugía, en la cual no se reconocen poros. Existe un gran número de cuerpos que poseen esta clase de extensibilidad; pero hay pocos en que sea muy visible: por ejemplo, el vidrio es realmente extensible como lo prueba la posibilidad de encorvarse algo antes de romperse; pero no se puede percibir en él esta propiedad tirando sus partes en sentido opuesto, y

lo mismo sucede en la mayor parte de los cuerpos que no son bastante porosos.

161. *Extension por mudanza en la figura de los poros.* — La mayor parte de los cuerpos extensibles deben esta propiedad á la porosidad. Cuando se emplea una fuerza comprimente, los poros se aplastan siendo el resultado extenderse mas ó menos. Cuando se tiran las extremidades del tal cuerpo en sentido opuesto, los poros se alargan disminuyendo trasversalmente de diámetro. La goma elástica reciente (*), es decir, que no ha pasado al estado de sequedad y de solidez en que la vemos ordinariamente, es sumamente porosa. En este caso es mucho mas extensible, pero se rompe con mucha facilidad.

Las pieles de los animales sean frescas ó sean preparadas son sumamente porosas: su tejido presenta una especie de red, cuyas mallas pueden alargarse en un sentido ó en otro hasta que los filetes lleguen á ser paralelos; las telas de diferentes géneros, las cuerdas, &c., son extensibles por la misma razon.

Si el corcho, la médula del sauco, y otros cuerpos sumamente porosos no presentan una extensibilidad bien palpable cuando se estiran en sentidos opuestos, es porque las celdillas que las componen tienen poca adherencia entre sí, por lo cual se rompen muy fácilmente al menor esfuerzo que se hace sobre ellos.

(*) La goma elástica ó *caout-choux* es el jugo espesado de diversas plantas lechosas. Se le saca particularmente de la *Hevé* de la Guayana que pertenece á la familia de las Euforbias, y de la *Urceola elástica* que pertenece á la de las Apocíneas. Otras plantas que pertenecen á una division de las Urticeas le producen tambien de mediana calidad.

CAPÍTULO VII.

Flexibilidad.

162. La *flexibilidad* es la propiedad que poseen los cuerpos de dejarse encorbar hasta cierto punto antes de romperse.

Se ve muy claramente lo que pasa en esta operación cuando se emplea un cuerpo ductil; por ejemplo, cuando se encorva una varilla de hierro ó estaño, se vé que las moléculas situadas en la parte cóncava de la curvatura resbalan unas sobre otras, y que la varilla se alarga y estrecha en esta parte. Al mismo tiempo se nota que las moléculas situadas en la parte cóncava se agrupan unas sobre otras, y la varilla aumenta de espesor. Es probable que exista semejante desarreglo de las partículas, constante ó momentáneo, en todos los cuerpos no porosos que se dejan encorvar mas ó menos. En cuanto á los porosos es claro que los poros son los que mudan de figura.

163. Los cuerpos ductiles se dejan encorvar fácilmente, y conservan sensiblemente la forma que han recibido: se les puede dar un ángulo de curvatura sumamente agudo, á no ser que su grueso sea demasiado considerable: se puede decir en general que en los metales el orden de flexibilidad es absolutamente el mismo que el de ductilidad. Hay tambien sustancias que sin ser ductiles son susceptibles de encorvarse bajo ángulos sumamente agudos, y aun de conservar la forma que han recibido; pero cuando esto no nace de la tenuidad

á que están reducidos, resulta de una especie de rasgadura de la materia en virtud de la cual se desarregla la colocacion de las partículas.

164. Los cuerpos mas eminentemente flexibles se hallan entre los despojos de los cuerpos orgánicos, y entre los diversos tejidos de que se componen. Se conoce la suma flexibilidad de la seda, la de los pelos de diferentes animales, la de las pieles elaboradas de diversos modos: tambien se conoce la gran flexibilidad del lino, cáñamo y algodón, y la de las telas que se elaboran con ellos.

165. Hay cuerpos que son al mismo tiempo muy flexibles y muy elásticos, es decir, que vuelven repentinamente á su forma primitiva cuando la fuerza cesa de obrar. Tal es por ejemplo la goma elástica; pero la mayor parte de los cuerpos elásticos no pueden encorvarse sino en ángulos muy obtusos, y es menester muchas veces para lograr su curvatura que los cuerpos tengan una longitud considerable respecto á su diámetro trasversal. Por ejemplo, no se ve ninguna señal de flexibilidad en una varita de vidrio de dos á tres pulgadas de longitud, y de dos ó tres líneas de diámetro; pero si se toma una varilla del mismo grueso, y de catorce ó quince pulgadas de longitud, se percibirá la curvatura de un modo muy sensible. El vidrio reducido á hilos delgaditos presenta cierta flexibilidad como se veía en los lindos penachos que gastaban hace algunos años las damas francesas, equivalentes á los tembleques, y cuyas diferentes hebras situadas oblicuamente se encorvaban con mucha elegancia por su propio peso.

166. *Influencia de la colocacion de las partículas de un cuerpo sobre la flexibilidad.*— El mo-

do con que están colocadas las partículas de los cuerpos entre sí, hace variar considerablemente el grado de flexibilidad. En general una sustancia no ductil parece tener mas flexibilidad cuando es compacta que cuando está compuesta de láminas aplicadas unas sobre otras ó entremezcladas y muy unidas entre sí. Las sustancias fibrosas son mas flexibles en el sentido longitudinal de los hilos que en el sentido trasversal.

Las sustancias hojosas, cuyas láminas componentes son muy delgadas y conservan poca adherencia entre sí, tienen mucha flexibilidad: esto es lo que se nota por ejemplo en la *mica laminosa* ó *vidrio de Moscovia*, que se emplea comunmente en los navíos en vez de vidrio.

Algunos cuerpos granujientos ó compuestos de laminitas entremezcladas que tienen poca adherencia entre sí, poseen tambien cierto grado de flexibilidad bastante notable, como se ve en algunas variedades de areniscas y mármoles. Se puede desarrollar esta propiedad en las sustancias granosas y laminosas que no las poseen, calentándolas durante algun tiempo entre la arena: parece que en esta operacion el calor hace romper la adherencia que los granos ó láminas tenian entre sí naturalmente.

167. *Influencia del grueso del cuerpo sobre la flexibilidad.* — El ángulo de curvatura que se puede hacer tomar á un cuerpo, depende especialmente de su grueso. Por ejemplo, un alambre fino puede ser contorneado de todos modos posibles, y encorvado de tal modo que sus dos partes se hagan paralelas y se toquen (*fig. 48*). Pero no sucede lo mismo con una barra de hierro, á la cual no se podria hacer tomar la forma de la *fig. 48* sin

que se rompiese en el punto de la curvatura como se ve en la *fig. 49*.

Es fácil explicar este efecto, pues el punto *a* situado en la parte cóncava (*fig. 50*), puede considerarse como un centro, al rededor del cual giran todas las moléculas situadas de *a* á *b*. Según esto á medida que la barra se encorva, las moléculas situadas en *b* en la extremidad del radio *ab* sufren un esfuerzo considerable. Si el cuerpo es dúctil resbalan unas sobre otras; pero si no lo es necesariamente se separan. Se ve pues como puede verificarse la rotura, y se ve al mismo tiempo que las moléculas situadas entre *a* y *b*, v. gr. en *c*, no tienen que sufrir un esfuerzo tan considerable durante la operacion de la curvatura, como las que están situadas en el extremo del radio mayor como en *b*; esto manifiesta por qué un alambre delgado se encorva mas fácilmente sin romperse que una barra gruesa.

Si antes de encorvar la barra metálica (*fig. 51*) se ha hecho en *a* una hendidura, se la doblará por el lado *a* con mas facilidad, y se correrá menos riesgo en romperla; porque el centro del movimiento está mas cerca de la superficie opuesta, y las moléculas situadas en *b* se hallan en el extremo de un radio mas pequeño, y por consiguiente sufren un esfuerzo menos considerable. Véase por esto cuan ventajosa es la práctica de los obreros de hacer una muesca en el lado cóncavo en la barras metálicas que quieren encorvar.

Si en vez de encorvar la barra metálica rebajada en *a* por el lado *a*, se la encorva por el lado *b*, la hendidura facilitará al contrario la desunion de las moléculas.

Se nota tambien la influencia del espesor en las sustancias mas flexibles; por ejemplo, se sabe que una hoja de papel puede doblarse bajo un ángulo sumamente agudo sin estropearse por ello, mientras que no se puede doblar del mismo modo una hoja de carton sin romperle. En este cuerpo, que es sumamente poroso, las mallas de su tejido se alargan en la parte convexa de la curvatura hasta que las fibras que las forman son paralelas y se tocan; si continúa el esfuerzo las fibras se rasgan. Se puede notar tambien que las telas gruesas y muy tupidas, como lo son algunas telas antiguas de seda, se rompen, ó, como dicen comunmente, se abren fácilmente por los parages en que están dobladas.

Un hilo de lino ó de cáñamo puede doblarse ó contornearse de todos modos sin perder su solidez; pero no sucede lo mismo con un cable, que muchas veces se hace inservible si se le encorva en un ángulo demasiado agudo, y con tanta mas facilidad cuanto mejor torcido está. Las cuerdas embreadas resisten aun menos que las comunes. Se habia propuesto hace algun tiempo fabricar cordelería plana ó unas especies de trenzas que no tendrian el defecto de romperse tan fácilmente, y que resistirian tambien fuertemente á la carga dándoles una anchura conveniente; pero no se ha llevado á efecto este proyecto.

168. Si los cuerpos, aun los mas flexibles, se rompen ó rasgan cuando son demasiado gruesos, se ve recíprocamente á los cuerpos mas rígidos adquirir flexibilidad cuando están reducidos á filamentos muy finos. Se tienen muchos ejemplos de esto en las materias minerales naturales; algunas de ellas toman á veces la forma de filamentos muy

finos, haciéndose tan flexibles como la estopa de seda hasta tal punto, que muchos pueden ser hilados y tejidos de diferentes modos. Entre estas sustancias se cuentan las que se designan con los nombres colectivos de *amiantos* ó *asbestos*, aunque se refieren á especies muy diferentes entre sí.



CAPÍTULO VIII.

Compresibilidad.

169. Se llama *compresibilidad* la propiedad que tienen ciertos cuerpos de poder disminuir de volumen por la acción de una causa exterior, como la presión, la percusión &c. Se llama mas particularmente *condensacion* la facultad que poseen los cuerpos de poder disminuir de volumen pasando de una temperatura á otra mas baja. En ambos casos es menester concebir que las moléculas se aproximan unas á otras.

170. *Evidencia de la compresibilidad en ciertas sustancias porosas.*—En las sustancias cuya porosidad se manifiesta inmediatamente á la vista, como la madera, el corcho, las pieles, &c. la compresibilidad es sumamente sensible. Asi es que, apretando entre los dedos un pedazo de corcho ó de medula de sauco, se sigue por decirlo asi con la vista la aproximacion de las partículas. Apretando un pedazo de madera con los dientes se dejan señales que la indican igualmente. En estos diferentes cuerpos los poros se aplastan, y las paredes de sus celdillas se acortan.

171. *Cuerpos porosos no compresibles.*—Hay cuerpos sumamente porosos en los cuales no se manifiesta la compresibilidad, porque siendo estos cuerpos poco flexibles, no pueden desfigurarse las paredes de sus poros sin romperse. Tal es por ejemplo el caso de la *piedra pomez*.

172. *Como puede comprobarse la compresibi-*

lidad de los cuerpos ductiles.—Se sabe que apoyando fuertemente la uña ó una lámina de acero sobre una sustancia ductil como la cera, el plomo y varios metales, se producen en la superficie hendiduras mas ó menos considerables; pero no seria exacto concluir de esto, como comunmente se hace, que estos cuerpos son compresibles, pues en virtud de la ductilidad pueden solamente haber mudado de colocacion las particulas resbalando unas sobre otras, sin haber experimentado ninguna aproximacion entre sí.

Para probar que los cuerpos ductiles son compresibles es menester encerrarlos por todas partes, de modo que no tengan nada de libre mas que el punto sobre que se ejerce la presion. Haciendo el experimento (*) de este modo se reconoce que los cuerpos sólidos ductiles que no presentan poros aparentes son dificilmente compresibles. Por no haber hecho el experimento de un modo conveniente, se ha repetido á menudo en las obras de Física que *la compresion es evidente en todos los cuerpos sólidos.* Al contrario, es un hecho que solo son compresibles los cuerpos sumamente porosos y flexibles, y que en todos los demas la resistencia á la compresion es enorme; y cuando se logra comprimirlos es en una cantidad casi inapreciable respecto de su volumen, tanto que solo puede averiguarse por el aumento de peso específico.

173. *Caso en que son compresibles los metales.*—Los metales simplemente fundidos son muchas veces sumamente porosos, tanto por las am-

(*) Es muy dificil hacer estos experimentos, pues la mas minima raja basta para que el cuerpo se escape en láminas delgadas ó en filamentos finos.

pollitas que se forman en ellos, como por la cristalización que se verifica en su masa. Entonces estos cuerpos ceden de un modo mas ó menos sensible á la acción de una fuerza comprimente: al contrario, los cuerpos ductiles que al pasar del estado líquido al sólido quedan en masa homogénea como las grasas, el plomo, &c. no ceden á la compresion de un modo sensible. El plomo forjado ó hecho láminas por el cilindro, no tiene mucha mas densidad que el plomo fundido; pero todos los demas metales despues de haber sido forjados ó puestos en láminas ó pasados por la hilera, son mas densos que antes de esta operacion. (*) Los que presentan mas diferencia en este punto son el hierro y el cobre: tambien son estos los que simplemente fundidos ó colados presentan mas vacíos interiores. Los metales que en sus quebraduras presentan pequeñas láminas entremezcladas adquieren densidad por el forjado: es evidente en efecto que estas laminitas deben producir muchos espacios pequeños vacíos en el interior de los cuerpos.

174. *Casos en que los cuerpos pierden algo de su densidad por el forjado.* — Tambien algunas veces los metales pierden de su densidad cuando han sido forjados por mucho tiempo, porque entonces se forman fibras que estan en algun modo aisladas unas de otras. Asi se lee en algunos autores antiguos que los metales pierden sensiblemente parte de su densidad cuando están forjados.

(*) En muchos experimentos en que hemos batido fuertemente el estaño, no hemos hallado diferencia en su pesantez específica. Sin embargo, Brisson ha hallado una sumamente pequeña que hemos indicado en la tabla de gravedades específicas.

175. *Cuerpos incompresibles en apariencia.*— Hay una multitud de cuerpos que jamas dan señal sensible de compresion. Tales son por ejemplo el vidrio, el mármol, &c. que se rompen por un choque algo violento. Sin embargo, se acostumbra decir que estos cuerpos son compresibles, y se da para ello la prueba siguiente:

Experimento por el cual se cree probar su compresibilidad.— Si se toma una placa de mármol, y despues de haberla cubierto con una ligera capa de grasa ó echado solamente el aliento en su superficie, se deja caer sobre ella una bola de la misma materia, se verá en el parage del choque una mancha circular de un diámetro bastante sensible, y tanto mayor quanto de mas alto haya caido la bola; pero una esfera no puede tocar á un plano sino en un punto solo; luego, puesto que la mancha tiene cierto diámetro, es menester admitir que el mármol ha sido comprimido, y vuelto en seguida á su primer volumen en virtud de su elasticidad.

Se hacen experimentos análogos con el vidrio y con todos los demas cuerpos muy resistentes, y se obtienen los mismos resultados con alguna corta diferencia en el diámetro de la mancha circular segun la naturaleza del cuerpo que se examina.

Pero la consecuencia que se saca de estos experimentos, á saber, *que los cuerpos con que se han hecho son compresibles*, ¿es bien exacta? Esto es lo que no sabemos: lo que hay de cierto es que se puede explicar este efecto por un desarreglo momentáneo de las particulas, tanto del cuerpo chocante como del chocado, como lo veremos en el capítulo siguiente. Las partes desalojadas volvien-

do á tomar instantáneamente sus posiciones naturales respectivas, producen la elasticidad.

Es posible tambien que el aire arrojado con violencia al rededor del punto de contacto en el instante del choque, tenga una grande influencia sobre la produccion de la mancha. En efecto se puede observar sirviéndose de una losa de mármol blanco cubierta con una ligera capa de grasa coloreada, que la materia crasa despues del choque de la bola, se halla dispuesta al rededor de la mancha en rádios divergentes. Muchas veces el centro mismo de esta mancha está cubierto de grasa, no verificándose el desalojamiento de la materia si no todo al rededor. Este último fenómeno no se manifiesta jamas cuando se hace el experimento en el vacío y la mancha circular que se produce sobre el cuerpo plano, es mucho menos ancha que en el caso en que se hace el experimento al aire: sin duda es porque no hay mas que un solo efecto á que atender que es el del desarreglo momentáneo de las partículas.

Se podria tambien creer que la facultad que posee una lámina de vidrio, de acero, &c. de dejarse encorvar hasta cierto punto, es al mismo tiempo una prueba de la compresibilidad y de la dilatibilidad de los cuerpos. En efecto, será fácilmente concebible que hay siempre compresion en la parte cóncava de la curvatura y dilatacion en la parte convexa; pero tambien se puede hacer otra hipótesis, y concebir este efecto por un simple desarreglo de las partículas, lo que nos parece mas probable.

176. *Razones para admitir la compresibilidad.* — La única razon positiva que hay para ad-

mitir la compresibilidad de gran número de cuerpos sólidos demasiado frágiles para resistir á una gran presión es la porosidad: los mármoles, por ejemplo, cuya compresibilidad no se puede comprobar, deben tener evidentemente esta propiedad, puesto que tienen en el interior bastantes vacíos para presentar un peso específico menor que el carbonato de cal cristalizado.

CAPÍTULO IX.

Elasticidad.

177. Se llama *elasticidad* la propiedad que poseen ciertos cuerpos de conservar de un modo permanente un volumen ó una forma determinada, y volver á ella cuando la han mudado por una causa cualquiera.

178. *Hipótesis sobre la causa de la elasticidad de los cuerpos porosos.*—Un gran número de cuerpos sólidos, porosos, susceptibles de ser comprimidos, poseen la propiedad de volver á su primer volumen cuando la fuerza comprimente cesa de obrar. Esto se ve en el corcho, goma elástica, madera, &c. Parece que esta circunstancia se verifica en virtud de la tendencia que poseen las paredes de cada celdilla ó poro de conservarse de un modo permanente en una forma determinada, volviendo á recobrarla al momento que cesa la acción de la fuerza que los obligaba á separarse de ella. Así es que una porción de cerda v. gr. una almohada es susceptible de comprimirse de un modo notable, y vuelve á tomar su volumen primitivo, porque cada una de las cerdas que la componen procura volver á tomar su forma natural.

179. *Aplicación de la misma hipótesis á los cuerpos no porosos.*—Para explicar la elasticidad que se manifiesta en una lámina de acero, de vidrio, &c. que se ha encorvado y vuelve á su primitiva forma cuando se la abandona á sí misma, se supone,

que cuando la lámina se encorva, las partículas de la parte convexa de la curvatura se separan unas de otras, y las de la parte cóncava se aproximan permaneciendo así durante la curvatura. Unas y otras tienden á recobrar sus mútuas distancias naturales y como ambos efectos concurren al mismo fin, solicitan al cuerpo á recobrar su primitiva forma.

180. *Caso en que ésta hipótesis falla. Nueva hipótesis.* — Esta hipótesis explica bastante bien la elasticidad de una lámina de materia no ductil, y nos parece muy fundada respecto á los cuerpos porosos, como la madera, corcho &c.; pero el experimento siguiente no puede ser explicado del mismo modo.

Quando se toma una placa delgada de plomo y se procura encorvarla empleando una presión muy ligera, se la siente resistir con cierta fuerza, y se la vé volver hácia su primitiva forma oscilando con velocidad. Si se emplea una fuerza mayor se la encorva realmente, pero no conserva toda la curvatura que se la habia dado. Ahora bien, el plomo no es comprimido por el forjado, ¿cómo podrá pues, suponerse que en virtud de la corta fuerza que se ha empleado, las moléculas del arco cóncavo se hayan acercado mútuamente, y las del convexo apartado? Parece que es menester recurrir á otra hipótesis, y que se puede raciocinar del modo siguiente: El efecto de la aplicacion de una fuerza sobre un cuerpo ductil, es el de procurar que resbalen las moléculas unas sobre otras, y por consiguiente mudar la colocacion que éstas moléculas tienen entre sí, para hacerlas tomar otra diferente; pero en esta presión hay moléculas que son desa-

lojadas completamente, resbalando unas sobre otras, y se colocan de un modo estable en nuevas posiciones; estas moléculas son las que se encuentran expuestas mas directamente á la accion de la fuerza. Otras moléculas hallándose distantes del centro de accion, no reciben sino una impresion pequeña y se separan un poco de su posición natural, sin poder con todo colocarse fijamente en nuevas posiciones. Estas moléculas no hacen mas que oscilar en cierto modo al rededor de sus antiguos puntos de adherencia, procurando siempre volver á ellos. De aquí puede resultar la fuerza elástica que el cuerpo despliega. Asi es que, cuando no se emplea sino una corta fuerza sobre una plancha de plomo, no se produce sino un pequeño desarreglo momentáneo en las moléculas, que toman su posición natural al momento que la fuerza cesa de obrar. Si el esfuerzo que se despliega es mas considerable, una parte de las moléculas se hallan completamente desalojadas de sus posiciones y la lámina se encorva; pero otras no son desalojadas sino momentáneamente, y éstas son las que, recobrando su posición natural hacen que procure dirigirse en parte el cuerpo hácia su forma primitiva.

Aplicacion á todos los cuerpos. — Esta hipótesis parece ser aplicable á todos los cuerpos; pues adoptada para los metales sumamente ductiles, puede admitirse igualmente para aquellos que lo son algo menos, porque no se sabe á qué grado limitarla. Se concibe fácilmente de este modo como los metales menos ductiles son los mas elásticos, pues cuanto menos ductiles sean, mas es menester aumentar el esfuerzo necesario para el desarreglo total de las partículas; por consiguiente bajo un es-

fuerzo determinado, hay mas partículas que no sufren sino un desarreglo momentáneo, y tienden á recobrar su posicion natural. Pero partiendo de esto, nada hay mas fácil que concebir la propiedad elástica de todos los cuerpos, sin recurrir á la compresibilidad, que en la mayor parte de ellos es muy difícil poder manifestar. En efecto, los cuerpos no ductiles no difieren de los que lo son poco mas ó menos, sino en que cualquiera que sea el esfuerzo que se haga sobre ellos, jamás hay partículas que estén enteramente desarregladas; toda la fuerza está empleada en mudar momentáneamente la posicion de estas partículas, que desde luego tienden todas á recobrar la posicion natural. Se concibe por este medio en qué consiste la mayor ó menor elasticidad de los cuerpos, y se vé que disminuyendo la ductilidad en los que la poseen, se puede llegar á aumentar la elasticidad. Por esto los metales templados tienen mayor elasticidad que los que no lo están, y sin duda esta nueva propiedad procede del nuevo arreglo que las moléculas han tomado durante el temple. Es probable que en los cuerpos no ductiles los diferentes grados de elasticidad procedan del modo con que están colocadas naturalmente las moléculas en estos cuerpos. Esto es lo que manifiesta el acero templado, cuyo grano es siempre diferente del acero recocado.

181. *Elasticidad que se manifiesta por el choque de los cuerpos.* — Haremos absolutamente los mismos raciocinios para la elasticidad que se manifiesta por el choque de los cuerpos. Cuando se deja caer una bola de materia elástica sobre un plano de mármol, esta bola vemos que salta, porque las partes comprimidas por el choque

recobran su posicion con tal fuerza, que comunican al cuerpo móvil un impulso hácia atras. Este ratiocinio es aplicable sin dificultad á todo cuerpo poroso compresible, como el corcho, y la cerda que han podido mudar de volumen en el instante del choque, porque las partes que componen su masa, han mudado de forma (178). Pero si se toma una bolita de cera ó una de plomo, del tamaño de un perdigon, se la vé también saltar quando se la deja caer sobre un plano de mármol; ahora bien, nó pudiendo admitirse que en estos cuerpos haya habido compresion, es preciso suponer que el efecto del choque, ha sido el de solicitar las partículas á moverse un poco para resbalar unas sobre otras, y que no habiendo sido bastante considerable este esfuerzo para hacerlas mudar de sitio completamente, han vuelto á su posicion natural, desplegando una fuerza que hace saltar el cuerpo.

Una bola de plomo algo pesada, no es rechazada, porque el choque de esta masa es bastante fuerte para producir un desarreglo efectivo. Sin embargo, hay cierto número de partículas que no son sino momentáneamente desalojadas, y que volviendo á su posicion natural, harian desarrollar cierta fuerza, y procurarian hacer saltar el cuerpo; pero no se verifica el salto, porque la masa es demasiado pesada.

Una bola de cobrè ó de hierro, salta con mucha fuerza quando se la deja caer sobre un plano de mármol, y esto debe ser así, porque estos cuerpos siendo menos ductiles que el plomo, tienen un gran número de partículas que no son desalojadas sino momentáneamente y producen un es-

fuerzo muy considerable al volver á su posición natural.

Del mismo modo se puede explicar sin necesidad de suponer compresion, el considerable grado de elasticidad que manifiesta una bola de acero templado, de mármol, de porcelana, de ágata &c.

182. *Raciocinio inexacto á que conduce la hipótesis de la compresion.* — Resulta de todo lo que hemos dicho que la elasticidad no anuncia siempre de un modo evidente la existencia de la compresion, y que por consiguiente el raciocinio que se hace muchas veces de que *tal cuerpo es elástico, luego es compresible*, es absolutamente inexacto, pues que seria preciso principiar por probar que el cuerpo que manifiesta elasticidad, ha sido realmente comprimido. Daremos una nueva prueba de la inexactitud de este raciocinio, al hablar de la elasticidad de los líquidos. (Lib. 3.º cap. 5.º).

183. *Influencia de la forma de los cuerpos en la elasticidad.* — La forma de un cuerpo influye bastante, en ciertas circunstancias, sobre el grado de elasticidad. Por ejemplo, un anillo de una sustancia cualquiera, que se arroja de repente sobre un plano de mármol, salta con mas violencia que un disco del mismo peso. Una esfera hueca salta mas que otra maciza.

El choque determina al anillo (*fig. 52*) á alargarse en el sentido horizontal, de suerte que se verifica en todos los puntos de este anillo trastorno de partículas, y la vuelta de todas estas partículas á su primera posición, conduce con fuerza al cuerpo á su forma primitiva. Del mismo modo la esfera en el instante del choque se con-

vierte en elipsoide, y procura recobrar con fuerza su forma natural, en virtud de todas las pequeñas oscilaciones que se manifiestan en todos sus puntos.

En un disco del mismo peso que el anillo no hay desarreglo de las partículas sino al rededor del punto chocado, y lo mismo sucede con la esfera maciza.

184. *Oscilaciones que se manifiestan en el regreso de un cuerpo elástico á su forma natural.* — En los cuerpos elásticos, el regreso de las partes desalojadas á su posicion natural, no se hace repentinamente, antes bien se verifica por una serie de oscilaciones, por medio de las cuales estas partículas se trasladan sucesivamente á un lado y á otro de su posicion natural. La velocidad de estas oscilaciones va siempre decreciendo hasta que se reduce á cero y restablece la posicion primitiva; esto se puede ver fácilmente en los brazos de unas tenacillas que se han aproximado uno á otro, y se les deja obrar despues libremente.

Un anillo desfigurado por el choque, se alarga en el sentido horizontal; despues en el vertical, y luego de nuevo en el horizontal, y asi sucesivamente. Esto se vé evidentemente en un anillo de acero de un diámetro considerable, que se tiene fijamente por un punto mientras se apoya sobre él con mas ó menos fuerza por el punto opuesto por un rato, y despues se le deja libre de pronto. Una campana de vidrio sobre la que se dé un ligero golpe, produce el mismo efecto. Existen probablemente oscilaciones análogas en una bola hueca desfigurada por el choque, y quizá tambien en una bola maciza.

185. *Grados de elasticidad de los cuerpos.* — Todos los cuerpos son elásticos; pero no lo son todos en el mismo grado. Se llaman *cuerpos perfectamente elásticos* aquellos que, después de haber sido desfigurados, vuelven perfectamente á su forma natural, teniendo siempre cuidado de tomar en consideracion el tiempo de esta vuelta. Hay sustancias en las cuales estas mudanzas se hacen en un tiempo inapreciable; tales son el acero templado, el cobre, el mármol, &c. De aqui en adelante, designaremos la elasticidad que poseen estos cuerpos con el nombre de *elasticidad de primera especie*.

En otros cuerpos las mudanzas no se hacen sino en un tiempo mas ó menos largo, como se verifica por ejemplo en la goma elástica. Tambien se pueden colocar en esta clase todos los muelles que se usan, los cuales emplean todos un tiempo valuable para desfigurarse y volver á su forma natural. Designaremos la elasticidad de estos cuerpos con el nombre de *elasticidad de segunda especie*.

186. *Variaciones de la elasticidad con respecto á la temperatura.* — El grado de elasticidad que manifiestan ciertos cuerpos sólidos, depende bastante del grado de temperatura á que se hace el experimento. Por ejemplo, los metales calentados hasta el rojo, no manifiestan elasticidad; la cera, las grasas &c., que en la temperatura ordinaria no manifiestan elasticidad sensible, porque son muy ductiles, adquieren esta propiedad á algunos grados bajo cero.

187. *Elasticidad por tension.* — Los cuerpos mas eminentemente flexibles, como las cuerdas, las pieles &c., que por esta razon no manifiestan

elasticidad, la adquieren de un modo muy sensible cuando están tirantes. Esto se verifica en las cuerdas de los instrumentos músicos, en los parches de los tambores &c; pero todo el mundo sabe que la humedad disminuye la elasticidad que éstas materias han adquirido por este medio.

188. *Elasticidad de los muelles y resortes.*— La fuerza que desplegan los muelles y resortes que usamos, proviene de la elasticidad. Se sabe que los muelles se emplean en las artes bajo un sinnúmero de figuras diversas, y en una multitud de usos diferentes: unas veces son cuerdas ó fajas de cuero, aplicadas sólidamente en sus extremos, y tirantes; otras láminas de hierro, acero ó cobre, rectas ó contorneadas, de diferentes modos, ó hilos metálicos puestos en espiral; el marfil y la madera, se emplean tambien algunas veces; y el vidrio en algunas circunstancias podria asimismo emplearse. Las almohadas de que nos servimos, deben tambien su utilísima elasticidad á la lana, cerda, pelo ó pluma, con que se llenan.

Alteracion de los resortes.— La experiencia ha demostrado que los resortes de diferentes géneros, pierden su elasticidad por un largo egercicio, porque á fuerza de servir ó de estar mucho tiempo tirantes, pierden poco á poco su forma, y toman otra que se aproxima á la que tienen en el estado de tension. Las resortes de acero templado están menos sujetos á este inconveniente que los de hierro ó cobre; siendo muy probable que los de vidrio se hallen en el mismo caso.

Alteracion de la elasticidad de las almohadas. Medios de remediarla.— Aqui la alteracion proviene de otra causa. En efecto, cada porcion de

pelote, de pluma, de lana &c., que se emplea en las almohadas ó colchones, no pierde ninguna de sus cualidades elásticas; pero sucede que por el largo uso estas materias se empegotan, reuniéndose en masas apretadas, cuyas partes se impiden mutuamente desplegar toda su elasticidad. Es fácil volverles esta elasticidad, cardándolas ó sacudiéndolas con varillas para despegarlas; operacion que vemos se hace repetidas veces con los colchones y almohadas.

189. *Efectos de la desigualdad de elasticidad en las diferentes partes de un cuerpo.*—Es evidente que si en un cuerpo se hallan partes que esten dotadas de una elasticidad mayor que otras, ejercerán sobre éstas una cierta fuerza que en algunas circunstancias podria producir la rotura. Esto sucede en la *lágrima batávica*, que suena estrepitosamente, y se reduce á polvo en el momento en que se rompe la punta ó se ha adelgazado suficientemente su superficie en un punto cualquiera. La explicacion de lo que sucede en este caso, nos conducirá á la de algunos otros fenómenos que tienen con este mucha analogía.

La *lágrima batávica*, se forma dejando caer en agua gotas de vidrio fundido; pero advertiremos que por una parte el vidrio en el estado de blandura ocupa mayor espacio que cuando está solidificado (*lib. 5.*), y por otra que en el momento de la inmersión en el agua, la capa exterior de la gota de vidrio se solidifica, modelándose en algun modo sobre la parte interior que está todavía blanda, y por consiguiente dilatada. Resulta que la superficie de la *lágrima*, es mayor que si el enfriamiento hubiese sido gradual. Esto supuesto, cuando la

parte interior se enfria, procura disminuir de volumen; pero como se halla detenida por la atraccion de la parte exterior, ya solidificada, que determina el espacio que debe llenar, resulta que las moléculas interiores no pueden acercarse mutuamente tanto como lo hubieran hecho, si hubiesen sido abandonadas á sí mismas en un enfriamiento lento; se ven pues, en un estado de colocacion forzada, y en cierta tension que no espera mas que el momento de manifestarse. Esta tension se despliega en efecto al momento que se rompe, ó adelgaza suficientemente la pelicula exterior, y aun á veces se verifica por sí misma la rotura.

Partiendo de este principio, se pueden concebir algunas ideas sobre una circunstancia que se observa en las casas de moneda. Sucede muchas veces que los cuños, que son de acero templado, se rompen por sí mismos en los armarios donde están guardados. Este efecto parece ser el mismo que el de la lágrima batávica, pues en la templadura del acero, hallándose la capa exterior sobrecogida por el frio, mientras la interior está todavía dilatada, conserva como la película de la lágrima batávica, un volumen mayor que si se enfriase gradualmente. Por esto mismo se opone á la contraccion de la parte interior, cuyas moléculas se encuentran por consiguiente todavía en un estado de tension, que no espera sino el momento de manifestarse. Cuando la tension es demasiado fuerte, es de esperar que se verifique la rotura de estos cuños. Es de notar en apoyo de esta aplicacion, que en estos cuños lo mismo que en cualesquiera otros instrumentos hechos con acero que se haya sometido á la operacion del

temple, solo está templada la parte exterior.

Se presentan en los usos comunes de la vida otros muchos efectos que parecen tener gran analogía con estos. Por ejemplo, se observan muchas veces en las vasijas de vidrio y las garrafas de que nos servimos ordinariamente, pequeñas hendiduras horizontales muy multiplicadas, que se hallan en la superficie de la parte cóncava. Estas grietas nos parecen provenir de que en el momento de la fabricacion, la superficie exterior convexa se ha enfriado y consolidado, mientras que la superficie interior conservaba todavía cierto grado de blandura. Cuando llegó á enfriarse se encontró detenida por la capa exterior, y obligada por ella á ocupar un espacio mayor que el que hubiera debido tomar naturalmente, resultando en esta parte, cierto esfuerzo que por su accion puede producir todas las grietas observadas.

Puede suceder que las roturas no se hagan precisamente en el momento de la fabricacion; de suerte que se pueden comprar botellas, garrafas &c., y aun servirse de ellas bastante tiempo, y romperse en seguida al mas mínimo choque, y aun algunas veces sin tocarlas de ningún modo. Nosotros lo hemos visto algunas veces en casos en que ciertamente el accidente no podia atribuirse á ninguna otra causa.

CAPITULO X.

Dureza.

190. *Equivoco de esta expresion en el lenguaje comun.* — Se designa muchas veces por la expresion *dureza*, propiedades muy diferentes de los cuerpos. Asi pues, se dice que un cuerpo es *duro*, ya porque resiste con cierta fuerza á la *accion de un choque*, por el cual se quiere dividirlo, ó ya por la oposicion á *blando ó flexible*, porque no cede cuando se la aprieta entre los dedos, ó ya en fin, porque no puede penetrar en él la uña ó un instrumento cortante. En general se dice que un cuerpo es *duro*, siempre que presenta una resistencia bastante notable á un esfuerzo cualquiera; pero estas diversas especies de resistencia, no estan en razon directa unas de otras. Asi pues, un cuerpo que resiste á ser dividido por un instrumento cortante, no resiste al choque: tal es el vidrio que no podria cortarse con un cuchillo, y se rompe con la mayor facilidad. De aqui resulta que es necesario para decir que un cuerpo es *duro* el enunciar de qué modo se experimenta su *dureza*, sin lo cual se podria caer en graves errores de los que solo citaremos un ejemplo.

Todo el mundo sabe, á lo menos de oidas, que el diamante es un cuerpo muy duro; pero muchas personas satisfechas con esta idea, jamas han preguntado cómo se ensaya su dureza. Asi algunas veces se oye decir que el diamante es tan

duro, que si se le colocase en un yunque y se le diese con un martillo, entraría mas bien en el acero que romperse: luego aqui se confunde la resistencia que el cuerpo opone á ser rayado con su resistencia al choque. El diamante es muy duro, porque raya todos los otros cuerpos, pero al mismo tiempo es muy frágil.

191. *Definicion de la dureza en Física.* — Se entiende por *dureza* en Física la resistencia que el cuerpo opone á ser dividido por un instrumento cortante ó á ser desgastado ó rayado por tal ó tal cuerpo. Se dice que un cuerpo es mas ó menos duro que otro, conforme puede rayarle y desgastarle, ó que no es rayado ó gastado por él. Por ejemplo, el vidrio es mas duro que el mármol, por que raya á este cuerpo, y es menos duro que el cristal de roca, por que es rayado por éste. El diamante es el cuerpo mas duro que se conoce, por lo mismo no se puede tallar ni pulimentarle sino por medio de sus propios polvos.

192. *Diferencia entre la facultad de ser rayado á la de ser desgastado.* — Aunque indicamos aqui la facultad de ser rayado ó desgastado, para expresar la dureza de los cuerpos, no debe creerse que los resultados obtenidos por estos dos medios, puedan compararse exactamente. Citaremos solo un ejemplo. La piedra pomez es rayada por el vidrio y no le raya, de donde se concluirá que es menos dura; pero la piedra pomez desgasta al vidrio y no es gastada por el, de donde es menester concluir, que es mas dura que el vidrio; resultados diametralmente opuestos.

193. La resistencia de los cuerpos á ser rayados puede presentar diferencias sumamente sensibles,

segun la forma de la punta que se usa para el efecto. Si esta punta es natural como el ángulo de un cristal, se tendrán resultados diferentes de los que se obtendrán con una punta procedente de rotura. Entre estas últimas se hallarán algunas que cortarán los cuerpos propuestos con mayor ó menor facilidad unas que otras. Esto se hace sensible en las puntas de diamante que emplean los vidrieros para cortar el vidrio. Para este uso se sirven de la punta natural de un cristal, y no se puede lograr producir el mismo efecto con un diamante tallado. Esto proviene de que los cristales del diamante tienen alguna convexidad, de que resulta entonces en la punta una especie de cuña que entra en la traza producida por sí misma, y separa las partes. Muchas piedras menos duras que el diamante, estando labradas de modo que presenten una punta formada por caras curvilíneas producen el mismo efecto.

Se ve por estas diferentes observaciones que es muy difícil establecer con alguna precision los grados comparativos de dureza de los diferentes cuerpos. Parece que el *desgastado* seria el medio mas ventajoso, y quizá la accion de la muela del lapidario podria emplearse en este objeto con algun éxito. Sin embargo, quedaria todavia alguna incertidumbre, puesto que el juicio que se podria formar de esta manera sobre la mayor ó menor resistencia que ofrecerian los cuerpos, dependeria enteramente del tacto de la persona que hiciese el experimento.

194. *La dureza depende de la cohesion.* — En general la resistencia á ser rayado ó desgastado un cuerpo, depende de la cohesion de sus partículas.

Así es que el mármol blanco es mas duro que la creta, aunque estas dos sustancias tengan absolutamente la misma composicion. El *zafiro* que no contiene sino arcilla, es infinitamente mas duro que las masas de esta sustancia obtenida por las operaciones químicas: tambien es mucho mas denso.

El *grado de temperatura* á que se hace el experimento, influye tambien sobre los resultados de un modo sumamente notable. Así es que se desgasta un metal mas fácilmente cuando está en el grado de calor rojo, que cuando está en la temperatura ordinaria. La fundicion de hierro, por ejemplo, se corta con suma facilidad con la sierra cuando está enrojecida: lo mismo sucede con el vidrio, y poco mas ó menos con todas las sustancias susceptibles de adquirir algo de ductilidad por la accion del calor.

195. *Variaciones de la dureza en los metales batidos ó templados.*—Muchas operaciones mecánicas hacen tambien variar la dureza de los cuerpos. Todo el mundo puede observar que los metales batidos son mas duros que los simplemente fundidos: tambien son mas susceptibles de tomar un pulimento mas vivo, como lo saben perfectamente los artistas que baten todo lo posible las piezas á que quieren dar mucha brillantez.

Esta diferencia proviene sin duda de la colocacion forzada que toman las partículas de los cuerpos durante el batido ó templado (157). En efecto, en los metales batidos las partículas metálicas han tomado una disposicion particular como es fácil concebir desde luego, puesto que las operaciones del forjado, batido, &c. producen el efecto que se espera haciendo resbalar las partículas de

los cuerpos unas sobre otras, lo que desarregla precisamente la colocacion natural proveniente de la cristalización. Pero el fenómeno mas notable es la diversidad de dureza que los diferentes metales presentan segun el modo con que se les hace enfriar despues de haber elevado su temperatura de antemano hasta el calor rojo mas ó menos fuerte. Todo el mundo sabe que el acero sin templar tiene casi igual dureza que el hierro, pero por el temple adquiere una dureza considerable. Esta dureza es mayor cuando despues de haberle hecho calentar hasta el rojo ú otro grado segun su naturaleza, se le enfria repentinamente sumergiéndole en agua, mercurio, grasa ú otro liquido frio: no es tanta la dureza del acero que se temple dejándolo enfriar al aire. Otro cuerpo metálico presenta precisamente un fenómeno contrario; es la aleacion compuesta de setenta y ocho partes de cobre y veinte y dos de estaño, que sirve para los *tantanes* ó campanas chinescas y para los timbales. Darcet, á quien la Química aplicada á las artes debe tantos preciosos descubrimientos, ha observado que esta composicion calentada hasta el rojo, y sumergida repentinamente en agua, se vuelve muy tierna y se deja burilar perfectamente, mientras que cuando se deja enfriar lentamente al aire adquiere al contrario una dureza muy grande. Dificil es explicar de qué proceden estas diferencias de dureza, y para ello se han hecho muchas hipótesis; pero solo se conocen algunas de las circunstancias que acompañan al fenómeno, y que quizá serán su causa primitiva. Todos pueden convencerse de que una barra de acero ocupa mas volumen despues de haber sido templada que antes, lo que se demuestra

tambien por la disminucion de pesantez específica. El aumento de volumen varia segun las diferentes calidades del acero. Esta variacion de volumen, aunque menos visiblemente, se nota tambien en el metal de los timbales. Tambien se nota en ambos metales que el grano es muy diferente cuando están templados que cuando no, siendo mucho mas marcado y cristalino en el primer caso que en el segundo. Todas estas observaciones prueban que el estado de agregacion de las partículas se ha mudado enteramente por la operacion del temple, y que las moléculas no se hallan ya colocadas en las relaciones de posicion que conservarían si hubiesen sido abandonadas libremente á sus mútuas atracciones. Los metales templados son pues físicamente cuerpos diferentes de lo que eran antes, y no es extraño que posean propiedades particulares.

La cristalización directa es tambien capaz de presentar fenómenos análogos. Existen quiza muchos ejemplos que lo comprueban; pero hay uno mas particularmente conocido que es muy comprendente. Lo produce el carbonato de cal: esta sal cristaliza naturalmente, tanto en el sistema prismático romboidal como en el simplemente romboidal; y en el primer caso su dureza, lo mismo que su estructura exterior, son muy diferentes de la que se observan en el segundo.

CAPÍTULO XI.

Tenacidad.

Comprendemos bajo el nombre de *tenacidad* la resistencia que los cuerpos oponen á romperse de un modo cualquiera.

Se puede ensayar esta resistencia de los cuerpos de cuatro modos diferentes, á saber:

- 1.º Por el choque.
- 2.º Por un esfuerzo que obra perpendicularmente sobre la mayor dimension del cuerpo.
- 3.º Por un esfuerzo que tiende á tronchar el cuerpo.
- 4.º Por un esfuerzo que tira las partes del cuerpo en sentidos contrarios.

ARTÍCULO PRIMERO.

Resistencia al choque.

196. El esfuerzo producido por un choque no obra sino durante un instante sumamente pequeño, y en este mismo momento es cuando puede verificarse la rotura. La extension de la rotura depende de la fuerza del golpe y del grado de resistencia del cuerpo.

197. *Modo de concebir el efecto del choque.*
El efecto de un choque, lo mismo que el de una fuerza aplicada de un modo cualquiera sobre un cuerpo, es el de procurar desalojar de su lugar á

las moléculas que se hallan en su direccion. Si el cuerpo es ductil ó compresible el desalojamiento será completo, y las moléculas, resbalando ó refluyendo de un lado á otro, se colocarán en nuevas posiciones fijas. Si el cuerpo no es ductil ni compresible, las moléculas no se desarreglarán mas que momentáneamente: retenidas por un lado por la atraccion mútua, y sólicitadas por otro á mudar de posicion por la accion del choque, sufrirán una tension que será tanto mas considerable quanto mas fuerte haya sido el choque, y si esta tension es mayor que la fuerza de cohesion, necesariamente habrá rotura. En fin, como esta tension es una fuerza elástica que obra por todos lados, la rotura puede verificarse al rededor del punto chocado ó en el mismo punto segun las circunstancias.

De aquí resulta que los cuerpos que son susceptibles de romperse mas fácilmente por efecto del choque, son aquellos cuyas moléculas están de tal modo dispuestas que pueden adquirir la mayor tension por medio de la accion de la mas mínima fuerza. Pero esta definicion es precisamente la de los cuerpos elásticos; luego hablando teóricamente los cuerpos elásticos son los que se rompen con mayor facilidad por efecto del choque. Asi es que el vidrio que es sumamente elástico, se rompe mas fácilmente que las materias pedregosas, como el mármol que lo es mucho menos. Los cuerpos poco elásticos como la creta y las gredas areniscas blandas, &c. que por un choque aunque sea ligero pueden ser divididos en muchísimas partes, son mas bien aplastados por el esfuerzo que sufren, que no rotos.

bre la resistencia del choque. — Si hablando teóricamente puede decirse que los cuerpos mas fáciles de romper son los que poseen mayor elasticidad, no asi en la práctica, donde hay que atender á una multitud de circunstancias que modifican esta proposicion. La masa del cuerpo es una de ellas, pues cuanto mayor es esta, tanto mayor es la resistencia al choque; y en efecto, hay entonces mayor número de moléculas que no sufren ninguna tension, y resisten á la accion y reaccion de las que el choque desarregla momentáneamente. Asi es que se puede dar un golpe bastante fuerte sobre un trozo grande de mármol ó de cristal sin romperlos. La extension de la superficie que se halla de una á otra parte del punto chocado, tiene tambien gran influencia, porque la fuerza de tension obra de todos lados, y para que no haya rotura necesita hallar por todas partes la resistencia suficiente. De aqui procede el poderse golpear con fuerza sobre el centro de un lado correspondiente á una masa cúbica de mármol ó vidrio, no siendo asi en las esquinas, aunque la direccion de la fuerza sea bien perpendicular á la superficie: en efecto, la fuerza de tension que obra por todos lados no halla mas que una débil resistencia lateral, lo que es suficiente para hacer saltar un pedazo.

199. *Influencia del modo con que el cuerpo está sostenido.* — El efecto del choque sobre una placa delgada bien sostenida por todas partes, es el de mudar las posiciones de las moléculas situadas bajo el punto chocado, verificándose la rotura por la reaccion de las partes desalojadas sobre sus adyacentes. El cuerpo resiste tanto mejor, cuanto mayor es su adherencia con el punto de apoyo; pero

en el momento del choque esta adherencia se destruye no quedando nada que impida la reaccion de las moléculas desalojadas momentáneamente sobre sus adyacentes. La rotura se verifica mas fácilmente en este caso que cuando el cuerpo está libre ó simplemente apoyado por sus orillas: en efecto, en este caso particular la placa se encorva desde luego por el efecto del choque, y solo se rompe cuando se la hace encorvar mas de lo que permite su flexibilidad. Una cosa bastante notable es que se necesita que el choque obre durante cierto tiempo, muy corto en verdad, pero tal sin embargo que el cuerpo pueda doblarse: si se obra demasiado instantáneamente, el cuerpo no tiene tiempo de doblarse bastante para romperse, y entonces solo resulta un agujero, lo que proviene de que el cuerpo chocante lleva lo que encuentra por delante.

Efecto de un pistoletazo en una vidriera. — Todos saben que tirando una piedra á una vidriera se hace pedazos; pero si se tira un pistoletazo no se hace mas que un agujero del diámetro de la bala, porque la velocidad del proyectil es demasiado grande para dejar á las partes el tiempo de doblarse. Este resultado que es tanto mas visible cuanto menor es la bala, tiene una aplicacion directa bastante importante. Si un navío se halla en alta mar á medio tiro de cañon de un fuerte ó de otro barco enemigo, tiene menos que temer que si estuviese á tiro completo, pues en el primer caso la bala llega á él con mayor velocidad, y no hace mas que un agujero que es facil componer; y en el segundo, llegando la bala con menos velocidad, rompe la armazon inmediata al punto del choque, siendo el daño mas difícil de reparar.

200. *Influencia de la forma del cuerpo chocado en su resistencia.*—Un tubo de cualquiera materia, v. gr. vidrio, resiste mas que la lámina rectangular que se podria hacer con él aplanándole. Una esfera hueca manifiesta tambien mayor resistencia que una lámina de igual superficie y espesor. Esto nace de que los cuerpos expuestos al choque no pueden romperse sino doblándose, y en estos casos como en todos, las formas redondas oponen gran resistencia á doblarse. No se verifica el mismo efecto cuando el tubo ó esfera están llenos de una materia cualquiera, por ejemplo, de un liquido que se opone á la flexion ó doblez: el cuerpo no resiste ya sino como una placa en todos sus puntos, y por consiguiente con mucha menos fuerza. Asi es que una botella llena se rompe con mas facilidad que otra vacía: la facilidad de romperse es tanto mayor quanto mas denso es el liquido.

201. *Influencia de la estructura del cuerpo.*—La resistencia de un mismo cuerpo varia considerablemente segun que se compone de láminas aplicadas unas sobre otras; de láminas entremezcladas ó fibras rectas ó curvas, paralelas, divergentes ó entrelazadas; en fin, segun se presenta en la forma de masa compacta que no manifieste junturas en ningun sentido.

Un cuerpo compuesto de láminas paralelas tiene ordinariamente menos resistencia que cuando se compone de laminitas mezcladas; pero sobre todo en las masas compuestas de fibras entrelazadas es donde la resistencia del choque es sumamente fuerte, hasta tal punto que es casi imposible el romperle; pero en algunos cuerpos estas fibras son de una tenuidad extrema y tan poco visibles, que se nega-

ria su existencia si los pedazos mismos no suministrasen la prueba, enseñando por todas partes algunas fibras mas gruesas ó coloreadas de diferente modo que las otras.

Los cuerpos que tienen muchas celdillas ó huecos, como las lavas, presentan tambien gran resistencia al choque, pero es porque la tension que produce el choque no puede verificarse mas que en las partes celulares que han sido golpeadas inmediatamente: es pues imposible que se comunique á las siguientes, y por consiguiente la rotura no puede penetrar en la masa.

202. *Influencia de la temperatura.* — La temperatura, aumentando ó disminuyendo la elasticidad del cuerpo, aumenta ó disminuye la resistencia al choque. Todos saben que el vidrio es muy fragil en la temperatura ordinaria; pero si se le pone en el calor rojo se puede trabajar y contornear de todos modos como lo hemos ya dicho (155). El lacre presenta tambien otro ejemplo que tenemos diariamente á la vista. Otros cuerpos al contrario se rompen mas fácilmente cuando se eleva su temperatura; tales son por ejemplo la mayor parte de las aleaciones metálicas que á una temperatura mas ó menos elevada segun su naturaleza, se rompen por el choque del martillo mas fácilmente que en frio. No hablamos aqui de los cuerpos que son susceptibles de descomponerse por el calor, los cuales se esponjan ó esfolian haciéndose mas ó menos *friables* ó desmenuzables. La *humedad* produce sobre diferentes cuerpos el mismo efecto que el calor en otras; asi la arcilla húmeda es ductil mientras que la seca es quebradiza.

203. *Figura de la rotura.* — Los cuerpos al

romperse en el choque presentan diferentes circunstancias que dependen de la estructura. Los cuerpos capaces de tallarse (129) presentan roturas unidas y brillantes, ó se dividen en partes regulares de diversas formas segun su naturaleza: los que están compuestos de láminas ó fibras presentan tambien roturas particulares análogas á su estructura; pero las circunstancias mas notables y difíciles de prever por consideraciones teóricas, son las que se presentan en los cuerpos compactos.

Fractura cónica.—Cuando un cuerpo compacto tiene bastante grueso y extensión superficial, el choque determina en su exterior una rotura cónica, siendo el punto chocado la cúspide del cono. Se nota fácilmente este efecto en una bola de vidrio ó de ágata algo trasparente que se deja caer muchas veces de una ó dos varas de altura sobre un plano bastante resistente: cada golpe produce un cono pequeño. El mismo efecto se produce en una piedra de chispa ó una ágata golpeando en la superficie con un punzon; despues de pulimentada la piedra presenta una disposición particular, bastante vistosa á veces y agradable, cuyo origen se reconoce difícilmente á primera vista. Cuando se golpea fuertemente sobre un cuerpo compacto y homogéneo, sucede á menudo que se destacan fragmentos por todos lados, quedando algunos pedacitos conoides salientes (*fig. 23*) cuya forma suele ser muy regular (*fig. 53*). Este resultado se obtiene sobre todo con la especie particular de arenisca calcedónica que se halla en el bosque de Montmorency cerca de París, en la cual se observó por la primera vez este fenómeno por Gilet de Laumont. Pero el ángulo de este conoide es muy variable, lo

que destruye en parte la explicacion matemática del fenómeno dado por Girard, segun la cual el ángulo debia ser constantemente de 90° poco mas ó menos. Creemos que el pedazo es mas bien un paraboloides que un conoides regular, lo que concordaria con el efecto que produce la explosion de una mina.

Siempre que se rompe una sustancia vidriosa, se nota sobre algunos de sus fragmentos una cavidad con estrias concéntricas, y la salida contraria en relieve sobre otros. Esta rotura ha sido nombrada *fractura conchoidea*, porque en los pedazos algo voluminosos presenta la figura de una concha. Esta rotura se presenta de un modo mas ó menos notable en una multitud de sustancias pedregosas. Se la halla igualmente en los cuerpos resinosos. El *betun de Judea* ó *asfalto* que entra en la composicion de algunos barnices, presenta por lo regular una fractura muy marcada de esta especie.

ARTÍCULO II.

Resistencia de los cuerpos á un esfuerzo que obra perpendicularmente sobre su mayor dimension.

204. *Modo de disponer el cuerpo.*— Para experimentar esta especie de resistencia es menester disponer el cuerpo horizontalmente, y hacer obrar la fuerza perpendicularmente sobre su mayor longitud. Hay en general tres modos de mantener el cuerpo constantemente en posicion horizontal, á saber:

1.º Empotrando sólidamente este cuerpo por uno de sus extremos (*fig. 54*).

2.º Sosteniendo cada extremo del cuerpo por un simple punto de apoyo (*fig. 55*).

3.º Empotrando sólidamente el cuerpo por los dos extremos (*fig. 56*).

205. *Máximo de acción de la fuerza.* — El cálculo y la experiencia demuestran que en el primer caso una fuerza dada produce el máximo de efecto cuando obra sobre el extremo libre, y que en cada uno de los otros dos se verifica este máximo cuando la fuerza obra en medio de la longitud determinada por los puntos de apoyo. Según esto, es claro que si se quieren colocar masas muy pesadas sobre un piso, es menester colocarlas lo mas cerca posible de las paredes, porque allí es donde ejercen menor acción para romper las vigas.

206. Los cuerpos empleados en estos experimentos principian comunmente por encorvarse bajo el peso que sufren, y solamente cuando han llegado al máximo de curvatura que pueden tomar, es cuando ceden de repente al esfuerzo y se rompen. Sucede muchas veces que un peso que no es capaz de hacer romper repentinamente un cuerpo, concluye por producir este efecto cuando la acción del esfuerzo continúa durante cierto tiempo, y sobrepuja al fin al máximo de curvatura. Haremos la misma observación en el artículo siguiente, de suerte que es necesario en los diversos experimentos determinar el tiempo durante el cual ha sufrido tal ó cual carga el cuerpo que se experimenta.

207. *Influencia de las dimensiones del cuerpo sobre la resistencia.* — La resistencia de un cuerpo á la acción de una fuerza que obra perpendicularmente á su longitud, depende á la vez de su longitud, de su latitud y de su grueso. Se halla por

el cálculo, y se demuestra sensiblemente por la experiencia que las resistencias están en razón inversa de las longitudes, es decir que disminuyen al paso que las longitudes aumentan; de suerte que si una viga de cierta longitud sostiene un peso de mil libras, no sostendrá mas que uno de quinientas cuando sea doble su longitud.

Respecto de la latitud y grueso es necesario antes de citar los resultados, definir lo que se debe entender aquí por estas expresiones. Llamaremos latitud á la dimension trasversal de la cara sobre que obra la presión perpendicularmente; el grueso será la dimension trasversal de la cara paralela á la dirección del esfuerzo. Esto supuesto, permaneciendo fijas la longitud y grueso, se halla que la resistencia aumenta poco mas ó menos segun la latitud; de suerte que si una viga ha sostenido mil libras, sostendrá dos mil cuando su latitud sea doble.

Siendo las longitudes y latitudes fijas, se halla que las resistencias son como los cuadrados de los gruesos, es decir, que si un cuerpo ha sostenido mil libras, sostendrá cuatro mil cuando su espesor sea doble del primitivo; de donde resulta que una tabla puesta de canto, debe sostener un esfuerzo infinitamente mayor que cuando está puesta de plano. Por esto se emplean ventajosamente para carreras vigas muy anchas, puestas de canto.

Todos estos resultados quedan expresados por la regla siguiente. *La resistencia horizontal de un cuerpo está en razón directa de su latitud, directa del cuadrado de su grueso, é inversa de su longitud* (*).

(*) Todos los resultados que acabamos de citar son da

208. *Influencia del modo con que el cuerpo está fijado.* — El modo de fijar el cuerpo influye considerablemente en su resistencia. Por ejemplo, si una viga empotrada en un extremo (*fig. 54*) es capaz de sostener una carga de mil libras, sostendrá dos mil cuando está apoyada en ambos extremos (*fig. 55*), y sostendrá una de cuatro mil cuando sus dos extremos estén sólidamente empotrados (*fig. 56*). Se debe fácilmente considerar que si la viga estuviere sostenida en todos los puntos de su cara inferior, la resistencia seria infinita. Por estas observaciones se vé, cuán ventajoso es que las vigas que forman los pisos estén bien empotradas en las paredes por sus extremos, en vez de dejarlas simplemente apoyadas sobre las carreras.

209. *Modo de romperse un cuerpo.* — En el caso en que una viga empotrada por un extremo, llegue á ceder al esfuerzo que sufre, se rompe cerca del punto de apoyo: en el caso en que esté sostenida libremente por sus dos extremos, la rotura se verifica en medio; y en fin, si está empotrada por ambos extremos, se rompe en tres puntos, como representa la *fig. 57*.

209. *Influencia de la forma sobre la resis-*

dos por el cálculo, pero no es menester esperar hallarlos exactamente por la esperiencia porque desde luego los cuerpos no tienen realmente la homogeneidad que se les supone matemáticamente, y ademas una multitud de circunstancias de que hace abstraccion el cálculo, influye considerablemente en los resultados.

Se halla una relacion de los trabajos de los géometras sobre la resistencia de los cuerpos en la introduccion del tratado analítico de la resistencia de los sólidos por Girard; pero tambien será muy útil leer las Memorias de Galileo, Leibnitz, J. Bernoulli, Eulero, y Lagrange.

cia. — El cálculo y la experiencia concuerdan en manifestar que la forma de un cuerpo influye considerablemente en su resistencia. Asi es que, por ejemplo, un prisma cuadrado de cierta longitud, presenta menos resistencia que un cilindro de la misma altura y del mismo perímetro en su base. Al contrario, si el prisma es solamente rectangular y muy aplanado, resistirá poniéndole de canto, mas que el cilindro.

En el caso de la *fig. 54*, en que el sólido está empotrado únicamente por uno de sus extremos, es evidente que la resistencia será mucho mas considerable, si en vez de tener este sólido un perímetro igual en todos los puntos de su longitud, es mas grueso en su base, y vá gradualmente disminuyendo hasta el extremo. Esto se vé en la *fig. 58*, en donde la parte puntuada *a, b, c*, que seria inútil en el extremo *b c*, está llevada á *a, b' c*. Esta simple observacion hace ver claramente que con una cantidad dada de materia, se puede producir una resistencia excesivamente grande, si se sabe darla las formas convenientes. (*).

Resistencia de un cilindro hueco. Una cantidad de materia dada, dispuesta en forma de cilindro hueco, sufre un esfuerzo mucho mas considerable que cuando está dispuesta en cilindro macizo de la misma longitud. Asi es, que un tubo de vidrio resiste á un esfuerzo mucho mas considerable que una varilla de vidrio de la misma longitud y del mismo peso.

Hallamos en los huesos de los animales, y plumas

(*) La parte matemática que trata de la influencia de la forma en la resistencia, se designa mas particularmente bajo el nombre de *Teoría de los sólidos de igual resistencia*.

de las aves, un ejemplo de la infinita sabiduría del Criador, que puede referirse á las observaciones presentes. Los huesos son tubos que llenan á la vez el doble objeto de presentar una resistencia mayor y de ser muy ligeros: las plumas son gruesas y huecas que en la parte empotrada en la carne, tienen forma de tubo y fuera de este punto de apoyo van disminuyendo de grueso hasta su extremo: disposiciones llenas de prevision y sabiduría; pues por ellas reunen á un mismo tiempo la mayor resistencia y ligereza posibles.

210. *Caso en que un cuerpo puede romperse por su propio peso.* — Es menester notar en los experimentos que se pueden hacer sobre la resistencia horizontal de los cuerpos, que el peso material de la pieza que se emplea, se añade á aquel con que se la carga; pero como el peso del cuerpo aumenta con las longitudes, y al contrario, la resistencia disminuye, debe haber cierta longitud en que el peso equilibre á la resistencia, y en las longitudes mayores inmediatas debe el cuerpo romperse por su propio peso. Asi es que, por ejemplo, una varilla de vidrio de una vara de longitud, y un diámetro de dos ó tres líneas, se rompe por su propio peso, cuando cogiéndola por un extremo, se procura mantenerla horizontal. Una varilla análoga de dos ó tres varas de longitud, sostenida libremente por sus dos extremos, se encorva por su peso, y concluye prontamente por romperse. Se halla por el cálculo que un madero de roble de 33 metros (39,5 varas españolas) de longitud, y un decimetro (4,3 pulgadas) de grueso en cuadro puesto horizontalmente, y apoyado en sus dos extremos, se rompe por su propio peso.

211. *Influencia de la colocacion de las partículas de los cuerpos.* — La resistencia varía también considerablemente según el modo con que están colocadas y agregadas entre sí las partículas de los cuerpos (201). En los de fibras rectas paralelas, es menester distinguir el caso en que las fibras son paralelas á la mayor longitud del cuerpo de aquel en que son transversales á ella; se vé fácilmente que en el primer caso la resistencia será mucho mayor que en el segundo.

212. *Influencia de las grietas y de los pelos.* — La mas mínima grieta ó hendidura del cuerpo que se experimenta, puede disminuir su resistencia de un modo notable. Por ejemplo, la mas pequeña limadura que se puede hacer sobre la circunferencia de una varilla de hierro, disminuye al momento su resistencia en dos terceras partes, y acaso en mas. Un corte de lima en una barra de hierro, disminuye también considerablemente su resistencia. Con mayor razon la disminuirán las grietas ó hendiduras naturales, que se suelen llamar pelos: los nudos que se hallan en un madero, producen un efecto análogo, y muy frecuentemente es al rededor de ellos donde se rompe una viga.

213. *Grados diferentes de resistencia en las maderas.* — Los diferentes grados que presentan las maderas en posicion horizontal, han sido el objeto de las investigaciones de un gran número de sabios por ser de suma importancia para las diversas construcciones. La tabla siguiente indica algunos de los resultados obtenidos por Hassenfratz; pero es preciso notar que las maderas han sido ensayadas en longitudes y escuadrías diferentes, y reducidas á dimensiones iguales por el cálculo.

TABLA de las resistencias de diferentes maderos de cinco metros (5,98 varas españolas), de longitud por un decimetro (4,3 pulgadas) de escuadria colocados horizontalmente, y apoyados simplemente en sus extremos (*).

	Kilógramas.	Libras españolas.
Ciruelo.	1447	3145,01.
Alamo negro.	1077	2340,8.
Tejo.	1037	2253,88.
Hojaranzo.	1034	2247,36.
Haya.	1032	2243,02.
Encina.	1026	2234,32.
Avellano.	1008	2190,85.
Manzano.	976	2121,3.
Castaño silvestre.	957	2080,01.
Id. injerto.	931	2023,5.
Pino.	918	1995,24.
Nogal.	900	1956,12.
Peral.	883	1919,17.
Alamo blanco.	853	1853,96.
Sauce.	850	1847,44.
Tilo.	750	1630,1.
Chopo de Lombardia.	586	1273,65.

Se sabe que la encina es la mejor madera para los diferentes generos de construccion; pero siendo el pino siempre mas barato aunque menos resistente, se usa con ventaja, porque al mismo tiempo es mas ligero y se puede emplear en piezas mayores, sin cargar demasiado sobre la fábrica.

(*) Por medio de las reglas dadas (208), se podrá calcular la resistencia de estas mismas piezas empotradas sólidamente por un extremo, ó por ambos.

La resistencia de una misma madera varia mucho segun el lugar en que ha sido criada. — Por ejemplo, la encina cultivada en parages humedos, es mucho menos resistente que la criada en una tierra despejada, ó en un suelo pedregoso. Los obreros conocen perfectamente la diferente resistencia que hay entre las maderas de un pais ó bosque determinado y las de otro.

La resistencia varia tambien, segun la parte del árbol que se toma. — Las partes de las ramas son menos resistentes que las del tronco, y el corazon de un árbol sano, es mas resistente que la circunferencia.

214. *Se han hecho tambien sobre el hierro algunos experimentos*, de donde se puede concluir en general que el hierro fundido es menos resistente que el forjado en la razon de 1 á 5, sobre poco mas ó menos. La fundicion blanca, es en general menos resistente que la fundicion gris. Presentando el hierro gran variedad en sus calidades, presenta tambien mucha en su resistencia. Los metales calentados hasta el rojo son mucho menos resistentes que á la temperatura ordinaria.

215. *Resistencia de los cuerpos colocados oblicuamente al horizonte.* — Si en lugar de fijar el cuerpo en la posicion horizontal, se le fija en una posicion inclinada como *fig. 59*, el esfuerzo que podrá sostener será mucho mas considerable, y tanto mas quanto su posicion se aproxima mas á la vertical. En este último caso, se podrán distinguir dos especies de resistencia: una cuando el cuerpo reposa por la parte inferior sobre un plano infinitamente resistente, y el esfuerzo obra sobre la parte superior, como para troncharle:

otra cuando el cuerpo está fijo en la parte superior, y el esfuerzo obra tirando de su parte inferior. Estas dos consideraciones sirven de base á los artículos siguientes.

ARTÍCULO III.

Resistencia de los cuerpos á una presión que procura troncharlos.

216. Cuando un cuerpo colocado verticalmente está apoyado por su base sobre un plano infinitamente resistente, puede sufrir sin romperse un peso muy considerable en su parte superior. Así es que se puede cualquiera sentar ó subir con suma seguridad sobre un taburete cuyos pies esten formados por cuatro varillas de vidrio, mientras que no podría colocarse impunemente sobre estas cuatro varillas si estuviesen puestas horizontalmente unas junto á otras (*).

217. *Influencia de las dimensiones de los cuerpos.*—Cuanto mayor sea la altura del cuerpo respecto á las dimensiones de su corte trasversal, menos resiste al esfuerzo que obra en su parte superior. Esto proviene principalmente de que la mayor parte de los cuerpos se encorvan antes de romperse, por consecuencia quiza de la dificultad de

(*) Sin embargo, un cilindro de vidrio de cierto espesor, presenta una resistencia trasversal considerable. Se han empleado con ventaja cilindros de vidrio de diez y seis líneas de diámetro y ocho palmos de longitud para formar los *dientes de las linternas* en diferentes máquinas de engranage. Estas máquinas trabajaban con suma facilidad porque no habia el rozamiento de madera sobre madera, que destruye en gran parte la fuerza motriz.

colocarlos bien verticalmente, y de la falta de homogeneidad en sus diferentes partes. Se halla por el cálculo comparando los experimentos que se han hecho, que las resistencias de los sólidos prismáticos colocados verticalmente están en razon inversa de los cuadrados de sus alturas, directa de la latitud de la cara por donde se verifica la flexion, y directa tambien de los cuadrados de los espesores.

218. *Influencia de la forma.* — La resistencia de un cuerpo aumenta con su espesor; pero la forma que se le puede dar influye tambien considerablemente: por ejemplo, un cuerpo dispuesto en forma cónica (*fig. 60*) ó piramidal sostiene un esfuerzo mucho mas considerable que el mismo volumen de materia dispuesta en forma cilíndrica ó prismática de la misma altura (*fig. 64*). Un paralelepípedo de base rectangular resiste menos á la presion que un paralelepípedo de igual volumen y altura de base cuadrada. Este resiste menos que un cilindro de la misma altura y del mismo volumen. Una cantidad de materia dada, dispuesta en forma de cilindro hueco, sufre verticalmente un esfuerzo mas considerable que cuando está dispuesta en cilindro macizo de la misma altura. Se sabe que un cilindro de hoja de lata posee una resistencia vertical mucho mayor que una varilla de hierro de igual altura, formada con la misma cantidad de materia. No hay nadie que no haya notado que un cuaderno de papel arrollado en forma de cilindro es capaz de sufrir un esfuerzo bastante considerable.

219. *Un sólido de un solo pedazo resiste mas eficazmente que el mismo sólido compuesto de mu-*

chas partes. — La experiencia prueba que muchos cubos colocados unos sobre otros resisten menos á la presión que un paralelipípedo de igual base y de la total altura en un solo pedazo. Por consiguiente una columna de una sola pieza debe tener mas resistencia que una columna compuesta de muchos trozos dispuestos sobre el mismo eje. Un edificio compuesto de piedras grandes debe ser mas sólido que otro de las mismas formas y dimensiones compuesto de piedras pequeñas. La mayor parte de los edificios antiguos construidos por los romanos, como se ve en varios y diferentes puentes y arcos triunfales en Francia y España, están en general compuestos con piedras gruesas, y quiza es á esta circunstancia á la que deben el haber resistido tan largo tiempo, y hallarse todavia en buen estado.

220. La naturaleza de la sustancia, la fuerza de cohesion, y el modo con que están colocadas las partículas entre sí, influyen tambien sobre la resistencia.

221. *Casos en que un cuerpo puede troncharse por su propio peso.* — Es menester notar que la base de una columna sufre todo el peso de la parte superior; de donde se puede concluir por el raciocinio que una columna muy alta podria tambien romperse por su propio peso. Es claro que cuanto mas ligera sea la materia empleada, mayor altura se podrá dar á la columna: asi que las piedras porosas como las lavas, por ejemplo, pueden ser puestas en columnas mas elevadas que las piedras compactas. Lo mismo sucede con las maderas: el pino que es mas ligero que la encina podrá servir para columnas mas altas que las de esta. Por el cálculo se halla que una viga de encina de una vara en

cuadro de espesor y 1295 varas de altura se rompería por su propio peso, mientras que una pieza de pino del mismo espesor necesitaría tener 1832 varas de altura para romperse del mismo modo.

222. *Modo de romperse los cuerpos.* — Todos los cuerpos ductiles y compresibles, como los metales, las maderas, &c. colocados verticalmente y cargados en la parte superior, principian siempre por encorvarse antes de romperse. Los cuerpos no ductiles y no compresibles, como por ejemplo, las piedras de fábrica no se encorvan, pero principian á hendirse bajo un peso la mitad menor que el que es capaz de rajarlos enteramente. Aquí, lo mismo que en el caso de la resistencia horizontal (206), es necesario tener en consideracion el tiempo durante el cual obra el esfuerzo. En efecto, aunque el cuerpo sometido al experimento esté cargado de un peso mucho menor que el que podría troncharle enteramente, concluye por encorvarse ó romperse cuando el esfuerzo que sufre obra bastante tiempo. Esto sucede algunas veces respecto de las columnas y pilares de piedra ó madera que sostienen nuestros edificios, lo cual obliga á darles dimensiones mayores que lo exige la carga que han de sostener.

Rotura notable de un cubo. — Se halla consignado entre los experimentos de Péronnet, Gauthey y Rondelet, sobre la fractura de las piedras de fábrica, un hecho bastante análogo al que hicimos notar (203) sobre la forma cónica de la fractura en los cuerpos compactos homogéneos. Sometiendo cubos de piedra á la accion de una fuerte carga, han notado estos sabios que se dividian por lo común en seis pirámides, cuyas cúspides se reunian

en el centro, y cuyas bases eran las caras del cubo como se vé *fig. 62.*

Pirámides naturales análogas. — Se han hallado en Montmartre masas de tierra margosa, cuyo interior estaba dividido tambien en seis pirámides que tenian sus cúspides reunidas en un punto central. Girard que ha explicado matemáticamente las divisiones de un cubo en seis pirámides por efecto de la presión, ha creído poder aplicar la misma teoría á estas pirámides naturales; y ha supuesto que resultaban de la presión que las capas superiores de la montaña habian ejercido sobre la capa de marga; pero el examen de los muchos pedázos que hemos tenido en nuestra mano, y de las circunstancias locales no nos permiten seguir la opinion de este sabio. Por otra parte, la analisis matemática no se aplica sino á un cubo, y no indica que una presión que obra sobre una masa extensa, pueda producir en diferentes puntos de su longitud y de su grueso roturas piramidales.

Creemos que estas pirámides han sido producidas en medio de la masa por su desecacion, y que resultan de la contraccion regular de la materia al rededor de un punto, lo que las leyes de la mecánica indican como cosa posible.

223. *Experimentos sobre las piedras de construccion.* — El conocimiento del grado de resistencia de las piedras de construccion es de suma importancia. Con este motivo se han hecho muchos experimentos que se hallan consignados en varias obras, especialmente en el primer volumen del *Arte de edificar* por Rondelet. En general resulta que las piedras de grano fino y textura compacta son las mas resistentes; y se cree reconocer que en las

piédras de una misma composicion, la resistencia es proporcional á los cubos de las densidades.

224. *Experimentos sobre la resistencia de las maderas.* — Girard ha hecho muchos experimentos sobre las maderas; pero partiendo siempre de la observacion de que estos cuerpos se encorvan antes de romperse, ha preferido como mas importante para los diversos géneros de construccion buscar el peso que los maderos de encina y pino de diversas dimensiones pueden sostener antes de encorvarse. Resulta de estos experimentos que el pino es menos resistente que la encina. En el curso de sus investigaciones ha notado Girard que los maderos de mayor anchura que grueso se encorvan ordinariamente por la cara mas ancha, y algunas veces se encorva en dos sentidos sucediendo esto mismo siempre con las vigas cuadradas.

ARTÍCULO IV.

Resistencia que los cuerpos oponen á las fuerzas que tiran de ellos en sentidos opuestos.

225. *Para determinar esta resistencia se fija el cuerpo por un extremo, y se suspende en el otro un platillo de balanza que se carga poco á poco de pesos hasta que se llega á uno que rompe repentinamente la adherencia.*

A esta especie de resistencia es á la que se ha dado mas particularmente el nombre de *tenacidad*, porque se la ha mirado como que indica la fuerza de cohesion de sus partículas. Es verdad que es variable en cada cuerpo segun la cohesion; pero para

comparar, partiendo de esta relacion, dos sustancias diferentes, y sacar una induccion sobre la fuerza que une sus particulas, seria preciso estar seguros de que en cada sustancia las particulas se hallan exactamente en las mismas posiciones respectivas, y esta certidumbre es muy dificil de adquirir en muchísimos casos.

226. *Influencia de las dimensiones del cuerpo.*— La longitud del cuerpo puesto en observacion influye generalmente poco sobre los resultados; pero es indudable que cuanto mayor es el grueso, mayor es la resistencia. Se halla por el cálculo y la experiencia que está en razon directa del producto de las dos dimensiones latitud y grueso.

227. *Influencia del estado de agregacion y del modo de colocacion de las particulas.*— Si la sustancia que se observa se compone de láminas sobrepuestas unas á otras, es menester distinguir el caso en que la fuerza tirante obra paralelamente á los planos de estas láminas, del caso en que obra perpendicularmente á los mismos, porque los resultados no pueden menos de ser diferentes. Es menester hacer una distincion análoga en los cuerpos compuestos de fibras rectas y paralelas, como la madera, por ejemplo, que resiste con mucha fuerza cuando las fibras están á lo largo y con muy poca cuando están al traves.

228. *Resistencia de los metales.*— En general son los metales los que presentan mayor resistencia; pero en cada uno de ellos varía esta segun la textura y el grado de aproximacion de las moléculas. Los metales simplemente fundidos y colados en barras, tienen menos tenacidad que los que han sido forjados ó pasados por hilera, y la razon pa-

rece ser la mudanza de textura que sufren los cuerpos por estas operaciones.

TABLA de la resistencia que presentan varios hilos metálicos de una línea de diámetro.

	<i>Kilogramas.</i>	<i>Libr. españ.</i>	
El hierro sufre de peso sin romperse.	279,3	607,05	
	249,659	542,62	Sickingen.
	195,9	425,78	
Cobre.	175,17	380,72	
	137,599	299,06	Sickingen.
Platina.	124,69	271.	Guyton-Morveaux.
Plata.	85,062	184,88	
Oro.	68,216	148,26	Sickingen.
Estaño.	24,2	52,59	Mussembroeck.
Zinc.	12,72	27,64	
Plomo.	9,75	21,91	

En virtud de la ductilidad el hilo metálico, sometido al experimento, se alarga cierta cantidad, y por esto mismo disminuye siempre de diámetro en el parage de la rotura. Se ve por la tabla anterior que los metales muy ductiles son los que presentan menos resistencia, efecto que parece nacer de ser mas susceptibles de alargarse.

La elevacion de temperatura disminuye mucho la resistencia de los metales, porque aumenta su ductilidad. Por ejemplo, un hilo de hierro que á la temperatura ordinaria sostiene cierto peso, no sostiene la mitad ni aun la cuarta parte cuando se le hace pasar al traves de un hornillo lleno de carbon encendido para mantenerle enrojecido durante el experimento.

229. *Resistencia de las maderas y de las cuerdas.* — Mussembroeck ha hecho tambien muchos experimentos sobre la resistencia de las maderas

cargadas en la parte inferior; pero hizo las operaciones muy en pequeño. Segun sus trabajos el haya y la encina son las maderas mas resistentes entre las que se usan habitualmente. Las maderas blancas, y sobre todo el pino, lo son infinitamente menos.

Los diversos grados de resistencia de las cuerdas son tambien de alguna importancia. En general se ha hallado que cuanto mas torcidas están las cuerdas menos resistencia tienen: sin embargo es necesario que tengan cierto grado de torsion, y este es el punto mas delicado del arte de cordelería. Segun los diversos experimentos que se han hecho con este objeto, es menester que la torsion sea tal que solo disminuya la longitud $\frac{1}{5}$.

Las cuerdas embreadas tienen menos resistencia que las comunes, y si se las cubre comunmente con tal materia, es para preservarlas de la acción alternativa del aire y del agua que las pudre prontamente. Se ha sustituido algunas veces el curtido de los hilos al embreado: parece que esta operación ha surtido bastante efecto, y se emplea con éxito para las redes en muchos puntos de las costas del Mediterráneo.



SECCION SEGUNDA.

Movimiento de los cuerpos sólidos.

Para resolver los problemas de Dinámica cuando las fuerzas están aplicadas á un cuerpo sólido, es menester tomar en consideracion las modificaciones que estas fuerzas sufren en virtud del enlace mútuo que existe entre los diferentes puntos de aplicacion. Es menester tambien tener presentes las diversas propiedades de los cuerpos sobre que se aplican, y las de los cuerpos circunvecinos: esto es lo que va á ser objeto de esta seccion.

CAPÍTULO XII.

Movimiento de los cuerpos sólidos al rededor de sus centros de inercia.

230. *Casos en que un cuerpo puede tomar un movimiento de rotacion al rededor de su centro de inercia.*

1.º Cuando la resultante de las fuerzas que solicitan al cuerpo pasa por su centro de gravedad, que ahora toma el nombre de *centro de inercia*, es evidente que todos los puntos de este cuerpo deben moverse paralelamente con una velocidad comun.

2.º Cuando las fuerzas que solicitan un cuerpo se reducen á un par, el centro de inercia queda en reposo, y los otros puntos toman por consiguiente un movimiento de rotacion al rededor de él.

3.º Cuando las fuerzas se reducen á una resultante única que no pasa por el centro de inercia, el cuerpo adquiere á la vez dos movimientos independientes entre sí: uno de traslacion del centro de inercia, y el otro de rotacion al rededor del mismo, como si fuese al derredor de un punto fijo. En este caso, cualquiera que sea el punto de aplicacion de la fuerza, el centro de inercia se mueve del mismo modo que si estuviese inmediatamente aplicada á él. En efecto, sea P la fuerza aplicada al punto a del móvil (*fig.* 63), cuyo centro de inercia es c ; apliquemos en b paralelamente á P dos fuerzas p, p' iguales y opuestas, tales que cada una sea igual á $\frac{1}{2}P$; no se habrá mudado nada por la adiccion de estas fuerzas. Si se combina la fuerza p con la mitad de la fuerza P , se tendrá una resultante igual á P que pasará por el centro de inercia, y comunicará á la masa toda la velocidad de que es capaz; quedará pues un par representado por $(\frac{1}{2}P, p')$ que determinará un movimiento de rotacion del mismo modo que si el centro estuviese fijo.

La posicion del eje de rotacion y la velocidad de esta depende del punto de aplicacion de la fuerza. La velocidad de rotacion es tanto mayor quanto mas apartada está la direccion de la fuerza del centro de inercia.

231. *Eje permanente de rotacion.*— Cuando un cuerpo sólido toma un movimiento de rotacion al rededor de un eje ficticio, todas sus partículas

adquieren fuerzas centrífugas en virtud de las cuales procuran alejarse indefinidamente unas de otras. Si todas las fuerzas centrífugas se equilibran, el eje de rotacion será permanente: en el caso contrario este eje mudará sucesivamente de posicion hasta que llegue á una en que haya equilibrio.

El equilibrio entre las fuerzas centrífugas exige que las partículas situadas de una y otra parte del eje de rotacion esten equidistantes de este eje.

232. Se llaman *ejes principales* todas las líneas al rededor de las cuales pueden equilibrarse las fuerzas centrífugas, y que por consiguiente pueden llegar á ser ejes permanentes de rotacion. En una esfera cada diámetro es un eje principal, de suerte que si el movimiento de rotacion ha principiado al rededor de uno de ellos, continuará constantemente del mismo modo mientras no sea perturbado por una nueva fuerza. En un elipsoide de revolucion, el eje de revolucion es un eje principal; todos los diámetros del ecuador son tambien ejes principales. Se ve pues que en muchos cuerpos puede existir un número infinito de ejes principales; pero se demuestra en general que en todos los cuerpos de cualesquier figura que sean, existen siempre tres líneas convergentes á ángulo recto que gozan de la propiedad de ser ejes principales.

233. Se demuestra que el *movimiento de rotacion es estable ó permanente* cuando se verifica al rededor de uno de los ejes principales, en el cual el *momento de inercia* (*) es un máximo ó un

(*) Se llama *momento de inercia* la suma de los elementos materiales multiplicados respectivamente por el cuadrado de su distancia al eje fijo.

mínimo: en este caso si una causa cualquiera llega á mudar, por poco que sea, el eje de rotacion, el eje momentáneo que resulta oscilará á una y otra parte del permanente hasta que el equilibrio se haya restablecido.

Se demuestra al contrario, que el *movimiento* no es permanente cuando se efectua al rededor de un eje principal, cuyo momento de inercia no es *máximo* ni *mínimo*, de suerte que si una fuerza cualquiera llega á mudar, por poco que sea el eje de rotacion, el eje instantáneo se apartará de él al infinito.

234. *Movimiento de traslacion del eje de rotacion.* — Un cuerpo que por la accion de una fuerza excéntrica, ha recibido á la vez un movimiento de traslacion y un movimiento de rotacion permanente, se mueve en el espacio de modo que el eje de rotacion es trasportado paralelamente á sí mismo con el centro de inercia. Recíprocamente cuando se vé un cuerpo sólido girar al rededor de un eje, que durante el movimiento de traslacion permanece constantemente paralelo á sí mismo, ó se aparta poco del paralelismo, haciendo pequeñas oscilaciones de una á otra parte de la posicion media; es menester concluir que el eje de rotacion es uno de los ejes principales que pasan por el centro de inercia, y que corresponden al *máximo* ó *mínimo* de los momentos de inercia. Esto es lo que se verifica respecto de los planetas.

El movimiento de rotacion de un cuerpo no puede ser perturbado por la accion de una fuerza que pasa por el centro de inercia. Asi pues, la accion de la gravedad no puede alterar el movimiento de rotacion impreso á un cuerpo por una

causa cualquiera; no tiene mas influencia que sobre el movimiento del centro de inercia, al cual hace describir una seccion cónica, cuyo focus está en el centro de la tierra. Durante este movimiento el eje de rotacion permanece constantemente paralelo á sí mismo.

235. *Perturbacion de los planetas.* — Si los planetas fuesen esféricos y homogéneos, la atraccion que el sol ejerce sobre ellos pasaría constantemente por su centro de gravedad, y no podria ni un solo instante turbar su movimiento de rotacion; pero estando los planetas aplastados hácia los polos, la atraccion que el sol ejerce sobre todas sus partículas, no pasa constantemente por el centro de gravedad en todas la posiciones diversas que toman relativamente á este astro; de aqui resultan algunas ligeras perturbaciones en el movimiento de rotacion.

La teoría y la observacion, no han podido descubrir ninguna perturbacion en la velocidad de rotacion de la tierra; pero se demuestra que las atracciones que el sol y la luna ejercen sobre este planeta, hacen variar la posicion de su eje de rotacion en el espacio, de suerte que este eje aunque pasa constantemente por los mismos puntos de la superficie del globo, no pasa siempre por los mismos puntos del cielo cuando se le concibe prolongado indefinidamente.

236. *Experimentos sobre los puntos anteriores.* — Los resultados que acabamos de enunciar son dados por el cálculo, y es muy difícil demostrarlos rigurosamente por la experiencia: pero á lo menos se puede adquirir una especie de certidumbre de su existencia.

Para demostrar el primer resultado (230; 1.º) se suspende un plano circular por su centro al extremo de una cuerda; si se dá un martillazo á este cuerpo en una direccion normal á la circunferencia, se le verá moverse hácia adelante sin tomar ningun movimiento de rotacion.

Para el segundo resultado (230; 2.º) se aplicarán los dedos en sentido contrario á los extremos de un mismo diámetro del plano circular, y se quitarán repentinamente con velocidad apoyándolos sobre el cuerpo, al que se hará tomar de este modo un movimiento de rotacion sin adquirir el de traslacion.

En cuanto al tercer resultado (230; 3.º) convendrá aplicar al cuerpo una fuerza que no pase por el centro de inercia; y se le verá tomar las dos especies de movimiento á la vez; pero no es muy fácil ver en este experimento que el eje de rotacion permanece paralelo á sí mismo durante el movimiento de traslacion.

CAPITULO XIII.

Del choque de los cuerpos sólidos.

En el choque de los cuerpos distinguiremos el de los cuerpos ductiles, del de los cuerpos elásticos, suponiendo para establecer la teoría, que los cuerpos son perfectamente ductiles ó perfectamente elásticos. Además, llamaremos *choque céntrico* ó *central* al que se verifica cuando los cuerpos se mueven en una misma linea que pase por sus centros de inercia; y *choque excéntrico* en el caso contrario.

ARTÍCULO PRIMERO.

Choque central de los cuerpos ductiles.

237. *Moviéndose los cuerpos en sentido contrario con igual cantidad de movimiento.* — Es evidente que si dos esferas iguales de una materia ductil, v. g. arcilla húmeda, se mueven en sentido contrario en una misma línea y llegan á encontrarse, se aplastarán, y ambas quedarán en reposo.

Si estas esferas sin ser iguales poseen cantidades iguales de movimiento, se verificará el mismo efecto.

Si en los usos habituales no ha habido ocasion de observar semejante circunstancia, se puede fácilmente hacerlo por la experiencia. Basta para esto colgar varias bolas de materia muy ductil, de hilos de igual longitud fijos en un punto A (*fig. 64*), disponiendo á su frente y á corta distancia, un arco de círculo graduado, como representa la figura (*).

Hecho esto y siendo las dos bolas iguales, si se las eleva cada una á la misma altura de una y

(*) Para dividir la escala que representa la figura, es menester tomar arcos de círculo, cuyas cuerdas sigan la progresion 1, 2, 3, 4, 5 &c.: partiendo de cero, punto el mas bajo á que el cuerpo pesado puede llegar puesto que las velocidades adquiridas son como las cuerdas de los arcos corridos. En efecto, sean v y v' las velocidades al fin de la caída por los arcos BE, BD (*fig. 65*); estas velocidades son las mismas que adquiririan por la caída libre por las verticales FB, CB (*94*); pero los espacios corridos son como los cuadrados de las velocidades finales (*47*); de suerte que se tiene $v^2 : v'^2 :: FB : CB$. Si se completa el

otra parte del cero de la escala para abandonarlas en seguida á sí mismas, en el mismo instante se podrá observar que al tiempo del choque se aplastan una sobre otra y quedan en reposo.

238. *Siendo las cantidades de movimiento desiguales.* — Cuando dos cuerpos ductiles que se mueven en una misma línea en sentido contrario llegan á encontrarse, el efecto del choque mútuo es en general el reducirse á una sola masa, que toma la misma velocidad que si las fuerzas hubiesen sido inmediatamente aplicadas á ella; de suerte que la masa total despues del choque, se mueve con la diferencia que hay entre las cantidades de movimiento y en el sentido del cuerpo que posee la mayor. A este resultado conducen las consideraciones matemáticas y la experiencia.

Velocidad despues del choque. — Sean mv y $m'v'$ las cantidades de movimiento, y sea v la velocidad despues del choque como acabamos de decir, la cantidad de movimiento despues del choque será igual á la diferencia de las cantidades de movimiento de los cuerpos, es decir, $(m+m')v = mv - m'v'$ de donde sale $v = \frac{mv - m'v'}{m + m'}$.

Tómense dos bolas cuyas masas esten por ejemplo en la relacion de 2 á 3, y eléveselas de una y

circulo y se tiran las líneas BD, BE, DG y EG, se tendrá BG: BE:: BE: BF, y BG: BD: BD: BC de donde sale BF

$$\frac{(BE)^2}{BG} \text{ y } BC = \frac{(BD)^2}{BG} \text{ de donde resulta } v^2: v'^2:: (BE)^2$$

$$(BD)^2 \text{ ó } v: v':: BE: BD.$$

Construida así la escala, se ve que si se eleva, por ejemplo, una bola á 6° y la otra á 10°, las velocidades al fin de la caída serán como los números 6 y 10.

otra parte del cero á 10° , se tendrá por la fórmula $v = 2$: de consiguiente estas dos masas reunidas recorrerán juntas 2° en el sentido de la mayor, como efectivamente se observa.

Si una de las masas está en reposo, la fórmula se reduce á $v = \frac{m v}{m + m'}$ pues es menester hacer una de las velocidades igual á cero. Déjese una de las bolas iguales en reposo, y elévese la otra á 10° , se verá que despues del choque las dos bolas subirán juntas del otro lado hasta 5° como dá la fórmula.

Si la masa que está en reposo es 2, por ejemplo, y la otra 3, se verá que despues del choque las dos masas recorrerán 4° como tambien indica la fórmula.

Si la masa en reposo es sumamente grande con respecto á la masa chocante, la expresion $\frac{m v}{m + m'}$ se hace sumamente pequeña; de suerte que la velocidad de la masa chocada es absolutamente inapreciable. Esto es lo que se verifica cuando un cuerpo cualquiera llega á chocar contra una roca. Sin embargo, se observa algunas veces que el movimiento de la masa chocada no es absolutamente nulo, de lo que puede convencerse cualquiera tirando una piedrecilla contra el tronco de un arbol grueso, pues se verá siempre á sus ramas tomar un ligero movimiento.

239. *Moviéndose los cuerpos en el mismo sentido.* — Si los cuerpos sujetos á la condicion de moverse en la misma línea están dirigidos en el mismo sentido con velocidades diferentes, de tal modo que puedan alcanzarse, la cantidad de movimiento

después del choque será la suma de las cantidades de movimiento que existían antes; de suerte que se tendrá $(m + m') v = mv + m'v'$ de donde

$$v = \frac{mv + m'v'}{m + m'}$$

Tómense dos bolas iguales, y elévense á un mismo lado del cero la una á 10° y la otra á 6° . Déjese caer esta después de la otra pasado un pequeño intervalo, para que se encuentren las dos sensiblemente en el cero de la escala, se tendrá una velocidad igual á 16 que estará dividida por una masa igual á 2, de donde resultará la velocidad 8. Esto mismo que da la fórmula lo hace ver la experiencia, pues efectivamente las dos bolas recorren juntas un espacio de 8° .

ARTÍCULO II.

Choque central de los cuerpos elásticos.

Distinguiremos aquí dos casos:

1.º Aquel en que los cuerpos no emplean sino un tiempo inapreciable para aplastarse según exigen las velocidades adquiridas, y recobrar su forma natural.

2.º Aquel en que los cuerpos emplean un tiempo sensible, aunque muy corto, para desfigurarse por el choque, y recobrar su forma natural.

PRIMER CASO.

240. En todo lo que toca á este primer caso sustituiremos en el aparato (*fig. 64*) bolas de mar-

fil á las de materia ductil; porque además de que el marfil es un cuerpo perfectamente elástico, es tambien de aquellos en los cuales el desarreglo momentáneo de las partículas y su vuelta á la forma natural, se efectuan en un tiempo absolutamente inapreciable.

Despues de haber dispuesto un plano inflexible é inmóvil en el cero de la escala, se eleva una de las bolas de marfil á 10° por ejemplo para dejarla caer. En seguida se la verá despues del choque retroceder y subir sensiblemente á los 10° . Veamos cómo debe concebirse este efecto. Al momento en que la bola de marfil da en el plano, se desfigura y pierde instantáneamente su velocidad; pero apenas está reducida al reposo, recobra repentinamente su forma primitiva en virtud de la elasticidad, y es lanzada hácia atras con una velocidad igual á la que poseía antes del choque. De este resultado de la experiencia es de donde parte el cálculo para obtener las fórmulas que dan la velocidad y la direccion del móvil despues del choque.

241. *Cuando se mueven masas iguales en sentidos contrarios con igual velocidad.* — Cuando dos bolas de marfil del mismo volumen, que se mueven en sentidos contrarios en la misma línea y con la misma velocidad llegan á encontrarse, se desfiguran y pierden instantáneamente su velocidad por su mútuo choque; pero apenas han desaparecido sus velocidades, cuando las bolas, tomando súbitamente su forma primitiva, obran por reaccion una sobre otra, y cada una de ellas adquiere una velocidad retrógrada igual á la que tenia antes del choque. Elévense dos bolas de marfil á 10° por ejem-

plo, una á derecha y la otra á izquierda del cero; abandónese las al mismo momento, y se verá despues del choque á cada bola subir por el arco que acaba de bajar.

Si las masas son iguales y las velocidades diferentes, los móviles despues del choque retrocederán cambiando de velocidades. Levántese, por ejemplo, la bola m á 6° y la m' á 10° ; déjese caer esta la primera, y despues la otra con un pequeño intervalo de tiempo, á fin de que lleguen al mismo instante al cero, y se verá que la bola m' que poseía una velocidad de 10° , retrocede por sus mismos pasos hasta 6° y la otra hasta 10° .

Analicemos el efecto del choque para concebir completamente este resultado. La bola m' hace desde luego tomar 6° de velocidad á la bola m , y se queda reducida á cero. Entonces la bola m' la oprime y pierde con ella los 4° de velocidad que la quedan; de suerte que las dos bolas tienden á moverse sobre el arco BC con 2° de velocidad. Tomemos ahora la elasticidad en consideracion: la fuerza elástica con que obran las bolas una sobre otra en el primer momento es de 6° , despues aumenta en 2° en virtud de la division de la velocidad 4° que quedaron á la bola m' . Luego las dos bolas obran realmente una sobre otra con una fuerza de 8° de velocidad. Segun esto la bola m es solicitada á subir 8° sobre el arco BC; pero como posee ya 2° en este sentido, es claro que debe subir hasta 10° . La bola m está solicitada en virtud de la fuerza elástica á subir 8° sobre BD; pero como posee dos de velocidad en sentido contrario, seguramente que no recorrerá sobre este arco sino solos 6° .

242. *Si las dos bolas son iguales y la una está en reposo, la bola chocante quedará en reposo despues del choque, y la chocada adquirirá toda la velocidad que la primera poseía. Si se eleva, por ejemplo, la bola chocante á 10° , y se abandona á sí misma, se la verá despues del choque quedar en cero, mientras que la bola chocada recorrerá 10° .*

En este caso la bola chocante encontrando á la bola quieta, reparte desde luego su velocidad con ella, de suerte que las dos podrán moverse con una velocidad de 5° . Pero esta particion de velocidad determina en cada cuerpo una fuerza elástica de 5° , de donde se sigue que la bola chocante debe retroceder con 5° de velocidad; pero como posee otros tantos en sentido contrario, debe quedarse en reposo mientras que la bola chocada adquiere por la accion de la elasticidad 5° de velocidad, que añadidos á los otros 5° que posee en virtud del repartimiento, forman los 10° que tenia la bola chocante.

Este efecto se presenta muy á menudo en el juego de billar, donde la bola chocante queda muchas veces en el lugar de la bola chocada.

Siendo la masa del cuerpo en reposo doble de la masa chocante. — Supongamos esta masa elevada á 6° , y veremos que despues del choque retrocederá 2° , y la bola chocada irá 4° mas adelante. En este caso, el primer efecto del choque es reunir los dos móviles: la velocidad 6 se halla entonces dividida en una masa de 3, y resulta para esta masa una velocidad 2. La fuerza elástica con que los móviles obran uno sobre otro está determinada por la pérdida de 4° de velocidad, lo cual obliga á la bola

chocante á retroceder con una velocidad de 4° ; pero como tenia una velocidad 2 en sentido contrario, no podrá retroceder sino solo 2° . La bola chocada que tiene una masa doble, no adquiere por la misma fuerza elástica sino una velocidad 2° , que añadida á la que posee forma un valor 4° .

Si la masa en reposo es sumamente resistente, el cuerpo chocante perderá desde luego sobre ella toda su velocidad, y retrocederá en seguida con una velocidad igual á la que traía.

243. *Si las bolas se mueven en el mismo sentido con velocidades desiguales, y de modo que puedan encontrarse, habrá tambien cambio de velocidad en el momento del choque. Si se elevan las dos bolas m y m' de un mismo lado de cero, la primera á 6° y la segunda á 10° , se verá que despues del choque la bola m recorrerá 10° hácia adelante, y la bola m' recorrerá 6° . Veamos como esto sucede: el primer efecto del choque es reunir las masas en una sola, cuya velocidad es 8; de consiguiente la bola m tiene 2° de velocidad, y la bola m' pierde otros dos; pero el efecto de la elasticidad es dar á m' 2° de velocidad retrógrada, que rebajados de los 8 que posee de antemano, no la dejan mas que 6. La bola m adquiere 2° de velocidad hácia adelante, que añadidos á los 8 que posee forman 10° .*

SEGUNDO CASO.

224. Es esencial en la práctica tomar en consideracion el tiempo que ciertos cuerpos emplean en desfigurarse y volver á su estado natural: de otro modo se podria caer en errores muy graves

que no han podido evitar en el primer momento los mayores géometras. Existen en las artes y en los usos de la vida una multitud de efectos, que sería imposible poder comprender sin esta consideración.

Experimentos. — Para hacer los experimentos relativos á este objeto, tomaremos bolas de marfil cubiertas con goma elástica. Después de disponer como en los experimentos anteriores (240) un plano inmóvil é inflexible en el cero de la escala, elévese una de las bolas á 10° , y se verá que después del choque no subirá sino de 4 á 5° . Esta diferencia proviene únicamente de que la goma elástica pertenece á los cuerpos elásticos de segunda especie (185), cuyas mudanzas de forma no se verifican instantáneamente sino en un tiempo mas ó menos considerable. Resulta que en el experimento precedente el cuerpo chocante es rechazado antes de haber perdido toda su velocidad, ó antes de haber desplegado contra el plano toda la fuerza elástica de que sería capaz en virtud de la velocidad que ha perdido. En uno y otro caso la velocidad retrógrada no puede ser igual á la velocidad impulsiva.

Se pueden repetir con estas bolas de marfil cubiertas de goma elástica todos los experimentos referidos en el primer caso del choque de los cuerpos elásticos; pero se obtendrán siempre resultados muy diferentes de los que hemos descrito. Es imposible someterlos al cálculo, porque sería preciso poder apreciar exactamente el tiempo que los cuerpos emplean en desfigurarse al momento del choque, y en restablecerse en virtud de su elasticidad.

245. *Explicacion de diversas circunstancias que se presentan habitualmente.* — En los usos de la vida se hallan una multitud de efectos que es facil concebir, teniendo en consideracion el tiempo que los cuerpos emplean en mudar y recobrar su forma. Por ejemplo, todo el mundo sabe que una taza de porcelana, un vaso, &c. se rompe al caer de una altura pequeña sobre el piso de un aposento embaldosado, mientras que esto no se verifica con tanta frecuencia cayendo sobre otro de madera: se sabe tambien que se pueden arrojar estas vasijas desde una altura considerable sobre un monton de paja sin romperse. Todo esto es facil concebir. En el primer caso, los cuerpos chocante y chocado pertenecen á la clase de los que poseen la elasticidad de primera especie (185), y toda la velocidad se pierde en un instante infinitamente pequeño; de lo que resulta al momento del choque una presion considerable entre los dos cuerpos. En los otros casos, y sobre todo en el último, sucede lo contrario, pues no poseyendo el cuerpo chocado mas que la elasticidad de segunda especie, la velocidad del móvil no se pierde sino poco á poco, dividiéndose de este modo el efecto del choque en muchos instantes sucesivos.

Se sabe igualmente que batiendo un pedazo de metal sobre un yunque se logra forjarle á arbitrio, produciendo cada martillazo un efecto sensible; pero si se colocase un muelle entre el yunque y el metal, apenas dejará el martillo la mas leve impresion sobre el metal. Esto nace de que el yunque en el primer caso cede instantáneamente y se restablece lo mismo: de suerte que la velocidad del martillo se pierde en un solo instante, y

por consiguiente la presión que resulta produce un efecto visible. Al contrario, en el segundo caso el muelle cede poco á poco á la velocidad del martillo, la que no se pierde sino en una série de instantes sucesivos.

Se sabe tambien que no se puede forjar un metal sobre un tajo de madera, ó con un martillo de esta clase, porque esta sustancia no se comprime sino poco á poco.

Varios obreros como los tiradores, plateros, &c. que trabajan en sus cuartos, donde están obligados á forjar metales, conmovieran considerablemente los pisos si no hubiesen hallado un medio de *amortiguar* los golpes, colocando debajo de los tajos que sostienen los yunques paja ú otro cuerpo que ño cede sino poco á poco.

Todos los forjadores saben que para forjar los metales es necesario que el yunque sea muy pesado, y que esté colocado sobre un piso muy sólido. Efectivamente, en este caso la fuerza del golpe se despliega instantáneamente sobre el cuerpo. Si el yunque fuese ligero, ó estuviese colocado sobre un piso que se comprimiese lentamente, la fuerza del golpe no se desplegaría sino sucesivamente.

246. *Efectos análogos independientes de la elasticidad.* — Existen otros efectos que son independientes de la elasticidad, pero que en el fondo se acercan á los precedentes. Por ejemplo, todo el mundo sabe que un barco se estrella cuando llega á chocar contra una roca ó contra los pilares de un puente, mientras que el mismo accidente no se verifica cuando llega á chocar con otro barco, y consiste que en el primer caso no cediendo el obstáculo sensiblemente, el móvil pierde su velocidad

instantáneamente, mientras que en el segundo solo la pierde poco á poco.

Nadie ignora que para detener en su caída un cuerpo de cierto peso, es preciso ceder algo al movimiento del choque, en lugar de oponerse repentinamente á su impulso: una especie de instinto nos hace emplear este procedimiento para detener con la mano un cuerpo de algun peso caido de cierta altura.

Los barqueros saben que para detener por medio de una cuerda una barca arrebatada por la corriente de un rio, es preciso dejarla correr un poco para vencer el esfuerzo por grados. Sin esta precaucion se expondrían á romper la cuerda.

Las fortificaciones de campaña que se construyen con una especie de cestos cilindricos sin fondo que se llaman *gabiones*, colocados unos al lado de otros, y que se llenan despues de tierra, resisten en algun modo con mayor energía á la accion de los proyectiles tirados contra ellas que una construccion de fábrica. Esto proviene de que cediendo la tierra fácilmente al choque, deja al proyectil introducirse en ella, y perder poco á poco su velocidad; mientras que la fábrica, oponiéndose enteramente al choque, hace perder al proyectil toda su velocidad en un instante, de donde resulta una enorme presion.

Sin embargo, como el macizo de tierra se halla muy pronto lleno de agujeros, y desde luego se hunde por sí mismo, es preciso que las fortificaciones permanentes tengan revestimientos de piedra. Seria muy útil poder cubrir este revestimiento con un terraplen en caso de ataque, lo cual se logra algunas veces por medio de sacos de tierra.

ARTÍCULO III.

Del choque excéntrico.

247. Cuando un cuerpo esférico ductil cae oblicuamente sobre un plano CD (fig. 66), se puede descomponer su velocidad en dos; una perpendicular al plano, y otra paralela. Es evidente que chocando el cuerpo sobre el plano, el móvil A pierde su velocidad perpendicular; pero conserva la velocidad paralela con la cual resbala de B hasta D.

248. Si el cuerpo A encuentra un cuerpo esférico móvil en una direccion que no pase por su centro de inercia, se puede descomponer su velocidad en dos; una que pase por el centro de inercia del cuerpo chocado, y otra perpendicular á la primera. Se determina el efecto del choque no tomando en consideracion mas que las velocidades que obran sobre la misma recta; pero despues se combina la velocidad que conserva el cuerpo chocante con la velocidad perpendicular para conocer su direccion despues del choque.

249. Si un cuerpo elástico esférico llega á chocar con un plano en una direccion oblicua AB (figura 67), es rechazado ó reflejado segun la direccion BC, haciendo el ángulo $DBC = EBA$. El primero de los ángulos se llama *ángulo de reflexion*, y el segundo *ángulo de incidencia*.

Este efecto es facil de concebir suponiendo la velocidad del cuerpo A descompuesta en dos: una perpendicular al plano, y la otra paralela. En el momento del choque en B, la velocidad perpen-

dicular será desde luego destruida, y el cuerpo procurará moverse segun BD con la velocidad paralela; pero la elasticidad determina en el móvil una velocidad perpendicular igual y contraria á la que ha perdido, y esta velocidad combinada con la velocidad paralela le hace describir la diagonal BC.

250. Si el cuerpo chocante en vez de caer sobre un plano cae sobre una superficie curva (figuras 68 y 69), será preciso mirar al punto de contacto como un plano sumamente pequeño, tirar la normal BF á este punto, y hacer $FBD = FBA$; la línea BD será la direccion del cuerpo.

251. Supongamos ahora que el cuerpo chocado B sea una esfera móvil (fig. 70), y que el cuerpo A se dirija de modo que la direccion de su movimiento no pase por el centro. Cuando A haya llegado á A' se podrá descomponer su velocidad en dos; una segun DA' que pasará por el centro del cuerpo chocado, y la otra CA' á ángulo recto de la primera, y que no podrá influir en nada sobre la velocidad de B. Si las bolas A y B son de la misma masa la primera quedará en reposo, y la segunda adquirirá toda su velocidad con la cual se dirigirá hácia F; pero la bola A solicitada por cierta velocidad segun CA' se dirigirá hácia A'E.

Estos efectos lo mismo que los anteriores (242) se presentan continuamente en el juego de billar, pero van acompañados de diversas circunstancias que provienen del rozamiento de las bolas entre sí ó con el paño. Asi es que muchas veces sucede que la bola chocante quedando poco mas ó menos en el lugar de la bola chocada, se halla animada

de un movimiento rápido de rotacion al rededor de un eje perpendicular al plano de la mesa, lo que nace de que no habiéndose encontrado exactamente los centros de las dos bolas en la direccion del movimiento, los dos cuerpos han resbalado con rozamiento uno sobre otro en el momento del choque. Sucede tambien algunas veces que la bola chocante rueda despues del choque sobre el plano de la mesa girando sobre un eje horizontal: este efecto es debido al rozamiento de la bola sobre el paño. Estos dos efectos pueden tambien algunas veces provenir de que el jugador no haya tomado su bola de lleno como se hace muchas veces á propósito. Se han imaginado medios para dar arbitrariamente á la bola todos los movimientos de rotacion que se desean, á fin de poder ejecutar una multitud de golpes que serian imposibles de otro modo. Basta para esto guarnecer la extremidad del taco con una rodaja de cuero que se unta algunas veces con creta, lo que impide al taco resbalar sobre la bola cuando se la toma ex-céntricamente. Por esta sola adicion el juego del billar se hace mucho mas complicado, pero tambien mas interesante por la variedad de los golpes que se pueden ejecutar, y las especies de paradojas estáticas que pueden originarse.

Si la bola B tiene una masa doble de A, la primera se dirigirá hácia F con los dos tercios de la velocidad que A posee segun DA' ; y la segunda retrocederá con cinco tercios de su velocidad primitiva. Esta velocidad combinada con la que se verifica segun CA' , hará recorrer al cuerpo A cierta diagonal AG.

ARTÍCULO IV.

Choque de los cuerpos de forma cualquiera.

252. *Supongamos desde luego que la normal al punto de contacto de ambos cuerpos pase por sus dos centros de inercia (fig. 71), y que esta línea sea la dirección del movimiento. Es evidente que todo lo que hemos dicho relativamente á los cuerpos esféricos, ya sean ductiles ya elásticos, se aplicará punto por punto al caso presente. Pasando siempre la normal á los puntos de contacto por los centros de inercia, si el movimiento no está dirigido según esta línea, será preciso descomponer la velocidad del cuerpo chocante en dos: una según la normal, y otra perpendicular á su dirección, y se determinarán en seguida las circunstancias del movimiento después del choque, lo mismo que se ha hecho en los casos anteriores.*

Si la normal á los puntos de contacto pasa solamente por el centro de inercia de uno de los cuerpos, v. gr. el cuerpo A (fig. 72) sin pasar por el centro del cuerpo B, este adquirirá á la vez un movimiento de traslación y otro de rotación; pero el cuerpo A no tomará ningún movimiento de rotación, y si le poseía primordialmente no será alterado por el choque. Si el cuerpo B posee de antemano un movimiento de rotación será alterado por el choque; pero en algunos casos solo podrá serlo en su velocidad.

Si la normal no pasa por el centro de inercia de ninguno de los cuerpos (fig. 73), ambos adquirirán un movimiento de rotación por su choque mútuo.

ARTÍCULO V.

Choque simultáneo de cierto número de cuerpos esféricos homogéneos.

253. *Supongamos una serie de esferas elásticas iguales, cuyos centros esten colocados en el mismo arco del círculo (fig. 74).* Si se eleva la bola *a* cierto número de grados y se la deja caer, se verá la última bola *b* describir hácia adelante un arco igual al que la bola *a* ha recorrido al descender, y esta con todas las demas intermedias quedarán en reposo. Este efecto nace de que las bolas no estan en inmediato contacto. La segunda bola se apodera de toda la velocidad de la primera *a* que se queda en reposo: en seguida va á chocar con la tercera, que á su vez se apodera de toda su velocidad: la tercera comunica todo su movimiento á la cuarta, y así sucesivamente hasta la última, que no encontrando ningun obstáculo se dirige hácia adelante. El movimiento se propaga así sucesivamente de una bola á otra, cualquiera que sea su número. El tiempo empleado en esta comunicacion de movimientos es inapreciable si hay pocas bolas; pero si el número de ellas fuese bastante considerable se podrá evaluar.

Si se levantan dos bolas á la vez en el extremo *a*, se verá separarse despues del choque otras dos en el extremo *b*; pero se nota que las dos bolas del extremo *b* se destacan una despues de otra, de suerte que la primera principia á caer, antes de que la segunda haya llegado á la altura máxima á que debe llegar. Este nace de que las dos

bolas chocantes no llegan al mismo tiempo al conjunto de las bolas chocadas, sino una despues de otra con muy corto inté valo en verdad, pero lo bastante para que cada una produzca su efecto aisladamente.

Del mismo modo se pueden elevar tres ó cuatro bolas en uno de los extremos, y despues del choque se verán tres ó cuatro bolas destacarse por el otro; pero cuando el número de bolas que se levantan es mayor, es menester cierta destreza para que salga bien el experimento, no dejando caer las bolas sino con cierto intévalo.

ARTÍCULO VI.

Observaciones sobre el choque de los cuerpos.

254. Para no interrumpir la serie de experimentos, no hemos citado algunos resultados del cálculo, que sin embargo deben conocerse.

Se demuestra en las obras de mecánica que cuando un número cualquiera de cuerpos, ya sean ductiles ó ya elásticos, llegan á chocarse de un modo cualquiera, la velocidad de su centro comun de gravedad es la misma antes y despues del choque. Este resultado que se demuestra en un sistema de cuerpos cualquiera, es conocido en mecánica con el nombre de *principio de la conservación del movimiento en el centro de gravedad.*

En todas las cuestiones de dinámica en que se quieren evaluar las acciones que diferentes cuerpos en movimiento ejercen entre sí, se halla en los cálculos la expresion mv^2 , es decir, la masa multiplicada por el cuadrado de la velocidad. Esta expresion

sion que tiene analogía con la *mv* que representa la cantidad de movimiento de un cuerpo, y por la cual se mide la fuerza que solicita á un cuerpo (66) es lo que se llama *fuerza viva*.

Se demuestra que cuando cuerpos ductiles ó imperfectamente elásticos llegan á chocar, ó hablando mas en general, cuando el movimiento de un sistema cualquiera de cuerpos experimenta una mudanza repentina, siempre hay disminucion en la suma de las *fuerzas vivas*.

Al contrario, en el caso de los cuerpos perfectamente elásticos, se demuestra que la suma de las *fuerzas vivas* no experimentan ninguna mudanza, es decir, que es constantemente la misma antes y despues del choque. Este gran teorema de mecánica es conocido bajo el nombre de *principio de la conservacion de las fuerzas vivas*.

Para que una máquina pudiese mantener constante y uniformemente el movimiento de un sistema de cuerpos, sería preciso que se pudiese evitar toda pérdida de fuerzas. Para esto sería preciso evitar los choques entre los cuerpos que no fuesen perfectamente elásticos, ó que no se comprimiesen instantáneamente: sería preciso tambien hacer nullos los rozamientos y las resistencias de los medios, todo lo cual es imposible en la práctica.

Partiendo del principio de la conservacion de las *fuerzas vivas* en el choque de los cuerpos elásticos, es como se puede caer casi infaliblemente en errores muy graves, si no se tienen en consideracion las diferencias que presentan los cuerpos que se desfiguran y recobran instantáneamente su forma, de los que no se desfiguran ni restablecen en su forma sino con lentitud.

CAPÍTULO XIV.

Rozamiento.

256. Las superficies de los cuerpos estan llenas de asperezas irregulares mas ó menos elevadas, de lo cual no están exentas ni aun las superficies mejor pulimentadas.

Quando se aplican dos cuerpos uno sobre otro, y se oprimen mutuamente, hay siempre ciertas asperezas de uno que engranan en las cavidades del otro, de lo que resulta una resistencia al movimiento la cual recibe el nombre de *rozamiento*.

Ejemplos y ventajas del rozamiento.— Tenemos continuamente á la vista ejemplos de la influencia y ventajas del rozamiento en los usos comunes de la vida. Sin esta especie de resistencia, nuestra marcha y la de los animales seria sumamente dificil y poco estable. En efecto, nadie ignora lo dificil que es andar sobre el hielo y en aposentos cuyos pisos estan bien lisos; el subir ó bajar por una colina cubierta de yerba fina y seca, &c. El rozamiento es el que facilita el uso de los diversos instrumentos que diariamente manejamos, pues se escaparían de nuestras manos al mas mínimo esfuerzo si esta resistencia fuese nula.

Aun en las artes se saca gran partido del rozamiento para muchos usos. Sirve constantemente, por ejemplo, para desgastar los diferentes cuerpos unos con otros, y darles por este medio las formas que se desean. Asi es como se emplean las limas y las sierras para labrar las maderas, piedras y me-

tales; y así tambien se emplean piedras de diversa naturaleza y polvos de diversos géneros para adelgazar, ablandar, y pulimentar los metales y otras sustancias. Se ha sacado tambien un partido ventajoso del rozamiento en diversas máquinas destinadas á equilibrar varias fuerzas, y aun tambien en algunas ocasiones para reemplazar los engranages.

257. *Inconvenientes del rozamiento.* — Si en ciertas circunstancias pueden obtenerse ventajas del rozamiento, hay otras en que esta especie de resistencia es un inconveniente real y verdadero. Esto es lo que sucede siempre que se trata de mover un cuerpo de un punto á otro, porque entonces el rozamiento destruye parte de la fuerza empleada. Así es que en todas las máquinas destinadas á conservar ó trasmitir el movimiento, se procurará atenuar todo lo posible el rozamiento. Tambien es el rozamiento el que ocasiona la destruccion de todos los objetos de que nos servimos habitualmente; aun los cuerpos mas sólidos no resisten á un uso continuado: así es que en las escaleras muy frecuentadas, los escalones, ya sean de madera, de mármol, granito ó jaspe, se ven muy usados y desgastados, presentando huellas muy profundas: así es tambien como las diversas partes de las máquinas se gastan continuamente hasta hacerse inservibles por el mútuo rozamiento. Aun las mas pequeñas causas concluyen á la larga por dejar señales muy sensibles del uso. Se asegura que los pies de la estatua de san Pedro en la iglesia del mismo nombre en Roma se han desgastado por solo el rozamiento de los labios de los fieles, que rinden su homenaje de veneracion al primer gefe de la Iglesia.

258. *Se distinguen dos especies de rozamiento.*

Se llama *rozamiento de la primera especie* el que se manifiesta cuando un cuerpo está obligado á resbalar sobre otro, presentándole siempre los mismos puntos. Si es un cuerpo duro el que resbala sobre otro mas blando, las asperezas del primero arañan la superficie del segundo. Si los cuerpos son poco mas ó menos de la misma dureza, es menester que las asperezas se quiebren por su choque mútuo, ó que el cuerpo móvil dé saltos sucesivos para pasar de unas asperezas á otras.

Se llama *rozamiento de la segunda especie* el que se verifica cuando un cuerpo rueda sobre otro, presentándole sucesivamente los diferentes puntos de su superficie. Esta especie de rozamiento es mucho menos considerable que la otra, porque el movimiento de rotacion contribuye á desprender el cuerpo que rueda, de las asperezas del otro, lo cual se verifica en cierto modo desengranándose como los dientes de dos ruedas.

259. *Ejemplo de ambas especies de rozamiento.*— En los gabinetes de Física existen máquinas propias para demostrar que el rozamiento de la primera especie opone mas obstáculo al movimiento que el de la segunda; pero tenemos á la vista bastantes ejemplos para que sea preciso hacer directamente experimentos que comprueben este aserto.

Se sabe, por ejemplo, que para trasladar una masa grande de piedra se colocan debajo rodillos de madera, y entonces es infinitamente mas facil moverla que si descansase enteramente sobre el terreno en toda su base. Se cambia por este medio el rozamiento de primera especie en el de segunda. Tambien se sabe que los muebles que giran sobre ruedecillas, pueden moverse con mayor fa-

cilidad que los que reposan simplemente sobre pies.

Todo el mundo sabe que al bajar una cuesta todo carruage, tienen los carreteros cuidado de impedir que las ruedas giren sobre sus ejes calzándolas de varios modos. Con esta operacion logran cambiar el rozamiento de la segunda especie en el de la primera, disminuyendo asi mucho la velocidad que se haria muy considerable al bajar, y aun correria el carruage peligro de precipitarse. Unas veces se atan simplemente los rayos de las ruedas; otras se les pone junto al cubo una barra ó un madero que no le deja girar; y otras se aplica á la llanta un pedazo de hierro que llaman *galga* ó *calza*; pero siempre se logra el mismo resultado.

260. *Valuacion de los rozamientos.*—Siendo esencial tener en consideracion los rozamientos cuando se quieren aplicar á la práctica las leyes del equilibrio y movimiento de los cuerpos, es necesario saber valuar los efectos que puede producir esta resistencia, para lo cual es la experiencia la única que nos puede ilustrar.

Se sabe (94) que un cuerpo pesado colocado sobre un plano inclinado, no puede permanecer en equilibrio. Si llega el caso que este equilibrio se verifique, será forzoso convenir en que el rozamiento destruye la accion de la componente paralela que solicita el cuerpo á bajar. Quanto mas considerable sea el rozamiento, mas inclinado podrá estar el plano sin que el equilibrio se rompa: de suerte que se puede juzgar del rozamiento por el ángulo de inclinacion del plano en el instante en que este equilibrio principie á romperse, instante que es preciso calcular todo lo mas exactamente que sea posible. Se demuestra que el rozamiento

es igual á la tangente del ángulo de inclinacion del plano: de suerte que siendo x este ángulo, y R el rozamiento, se tiene $R = \text{tang. } x$. El ángulo x toma el nombre de *ángulo de rozamiento*.

Procediendo de este modo se observan los fenómenos siguientes:

1.º Que cuanto mejor pulimentadas estan las superficies, tanto menor es el ángulo de rozamiento: luego este es tanto menos considerable quanto mas pulimentadas estan las superficies de contacto. Por esta razon los artistas tienen siempre cuidado de pulimentar las diferentes piezas que deben sufrir rozamiento en las máquinas. Los diferentes grados de dureza de los cuerpos, y el estado de agregación de sus partículas, influyen mucho sobre el grado de perfeccion del pulimento: de suerte que estas diferentes causas influyen tambien mucho en la intensidad del rozamiento. En los relojes que estan contruidos con muchísimo cuidado, como los cronómetros, los ejes de acero giran sobre escapes de diamante, rubí ú otra piedra dura, porque siendo estos cuerpos susceptibles de un pulimento muy vivo, estan menos expuestos al rozamiento, y tambien porque su dureza impide ensancharse al agujerito del eje.

2.º Se reconoce por la experiencia que en igualdad sensible de pulimento, el ángulo de rozamiento varía mucho segun la naturaleza de los cuerpos en contacto, y que en general dos cuerpos de naturaleza diferente experimentan menos rozamiento resbalando uno sobre otro, que dos cuerpos de la misma naturaleza. Por esta razon se hacen comunmente mover los ejes de los coches en cubos de metal.

3.º Que el ángulo de rozamiento es independiente del peso del cuerpo, es decir, que siendo las superficies frotantes iguales, un cuerpo de diez libras, por ejemplo, se mantiene en equilibrio sobre un plano inclinado lo mismo que un cuerpo de una libra; de donde es preciso deducir que el rozamiento aumenta proporcionalmente á la presión que las superficies frotantes ejercen entre sí.

4.º Que para un cuerpo determinado de peso constante, el ángulo de rozamiento no varia sensiblemente aunque se haga variar la extension de la superficie frotante.

5.º Que untando el plano con jabon, plumbagina, aceite, grasa, &c. disminuye considerablemente el rozamiento como lo demuestra la experiencia diaria. Se halla tambien que la naturaleza de la untura influye mucho en los resultados: una untura disminuye el rozamiento entre tal ó tal cuerpo, y no le disminuye, ó tal vez le aumenta entre tal ó tal otro. Ya es una accion química la que produce este último efecto, ó ya una accion puramente mecánica. Cuando los cuerpos son blandos, se forma prontamente un barro espeso que al momento se opone eficazmente al movimiento: con el tiempo sucede lo mismo en todos los cuerpos.

Parece que el efecto de algunas unturas, tales como las de jabon, plumbagina, &c. es llenar las desigualdades de los cuerpos; pero respecto á los aceites y grasas parece que ademas de esto, á causa de la facilidad con que las partículas de estas sustancias mudan de lugar, se cambia de algun modo el rozamiento de primera especie en rozamiento de segunda.

CAPÍTULO XV.

Movimientos vibratorios de los cuerpos sólidos, ó primer principio de Acústica.

ARTÍCULO PRIMERO.

Consideraciones generales.

261. Cuando una varilla de materia elástica rígida A (fig. 75) fija por uno de sus extremos, se separa por una causa cualquiera de la posición en que está en equilibrio, se la ve moverse rápidamente al modo que un péndulo, oscilando de una á otra parte de su posición fija. Lo mismo se verifica en una cuerda tirante por sus dos extremos (fig. 76), que despues de haberla apartado de su posición de equilibrio, se mueve rápidamente entre los puntos C y D. Estas especies de movimientos toman el nombre de *vibraciones*, nombre que deberia mas bien aplicarse á los movimientos moleculares, que á las inflexiones que resultan de ellos.

262. *Sonido producido por los cuerpos vibrantes.* — La experiencia demuestra que, cuando un cuerpo elástico de aquellos cuyas mudanzas de forma se verifican en un tiempo muy corto hace vibraciones regulares con cierta velocidad, produce un sonido que es tanto mas agudo cuanto mayor es dicha velocidad. Recíprocamente, siempre que un cuerpo da un sonido, sus partículas poseen un movimiento de vibración mas ó menos

rápido. Esto se hace visible en una cuerda de violín ó de clave que se ha pulsado para hacerla resonar. Si la vista no puede percibir estas vibraciones como en una campana de vidrio, por ejemplo, que se ha golpeado para hacerla producir un sonido, basta para convencerse de su existencia aplicar la mano sobre el cuerpo, pues entonces se siente una conmoción particular que cesa en el instante mismo del contacto, cesando al mismo tiempo el sonido.

Los movimientos vibratorios se manifiestan también de un modo muy sensible en las varillas ó placas de materia rígida como vidrio, cobre, &c. que se hacen resonar por un medio cualquiera. Basta para notarlos cubrir la placa ó varilla con arena fina, pues al momento que se principia á hacerles producir un sonido se vé la arena saltar en su superficie, si las vibraciones se ejecutan en una dirección normal á esta superficie, ó correr con rapidez en sentido de la longitud ó latitud si las vibraciones se ejecutan en una ú otra de estas direcciones. Estas diferencias provienen del modo de conmover al cuerpo. Ultimamente el movimiento vibratorio se manifiesta de un modo aun mas sensible, puesto que si para hacer producir un sonido á una lámina de vidrio se la conmueve demasiado fuertemente, se rompe con la mayor facilidad. Parece que la repetición de los mismos movimientos produce mudanzas en las disposiciones de las moléculas de los cuerpos, porque despues de haber hecho vibrar un cuerpo cierto número de veces, se nota que vibra con mayor facilidad.

Solo los cuerpos elásticos de la primera especie (285) son susceptibles de producir sonidos por sus

vibraciones. Esta especie de elasticidad puede ser inherente á los cuerpos, ó adquirida por la tension, como se verifica en las cuerdas de violin, de guitarra, clave, &c.

Los cuerpos elásticos de la segunda especie no son susceptibles de producir sonidos, porque el regreso de las partes desalojadas á su posicion natural se hace con mucha lentitud. Cuando un cuerpo sonoro, como una campana de vidrio, por ejemplo, se cubre con una tela espesa, no produce ningun sonido. Un tambor cubierto con un crespon fúnebre no produce sino un sonido muy sordo.

263. *Sonido y ruido.* — Todo el mundo hace una distincion entre el sonido y el ruido. El sonido se verifica cuando las vibraciones del cuerpo que le producen continuan cierto tiempo, y las oscilaciones sucesivas son isocronas, de suerte que el oido distingue, por decirlo asi, una serie de golpecitos tales que producen en él una misma sensacion aunque disminuyendo sucesivamente de intensidad. Al contrario, cuando la vibracion se termina repentinamente, el oido no distingue mas que ruido, lo que sucede por ejemplo en la explosion de una arma de fuego. El oido espera, por decirlo asi, la continuacion de la vibracion. Del mismo modo cuando en un cuerpo las vibraciones sucesivas son irregulares, distingue el oido una serie de golpecillos que producen sobre él sensaciones diferentes, cuya mezcla le afecta desagradablemente. Esto es lo que produce una serie de sonidos de los cuales cada uno sea muy puro en particular, pero que no tengan entre sí ninguna relacion.

En ciertos casos en que los sonidos producidos por diversos instrumentos tienen relaciones bien

marcadas, pero se suceden demasiado precipitadamente, el oído no puede distinguirlos, y solo oye una mezcla confusa que califica de ruido. Sucede muchas veces que en un concierto no se oye sino ruido cuando se está demasiado cerca de la orquesta, mientras que á cierta distancia se perciben distintamente los sonidos y el oído se halla afectado de un modo agradable.

264. *Intensidad del sonido.*—La intensidad del sonido depende de la extensión del cuerpo sonoro, de la amplitud de sus vibraciones y del número de cuerpos que vibran con él. Se puede notar la influencia de la amplitud de las vibraciones en una cuerda que se pulsa y se abandona á sí misma, pues en el primer momento se ve á esta cuerda hacer grandes vibraciones, y entonces el sonido es mas intenso; disminuye sucesivamente de intensidad á medida que las amplitudes de las vibraciones se hacen sucesivamente mas pequeñas.

Cuando un cuerpo puede hacer vibrar con él ó al unísono á los cuerpos con quien está en contacto, la intensidad del sonido aumenta tambien. Por ejemplo, si se tiene en una mano un diapason y se le hace vibrar, apenas se observará un sonido apreciable, y lo mismo sucede si se le coloca sobre un cuerpo blando; pero si se pone sobre un cuerpo sonoro capaz de vibrar con él, la intensidad del sonido se hace muy grande. Una cuerda de instrumento que esté simplemente tendida al aire libre produce un sonido poco intenso; pero si está colocada sobre una caja sonora, como un violin, clave ó guitarra cuyas paredes vibran al mismo tiempo que ella, produce un sonido de una intensidad notable.

Tambien se puede juzgar la intensidad de un sonido mayor ó menor segun el silencio es mas ó menos profundo. Todo el mundo ha podido notar que el ruido que siempre hay en los parages mas transitados de las grandes poblaciones, es mucho mas intenso durante la noche que por el dia.

265. *Clases varias de vibraciones.*—Aunque todas las vibraciones que se pueden producir en un cuerpo se enlazan unas con otras, como que no dependen sino del modo con que se conmueve al cuerpo respecto de sus dimensiones, con todo es necesaria su clasificacion para estudiarlas. Admitense pues generalmente *vibraciones normales*, *vibraciones tangenciales*, que pueden ser *longitudinales* y *trasversales* ú *oblicuas*, y *vibraciones circulares*. Las primeras se manifiestan de un modo muy notable en las placas de vidrio ú otra materia rígida. Basta pasar un arco de violin por las orillas de una de estas placas, esp. voreada con arena fina, para que las partículas de esta materia salten por la superficie y vayan á colocarse bajo tal ó cual figura segun el modo con que se hace vibrar la placa. Las vibraciones *tangenciales* se verifican siempre que se produce un choque sobre el lado de una placa análoga; son *longitudinales* ó *trasversales* segun el choque se verifica en su lado mas estrecho ó mas ancho. En este caso la arena con que se polvorea la lámina no salta como en las vibraciones *normales*, sino que resbala por la superficie para colocarse en diferentes líneas. Por último, las *vibraciones circulares* se verifican cuando se frota una varilla rígida volviéndola sobre sí misma: no pueden distinguirse sino por los sonidos que producen.

ARTÍCULO II.

*Vibraciones normales.*A. *Vibraciones normales de las cuerdas tirantes.*

266. *Consideraciones geométricas.* — El problema de las cuerdas vibrantes ha ejercitado la sagacidad de los mayores geómetras: Euler, Lagrange, D'Alembert y Daniel Bernoulli le han examinado en diferentes ocasiones. Este problema consiste en determinar la forma y movimiento de la cuerda en cualquier instante de la vibracion.

Se demuestra por el análisis:

1.º Que en las cuerdas del mismo diámetro, y tension, las vibraciones verificadas en un tiempo dado, están en razon inversa de las longitudes.

2.º Que en igualdad de longitud y tension, las vibraciones están en razon inversa de los diámetros.

3.º En fin, que bajo el mismo diámetro y la misma longitud las vibraciones están en razon directa de las raices cuadradas de los pesos que sostienen las cuerdas.

267. *Resultado de la experiencia.* — Se demuestra por la experiencia que en el primer caso los sonidos están en razon inversa de las longitudes: que en el segundo están en razon inversa de los diámetros; y que en el tercero están en razon directa de las raices cuadradas de los pesos que sostienen las cuerdas.

Resulta de estos experimentos que la gravedad de los sonidos sigue constantemente la misma re-

lacion que los números de vibraciones, y por consiguiente que esta parte de la física puede estudiarse completamente por medio del análisis.

En un violin las cuerdas son de diferentes diámetros, y además aplicando los dedos mas ó menos cerca del puente se acortan mas ó menos las cuerdas variando y multiplicando por estos medios los diferentes sonidos de este instrumento.

Para hacer los experimentos citados se usa un instrumento llamado *Sonómetro*. Es una especie de banco (*fig. 77*), sobre el cual se disponen muchas cuerdas, á las que se dá las longitudes convenientes poniéndolas tirantes por medio de pesos. Se halla que una cuerda cuya longitud no es sino la mitad de otra, dá un sonido de doble altura; que sucede lo mismo respecto de los diámetros, y en fin que la cuerda que está tirante por un peso 4, da un sonido cuya altura es á la del sonido dado por una cuerda de igual longitud y diámetro, tirante por un peso 1, como 2 es á 1.

268. *Nodos de vibracion*.—Una cuerda puede vibrar entera ó dividida en cierto número de partes separadas entre si por puntos en los cuales son nulas las vibraciones: estos puntos toman el nombre de *nodos* de vibracion. Se reconoce su existencia por la variacion que se observa en la altura de los sonidos que producen, comparados con la de los producidos por la cuerda entera. Por ejemplo, una cuerda fija por sus dos extremos (*fig. 76*) dá un sonido de cierta altura; pero si se coloca debajo de ella un puentecillo movil (*fig. 78*) que la divide en dos partes iguales, se reconocerá que da un sonido de una altura doble, es decir, un sonido igual al que daría una cuerda cuya longitud fuese la mi-

tad de la primera. Esta circunstancia proviene de que cada una de las dos partes de la cuerda vibra separadamente como si estuviese sola y fijada sólidamente por sus extremos, como lo representa la figura 78: las dos partes dan entonces dos sonidos de la misma especie.

Si en vez de colocar el puentecillo móvil en medio de la cuerda, se coloca á su tercera ó cuarta parte (*fig. 79 y 80*), se reconocerá que el sonido producido es precisamente el mismo que da una cuerda cuya longitud es la tercera ó cuarta parte de la primitiva. Esta circunstancia nace de que la cuerda se divide en 3, 4, &c. partes separadas entre si por nodos de vibraciones, produciendo cada una el mismo sonido que si estuviesen fijas en los puntos correspondientes. La existencia de los nodos de vibracion se demuestra por un experimento visible. Para hacerle basta colocar encima de los puntos B C (*fig. 79 y 80*) donde deben hallarse dichos nodos, figuritas de papel blanco, y encima de los *vientres de vibracion* figuritas de papel pintado. Si se pasa entonces un arco sobre la cuerda las figurillas coloreadas caerán mientras que las otras al contrario permanecerán en su lugar.

Los diferentes sonidos que se obtienen de una misma cuerda por 0, 1, 2, 3, &c. nodos de vibraciones, son entre si como los números 1, 2, 3, 4, &c.

269. *No todos los movimientos de vibracion producen sonidos.* — Para que el oído pueda percibir un sonido, es menester que el cuerpo sonoro ejecute lo menos 30 ó 36 vibraciones por segundo. Esto lo demuestran todos los experimentos hechos.

hasta el día; pero es difícil probarlo inmediatamente, pues sería menester partir de una cuerda de tal longitud que se pudiesen contar sus vibraciones y acortarla sucesivamente hasta el punto donde se percibiese un sonido. Únicamente se puede observar que una cuerda muy larga no produce un sonido distinto, y que solo reduciéndose á la mitad ó á la cuarta ú octava parte es como se consigue un sonido apreciable; como el número de vibraciones, y por consiguiente los sonidos, se hallan en razón inversa de las longitudes, es claro que no se verificaba al principio mas que un pequeño número de vibraciones en cada segundo.

Asi como los sonidos mas graves no principian á oirse sino de 30 á 36 vibraciones por segundo, del mismo modo los números de vibraciones pueden hacerse tan sumamente grandes, y por consiguiente los sonidos de tal modo agudos que el oido no los pueda ya percibir. Se ha admitido durante mucho tiempo que eran necesarios de 11 á 16000 vibraciones por segundo, para que estos sonidos agudos fuesen enteramente apreciables; pero Savart ha obtenido sonidos en diversos experimentos donde el cuerpo sonoro debía ejecutar de 30 á 40000 vibraciones por segundo.

(B) *Vibraciones normales de las varas rígidas.*

270. *Ley de las vibraciones.* — La experiencia demuestra que haciendo vibrar varillas de materia rígida, tales como varillas metálicas, láminas de vidrio estrechitas, &c., de diferentes longitudes pero de igual anchura y grueso, los sonidos que se obtienen estan en razón inversa de los cuadrados

de las longitudes; de donde se sigue que los números de las vibraciones que los producen siguen entre si esta misma ley.

271. *Nodos de vibracion.* — Las varas rígidas pueden tambien vibrar enteras ó divididas por sus correspondientes nodos. Tómese, por ejemplo, una vara fijada en un tornillo por su extremo (*fig. 81*) y colóquese un puentecillo en B á una distancia del extremo libre de cerca de un tercio de la longitud total de la varilla. Si se polvorea toda la superficie con arena muy fina, y se hace vibrar este cuerpo por medio de un arco, se verá al momento ponerse la arena en movimiento, saltar en la superficie del cuerpo y reunirse en los puntos A y B que por consiguiente no tienen ningun movimiento y son nodos de vibracion. La distancia entre estos dos nodos de vibracion, ó entre un nodo y el punto fijo es poco mas ó menos doble de la distancia del extremo libre al primer nodo. Por medio de esta observacion se podrán producir tantos nodos como se quiera.

La altura de los sonidos aumenta segun el número de vibraciones; pero la serie de sonidos producidos por 0, 1, 2, 3, &c., nodos de vibracion, no es la misma que en las cuerdas vibrantes; varía segun el modo con que la vara esté fijada.

a Cuando la vara está apoyada en sus dos extremos por medio de obstáculos que la comprimen ligeramente, puede vibrar entera ó dividida por nodos de vibracion como las cuerdas; pero los sonidos que produce en vez de seguir la serie de números naturales 1, 2, 3, 4, &c., siguen la serie de los números 1, 4, 9, 16, &c., cuadrado de los primeros.

b Cuando la varilla está fijada sólidamente por los dos extremos (*fig. 82*) los sonidos, en vez de seguir la ley precedente siguen la de los números 9, 25, 49, 81, &c.

c Las varas libres en ambos extremos, es decir, apoyadas simplemente sobre puentecillos (*figura 83*) colocados de diferentes maneras para obtener mas ó menos nodos, siguen tambien la serie de los cuadrados 9, 25, 49, 81, &c.

d Cuando la vara está apoyada en una punta por medio de un cuerpo que no puede comprimir la sino ligeramente, y libre por el otro, ó que solamente está sostenida por un puentecillo, los sonidos siguen la serie de los números cuadrados 25, 81, 169, &c.

e Cuando la vara está fijada por un extremo y libre por el otro (*fig. 75*) los sonidos producidos por 1, 2, 3, &c. nodos de vibracion, son entre si como los números 9, 25, 49, 81, &c.; pero el sonido que se obtiene de la vara entera no entra en esta serie sino que está con el inmediato en la relacion de 4 á 25.

f Cuando la vara está fijada por un extremo y apoyada por el otro por un cuerpo que la comprima ligeramente, los sonidos que se obtienen por 0, 1, 2, 3, &c. nodos de vibraciones, son como los cuadrados 25, 81, 169, &c.

Tales son las leyes dadas por Euler y adoptadas por Chladni y por todos los fisicos; pero Savart ha hallado que es preciso hacer algunas correcciones, que todavía no ha publicado.

272. *Instrumentos derivados de las vibraciones de las varas rígidas.* — Las vibraciones de las varas rígidas han dado origen á varios instrumentos

de música. Tal es el organillo compuesto de láminas de vidrio ó madera dura, sostenidas por cintas que se tiene cuidado de colocar donde deben hallarse los nodos de vibracion, el cual se toca golpeando sobre las láminas sonoras; estas por la disposicion que se las da no son mas que varillas libres en sus extremos. Tal es el violin de hierro compuesto de varillas de acero de diferentes longitudes colocadas por un extremo paralelamente unas á otras sobre un bastidor circular provisto con un mango en la parte inferior y el cual se toca con un arco. Tal es tambien el *trocleon*, instrumento sumamente harmonioso que ofrece á la vez la aplicacion de todos los hechos relativos á los cuerpos rígidos. Tales son, en fin, las cajas, los sellos de música, &c.

273. *Varas curvas.* — A medida que se encorva una varilla recta, los nodos de vibracion se aproximan (*fig. 84*), y al mismo tiempo los sonidos se hacen mas graves, siendo igual el número de nodos. El modo mas sencillo de vibrar una vara curva es el que representa la *fig. 85*, en la cual no hay mas nodos que los próximos á la curvatura, y el de la *fig. 86* donde se ven cuatro nodos de vibracion. Los sonidos que se obtienen de 2, 4, 5, &c. nodos de vibraciones son entre si como los números cuadrados 4, 9, 16, &c.

Diapason. — En la vibracion de las varas curvas se funda la construccion del diapason, que no es mas que una varita de metal bastante recogida hácia el extremo de sus ramas y montada sobre su correspondiente pie. Sirve para arreglar el tono de los instrumentos de música; se hace vibrar por medio de un cilindro metálico que se introduce en el intervalo mas ancho que dejan las ramas entre si y

se saca con fuerza para hacerle pasar por los extremos. Como se conmueve la tal varilla siempre de un mismo modo, el sonido que da es siempre el mismo, y por esta razon sirve de tipo para arreglar los instrumentos músicos.

274. Una vara encorvada en forma de anillo puede tambien vibrar; pero entonces los nodos de vibraciones son siempre en número par, y por lo menos cuatro. Los sonidos que se obtienen en 4, 6, 8 nodos de vibraciones, son como los números 9, 25, 49, &c.

(C) *Vibraciones normales de las placas rígidas y membranas tirantes.*

275. Las placas de materias rígidas son susceptibles de vibrar lo mismo que las varillas. Estas especies de vibraciones fueron examinadas primero por Chladni, que ha consignado en su Acústica el detalle de sus observaciones: despues hizo Haüy varios experimentos; y por último debemos á Savart un gran número de indagaciones de las que ha publicado ya muchas. Pero, apesar de todos estos esfuerzos, esta especie de vibraciones es tan complicada, que su teoría está aun muy poco adelantada, reduciéndose todo lo que sabemos á un corto número de hechos generales.

Al vibrar las placas de materias rígidas se dividen generalmente en un cierto número de partes que vibran separadamente y dejan entre si líneas inmóviles que forman varias figuras, que pueden hacerse visibles por medio de arena fina. La posición de estas *líneas nodales*, su número y las figuras que designan varían segun la forma de estas

placas y según el modo con que se las conmueve. Savart ha comprobado en general, que en todos los cuerpos sólidos de figuras semejantes los números de vibraciones están en razón inversa de las dimensiones homólogas.

Para estudiar estas vibraciones se puede en general tener la placa rígida entre los dedos, ó bien fijarla en la parte *a* de un instrumentito en forma de tornillo (*fig.* 87), que se adapta por el otro lado á una mesa. Se pueden usar placas de vidrio, de cobre, y aun de madera, con tal que sean por todas partes del mismo grueso. Las placas de vidrio bien escogidas son las más fáciles de obtenerse y las mejores.

Se ponen estas placas en vibración por medio de un arco que se pasa perpendicularmente por una de sus orillas, y sobre poco más ó menos en medio de una de las partes vibrantes.

Seria imposible manifestar aquí los modos de vibrar de las placas de diversas formas. Se ha reconocido que para cada forma hay cierto número de sistemas de vibraciones que se distinguen por las posiciones respectivas de las líneas nodales, lo cual causa muchas variaciones, que se combinan algunas veces entre sí. Pondremos algunos ejemplos de las placas cuadradas y circulares.

Una placa cuadrada puede ofrecer:

1.º Líneas nodales en diagonal (*fig.* 88) que se producen fijando la placa en el centro, y pasando el arco por medio de uno de sus lados.

2.º Líneas nodales rectangulares (*fig.* 89) que se producen pasando el arco hácia uno de los ángulos, teniendo la placa fijada en su centro.

3.º Líneas nodales paralelas á los dos lados

(fig. 90) que se obtienen fijando la placa en *a* y pasando el arco por *b* en medio del lado: como se conoce, pueden ser mas ó menos numerosas.

4.º Líneas nodales cruzadas (fig. 91) que se obtienen fijando la placa en *a* y pasando el arco en *b*, ó fijando la placa en *a* y pasando el arco en *b* ó en *c* (fig. 92), ó (fig. 93), teniéndola en *a*, &c. Las líneas nodales diagonales pueden hallarse reunidas con las líneas rectangulares (fig. 94), para lo cual es preciso tener la placa en el centro y pasar el arco hácia *a*.

El sonido mas grave que se puede obtener de una placa cuadrada se verifica cuando vibra como fig. 89; despues va el sonido fig. 88, despues el de la fig. 91, &c.

Las placas circulares producen tambien diversos sistemas de vibraciones. Se obtienen líneas diametrales (fig. 95 y 96) fijando la placa en el centro, tocándola ligeramente en el punto por donde se quiera hacer pasar una línea nodal, y pasando el arco por medio de un vientre de vibracion: el número de radios siempre es par. Se obtienen líneas nodales circulares (fig. 97 y 98) dejando el centro libre, poniendo los dedos en *a* y *a'* sobre las líneas que se quieren obtener, y pasando el arco en *b* por la orilla. Las líneas circulares pueden estar atravesadas por diámetros (fig. 99, 100 y 101), la primera se puede obtener tocando en *a*, y pasando el arco por *b* á 90º; la segunda pasando el arco á 45º, y en general en medio de un vientre de vibracion.

276. Las membranas tirantes son susceptibles tambien de vibrar como las placas, dividiéndose en diversas líneas nodales; pero estas vibraciones no

pueden producirse sino por comunicacion, y hablaremos de ellas mas particularmente al tratar de la comunicacion de los sonidos por el intermedio del aire.

ARTÍCULO III.

Vibraciones normales secundarias.

277. Estudiando las vibraciones de los cuerpos ha reconocido Savart que, ademas de los movimientos que determinan las grandes divisiones de que acabamos de hablar, existen todavía otros íntimamente ligados á los primeros que ha nombrado *movimientos secundarios*.

Estos movimientos se hacen notar cuando se echa arena y un polvo fino, tal como el licopodio, sobre la placa que se pone en vibracion. La arena se dirige entonces á las líneas principales que hemos indicado, y el licopodio se reune para trazar otras que no se perciben de otro modo. Por ejemplo, en la vibracion de una placa cuadrada (*figura 90*) el licopodio se reune de modo que produce nuevas líneas entre las primeras señaladas con la arena, y entre las dos líneas extremas y la orilla; de suerte que hay cuatro divisiones secundarias: en las placas redondas se observa el mismo efecto. En el caso en que hay una línea circular (*fig. 97*), el licopodio se coloca de modo que manifiesta una mas cerca de la orilla, y al mismo tiempo va á reunirse al centro: si hay dos líneas (*fig. 98*) se forma una secundaria entre la orilla y la primera; otra entre las dos líneas principales, y ademas el licopodio se reune en el centro.

Cuando hay líneas diametrales (*fig. 96*) se nota que el polvillo se reúne hácia el medio de las partes vibrantes, donde se le ve animado de diversos movimientos. Si se señalan los puntos en que se halla, y despues hace vibrar la placa de modo que se formen líneas diametrales con una circular, se ve que esta línea pasa precisamente por los puntos que se han señalado y que por consiguiente eran su traza. Resulta de todas las indagaciones de Savart que el número de líneas secundarias es siempre igual al de las líneas principales mas una, cuando solo hay líneas principales en un sentido.

278. *Movimientos de rotacion de las partes vibrantes.* — Cuando vibra una lámina circular se puede conmovér un punto cualquiera de la circunferencia, sin que por esto deje de existir el mismo modo de division; solamente que, á medida que se hace variar el lugar de la conmocion, varía igualmente la posicion de las partes vibrantes, de suerte que se ven mover las líneas nodales en la superficie de la lámina. Resulta de aquí que si al mismo tiempo que se hace mover el arco se le hiciese mudar continuamente de lugar haciéndole recorrer la circunferencia, se obtendria un movimiento de rotacion de las partes vibrantes. Pero este movimiento puede tambien establecerse sin mudar de modo alguno el punto de conmocion. En efecto, si despues de haber puesto una lámina en vibracion, haciéndola producir, por ejemplo, líneas diametrales, se la abandona en seguida á sí misma, lo que no impide que el movimiento subsista algun tiempo, se ven las líneas nodales oscilar al rededor de la posicion que tenian antes; y si al mismo tiempo hay un polvo fino, los montoncillos que forma en medio de las

partes vibrantes oscilan igualmente. Si mientras duran estas oscilaciones, se toca con el arco por intervalos cortos, la amplitud de las oscilaciones se hace sucesivamente mayor, concluyéndose por establecer un movimiento de rotacion continua cuya velocidad es prodigiosa.

ARTÍCULO IV.

Vibraciones tangenciales.

279. En esta especie de vibraciones es menester concebir que las moléculas de los cuerpos oscilan en el sentido de una de las dimensiones: asi es como hemos ya dicho, que cuando se polvorea con arena fina una lámina que ejecuta estas vibraciones, se observa que resbalan en la superficie de los cuerpos en vez de saltar como en las vibraciones normales. Estas vibraciones pueden verificarse en el sentido de la longitud lo mismo que en el de la latitud, por lo que bastará examinarlas en cualquiera de ellos. Elegiremos el sentido de la longitud como que es el que puede dar movimientos mas visibles.

Estas vibraciones pueden verificarse en todos los cuerpos flexibles ó rígidos, y los primeros no necesitan estar tirantes de ningun modo. Para determinarlos basta frotar el cuerpo en el sentido de una de sus dimensiones con un cuerpo flexible untado con colofonia si es una cuerda, ó un trapo mojado si es una lámina de vidrio, &c. Tambien se puede en los cuerpos rígidos producir las por cualquier choque en uno de sus extremos, ó haciéndoles vibrar por comunicacion (284).

280. *Ley de las vibraciones.* — Los sonidos que se obtienen de un mismo cuerpo se hallan igualmente en razon inversa de las longitudes; pero es menester en los cuerpos rígidos distinguir diferentes casos segun que la varilla de esta naturaleza está fijada por un extremo ó por los dos, ó libre en ambos.

Una vara fijada por un extremo, y libre por el otro, puede vibrar entera, ó dividida por un nodo de vibracion que se halla á la tercera parte de su extremidad libre; ó por dos nodos, de los cuales uno está á la quinta parte del extremo libre, que en todo caso es el medio de un vientre de vibracion. Los sonidos que se obtienen entonces estan entre si como los números 1, 3, 5, 7, &c.

Quando la varilla está libre por ambos extremos el modo mas sencillo es aquel en que se sostiene la varilla por su medio donde se forma entonces un nodo de vibracion. El sonido que produce es al que dá quando está fija por un extremo como 2 á 1; razon inversa de las longitudes. El modo de vibracion que viene en seguida es aquel á donde se hallan dos nodos cada uno á la cuarta parte de los extremos; el sonido es al primero como 4 á 1. Los sonidos que se obtienen de esta varilla para 1, 2, 3 nodos de vibraciones guardan entre si la misma relacion de los números 1, 2, 3, &c.

Quando la vara está fijada por sus dos extremos puede vibrar entera, ó dividida en medio por un nodo de vibracion, ó dividida en tres partes por dos nodos, &c. Los sonidos que se obtienen son como los números 1, 2, 3, &c.: los cuales son los que se obtienen en las cuerdas fijas por ambos ex-

tremos, pues la tension no tiene aqui ninguna influencia.

281. *Líneas nodales espirales.* — Además de las grandes divisiones de que acabamos de hablar, ha descubierto Savart que los cuerpos que vibran longitudinalmente presentan siempre un sistema de líneas de reposo, que lo mas comunmente estan dispuestos en helice ó espiral, y que parecen pertenecer á un movimiento particular que existe con el movimiento tangencial. El número de estas líneas nodales depende de la naturaleza de la varilla como tambien de su longitud y grueso; es tanto mayor quanto menor es el grueso y mayor la longitud. En quanto á su forma depende de la latitud de la lámina sujeta al experimento; para láminas cuya latitud no exceda de 8 á 10 líneas, las líneas nodales son rectilíneas y todas paralelas entre si; pero á medida que se toman láminas mas anchas, estas líneas se contornean concluyendo por producir figuras mas ó menos complicadas.

Resulta de esta disposicion espiral de ciertas líneas de reposo otro género de fenómeno que presentan las varillas rígidas en este género de vibracion. Cuando se usan láminas estrechas, como giran las líneas nodales al rededor del cuerpo vibrante, se llegan á percibir sobre una cara líneas nodales transversales que tienen cierta posicion; pero si se vuelve la lámina y se las hace vibrar del mismo modo, se nota que las líneas que se forman sobre la nueva cara no corresponden á las primeras, y que se hallan exactamente en medio del intervalo que existe entre ellas, á menos que las varillas sean demasiado delgadas, pues entonces las posiciones medias jamas son exactas. Para seguir con la vista el

paso de la línea inferior á la superior y ver que la diferencia obtenida procede de la disposicion espiral, es preciso usar láminas bastante gruesas cuyo espesor se puede polvorear con arena fina poniéndola horizontalmente.

282. En el curso de estos experimentos ha notado tambien Savart un fenómeno bastante importante, que es la variacion de grueso que se verifica en la varilla durante su movimiento de vibracion. Es menester para convencerse de ello valerse de una lámina algo gruesa, sosteniéndola por medio de su longitud; y si se pone un poco de atencion se nota perfectamente que en el momento en que la lámina entra en vibracion, hay en medio una expansion bastante considerable. Este fenómeno procede sin duda del retroceso de las ondulaciones que vienen de los dos extremos de la varilla.

ARTÍCULO V.

Comunicacion de los movimientos vibratorios entre los cuerpos sólidos.

283. La experiencia diaria demuestra que basta que un cuerpo vibrante esté en contacto con otro para que este entre en movimiento y vibre del mismo modo que el primero; pero se habia descuidado mucho el examen del modo con que se hace esta trasmision de movimiento hasta Savart, á quien debemos varias observaciones de que vamos á dar una idea.

284. Si cuando dos varillas de materia rígida estan colocadas perpendicularmente entre si se escitan vibraciones normales en la una, estas ocasio-

nan vibraciones tangenciales en la otra y recíprocamente. Si hay muchas varillas horizontales y paralelas, algo distantes entre si y que se comuniquen por varillas que les sean perpendiculares, las vibraciones que se determinen en una de ellas se comunican á las demas, diferenciando de una á otra segun su situacion. Si se determinan vibraciones tangenciales en una de las varillas horizontales, por ejemplo, la varilla vertical en contacto vibrará normalmente: ésta comunicará vibraciones tangenciales á la varilla horizontal siguiente, que á su vez determinará las normales en la varilla vertical que se siga, y así sucesivamente; de suerte que en general todas las varillas de la misma direccion tendrán el mismo movimiento vibratorio cualquiera que sea su número. Estos resultados dan el medio de comunicar facilmente las vibraciones de una especie determinada á un cuerpo sin obrar inmediatamente sobre él. Savart le ha empleado con ventaja en una multitud de experimentos sobre los cuerpos rígidos y sobre las membranas tirantes, y es uno de los que mas le han servido en sus excelentes indagaciones sobre los usos de las membranas del tímpano.

OTRO Estas observaciones nos indican tambien cual es el efecto del *alma* en los violines, lo que hasta ahora se ha conocido muy poco: esta pieza que une las dos tablas del instrumento, adquiere vibraciones tangenciales por la comunicacion con la tabla superior que vibra normalmente, y despues trasmite las vibraciones á la inferior haciéndola vibrar normalmente, de lo que resulta mayor intensidad en el sonido. Savart ha observado tambien que en el número de vibraciones de un cuerpo primitivamen-

te conmovido, influyen siempre de un modo notable los cuerpos con los cuales se halla en contacto, de suerte que, produciendo casi la misma figura nodal, puede dar sonidos diferentes. Se hace bajar el tono cuando se adapta á la varilla un cuerpo extraño que se coloca sobre un vientre de vibraciones. Al contrario, se le hace subir cuando se coloca este mismo cuerpo sobre un nodo: pero los detalles de estas variaciones aun no son bien conocidos.

ARTÍCULO VI.

Propagacion de las vibraciones en los cuerpos sólidos.

285. *Como se hace esta propagacion.* — Las vibraciones de una parte cualquiera de un cuerpo sonoro se propagan en toda la extension de este cuerpo, como tambien en los que pueden estar en contacto con él, ya sea por sí mismos ó por el intermedio de otro cuerpo. Se verifica esto del mismo modo que en la comunicacion del movimiento en una serie de bolas elásticas (253), y el sonido llega á un punto cualquiera del cuerpo en un tiempo mas ó menos largo.

Quando una parte del cuerpo sonoro hace una vibracion hácia adelante, conmueve y empuja las moléculas contiguas: estas moléculas conmueven y empujan las inmediatas, les comunican su movimiento y se quedan en reposo. Estas comunican su movimiento á las siguientes quedándose tambien en reposo, y así sucesivamente, de modo que el sonido se propaga á toda la extension del cuerpo sólido, y cuando llega á un punto cualquiera todas

las partes que ha corrido sucesivamente estan en reposo, á menos que la primera parte no haya vuelto á principiar su vibracion. En este caso las nuevas vibraciones se propagan del mismo modo y siguen á la primera. Las sucesiones se hacen tan rápidamente en la extension del cuerpo como la comunicacion de vibraciones en uno de sus puntos; pero entonces se concibe que existen en los cuerpos donde se propagan las vibraciones, partes condensadas que alternan con otras dilatadas. Esta disposicion es la que se llama *ondulaciones sonoras*.

Si el cuerpo al cual se comunican las vibraciones, es indefinido en todos sentidos, el sonido se halla trasportado todo al rededor del cuerpo sonoro por ondulaciones circulares en una esfera cuyo radio es mas ó menos considerable.

Aplicando el oido á un cuerpo sólido en tal ó cual distancia del punto donde se comunican las vibraciones, se oye el sonido de una manera muy enérgica, y se nota facilmente que se oye mucho mas prontamente y con mucha mas fuerza por el intermedio de un cuerpo sólido que por el aire. Para convencerse puede uno colocarse, por ejemplo, una mañana de calma en un extremo de un puente de hierro, y mientras que una persona golpea en el otro sobre la varandilla, apoyar el oido sobre los balaustres. Entonces se perciben dos sonidos uno despues de otro; el primero mucho mas fuerte por el metal, y el segundo por el aire.

286. *La intensidad y la velocidad* con que se propaga el sonido por los cuerpos sólidos depende de la naturaleza y estructura interior de los cuerpos. Los que poseen la elasticidad de la primera especie conducen el sonido muy lejos y con mu-

cha prontitud; los que no poseen sino la elasticidad de segunda especie, apenas la conducen á uno ú dos pies de distancia; por ejemplo, si se interpone una tela entre el cuerpo sonoro y el oido, no se oirá nada.

Los sólidos formados de fibras rectas y paralelas propagan muy bien el sonido siguiendo la longitud de las fibras, y muy mal en el sentido trasversal. Por ejemplo, si alguno golpea con un alfiler en el extremo de una larga viga, una persona cuyo oido este colocado en el otro extremo oye muy bien el ruido, mientras que al contrario en el sentido trasversal apenas lo oye á algunas pulgadas.

La facultad que tiene un cuerpo de transmitir el sonido, puede medirse por la distancia á la cual se oye; pero estas distancias son muchas veces demasiado considerables para que sea posible hacer experimentos comparativos. Todo lo que se puede saber es que los cuerpos solidos mas homogéneos y mas elásticos son los que conducen el sonido mas facilmente.

287. *Medida de la velocidad del sonido.* — Biot por experimentos hechos en los tubos de conduccion de las aguas á Paris ha hallado que la velocidad del sonido trasmitido por la fundicion era cerca de diez veces mayor que la del trasmitido por el aire.

Chladni, comparando el sonido que da una varilla que se hace vibrar continuamente con el de una columna de aire que vibra en un tubo de la misma longitud, ha hallado que estando representada por 1 la velocidad del sonido por el aire, la velocidad del trasmitido por el estaño seria. $7\frac{1}{2}$

Por la plata. 9

Por el cobre. 12

Por el hierro.	17
Por las diferentes especies de maderas des-	
de.	11 á 17

Veremos que la velocidad del sonido por el aire es de cerca de 1209,5 pies por segundo. Segun esto es facil hallar la velocidad del sonido por las materias que acabamos de citar. Segun los experimentos de Biot se halla que la velocidad del sonido por la fundicion es de cerca de 12697 pies ó 4232 varas por segundo.

288. Todas las especies de vibraciones de que un cuerpo sonoro es susceptible pueden existir á la vez en el mismo cuerpo sin incomodarse mutuamente, de suerte que el mismo cuerpo puede propagar al mismo tiempo todos los sonidos sean graves ó agudos. La idea de esta coexistencia de muchas especies de vibraciones es debida á Daniel Bernouilli, y está comprobada por la experiencia diaria. Se sabe efectivamente que todos los sonidos, todos los ruidos diversos se propagan á la vez por la misma masa de aire, lo mismo que los diversos movimientos ondulatorios se propagan sin perturbarse mutuamente sobre la superficie de la misma masa líquida.

ARTÍCULO VI.

Comparacion de los sonidos.

289. En nuestro concepto las gradaciones de los sonidos pueden variar á lo infinito como los números de vibraciones que los producen; pero el oído no admite tanta variedad, y no distingue sus gradaciones sino mientras hay una distancia considerable entre dos sonidos.

Cuando se comparan dos sonidos se llama *grave* aquel cuyo número de vibraciones es menor, y *agudo* aquel cuyo número de vibraciones es mayor.

Se llama *íntervalo* la relacion de un sonido á otro, ó mas bien la relacion entre los números de vibraciones que producen estos sonidos. Los *íntervalos* toman diferentes nombres relativamente al número de sonidos que se hallan entre los que se comparan. El *íntervalo* se llama *segunda*, *tercera*, *cuarta*, *quinta*, *sexta*, *séptima*, *octava*, cuando los sonidos comparados se siguen inmediatamente ó cuando el oido puede intercalar 1, 2, 3, 4, 5, 6 sonidos intermedios.

Se llama *acorde* la coexistencia de dos ó muchos sonidos (*). Cuando el oido puede notar facilmente la relacion de un sonido á otro, su *acorde* se llama *consonancia*. Cuando al oido le cuesta trabajo el distinguir esta relacion, el acorde se llama *disonancia*.

Cuando dos cuerpos hacen en el mismo tiempo el mismo número de vibraciones, los sonidos que producen son absolutamente los mismos, y se dice que estos sonidos se hallan *al unison*: este es el mas sencillo de todos los acordes.

Cuando un cuerpo hace en un tiempo dado un número de vibraciones doble del que hace otro cuerpo, los *sonidos producidos* se llaman *octavas uno de otro*. La octava es un acorde muy natural, á causa de la sencillez de la relacion de los números de vibraciones; asi es que vemos á todos los

(*) *Melodia* es una serie de sonidos.

Acorde es la coexistencia de muchos sonidos.

Harmonia es una serie de *acordes* ó la coexistencia de muchas *melodias*.

cantantes pasar muy facilmente de un sonido á otro que es una octava mas grave ó mas aguda. No sucede lo mismo con dos sonidos cuya relacion es mas complicada para poder concertarlos con prontitud.

Dos sonidos octava uno de otro tienen tanta semejanza que se deben mirar el uno como la repetición del otro; así es que los músicos los designan por los mismos signos.

Se designan las octavas sucesivas de un mismo sonido por los nombres *octava*, *doble octava*, *triple octava*, &c. Resulta de esta semejanza que el intervalo de un sonido á otro no muda, si se toma uno de los sonidos que le componen una ó muchas octavas mas graves ó mas agudas, lo que es lo mismo que tomar la mitad ó el doble, &c., de los números de vibraciones. Esta consecuencia conduce naturalmente á la de que se pueden mirar todos los intervalos como comprendidos en una octava.

290. *Escala música.* — Se llama *escala musical* la serie de los sonidos sucesivamente contenidos en una octava. En Europa se distinguen tres escalas: la *diatónica* compuesta de ocho sonidos; la *crómica* compuesta de trece; y la *enarmónica* compuesta de veinte y cuatro. No hablaremos aquí sino de la escala diatónica.

Sea 1 el número de vibraciones dadas por una cuerda de cierta longitud; si se divide sucesivamente esta longitud de modo que produzca la serie de vibraciones

$$1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3}, \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{15}{8}, 2$$

la serie de los tonos representará sensiblemente la escala diatónica *do, re, mi, fa, sol, la, si, do*. To-

mando las relaciones entre estos diferentes números de vibraciones se halla con respecto al intervalo de *do* á *re* 8 á 9; de *re* á *mi* 9 á 10; de *mi* á *fa* 15 á 16; de *fa* á *sol* 8 á 9; de *sol* á *la* 9 á 10; de *la* á *si* 8 á 9; de *si* á *do* 15 á 16. Estas son otras tantas segundas. Lo mismo se obtendría respecto á las *terceras*, las *cuartas*, &c., como se ve en la tabla siguiente:

SEGUNDAS.	$\frac{re}{fa} = \frac{27}{32}$	$\frac{sol}{do} = \frac{3}{4}$	SEPTIMAS.
$\frac{do}{re} = \frac{8}{9}$	$\frac{mi}{sol} = \frac{5}{6}$	QUINTAS.	$\frac{re}{do} = \frac{9}{16}$
$\frac{re}{mi} = \frac{9}{10}$	$\frac{fa}{la} = \frac{4}{5}$	$\frac{do}{sol} = \frac{2}{3}$	$\frac{do}{si} = \frac{8}{15}$
$\frac{mi}{fa} = \frac{15}{16}$	$\frac{sol}{si} = \frac{4}{5}$	$\frac{re}{la} = \frac{81}{120}$	OCTAVAS.
$\frac{fa}{sol} = \frac{8}{9}$	$\frac{la}{do} = \frac{5}{6}$	$\frac{mi}{si} = \frac{2}{3}$	$\frac{do}{do} = \frac{1}{2}$
$\frac{sol}{la} = \frac{9}{10}$	CUARTAS.	$\frac{fa}{do} = \frac{2}{3}$	
$\frac{la}{si} = \frac{8}{9}$	$\frac{do}{fa} = \frac{3}{4}$	SEXTAS.	
$\frac{si}{do} = \frac{15}{16}$	$\frac{re}{sol} = \frac{3}{4}$	$\frac{do}{la} = \frac{3}{5}$	
TERCERAS.	$\frac{mi}{la} = \frac{3}{4}$	$\frac{re}{si} = \frac{3}{5}$	
$\frac{do}{mi} = \frac{4}{5}$	$\frac{fa}{si} = \frac{32}{45}$	$\frac{mi}{do} = \frac{5}{8}$	

Se ve en esta tabla que los intervalos $\frac{do}{re}$, $\frac{re}{mi}$, $\frac{fa}{sol}$, $\frac{sol}{la}$, $\frac{la}{si}$, son poco mas ó menos iguales entre si; se les lla-

ma tonos enteros. Se ve que los intervalos $\frac{si}{do}, \frac{mi}{fa}$, son poco mas ó menos la mitad de los otros, y se les llama *semitonos*.

El intervalo $\frac{8}{9}$ que se refiere á $\frac{do}{re}, \frac{fa}{sol}, \frac{la}{si}$, se llama *tono mayor*; el intervalo $\frac{9}{10}$ que se refiere á $\frac{re}{mi}$,

$\frac{sol}{la}$, se llama *tono menor*.

Asi es que en la extension de nuestra escala diatónica hay tres tonos mayores, dos tonos menores, y dos semitonos, que todos componen doce semitonos.

El intervalo $\frac{do}{re}$ es una *segunda mayor*; el intervalo $\frac{re}{mi}$ es una *segunda menor*.

La tercera que encierra dos tonos como $\frac{do}{mi}, \frac{fa}{la}$, $\frac{sol}{si}$, (entre *do* y *mi* hay los tonos $\frac{do}{re} = \frac{8}{9}$ y $\frac{re}{mi} = \frac{9}{10}$) se llama *tercera mayor*. La tercera es *menor* cuando encierra un tono y un semitono como $\frac{mi}{sol}, \frac{re}{fa}, \frac{la}{do}$, (entre *mi* y *sol* hay el semitono $\frac{mi}{fa} = \frac{15}{16}$ y el tono $\frac{fa}{sol} = \frac{8}{9}$)

Se llama *cuarta sencilla* la que se forma de dos tonos y un semitono como $\frac{do}{fa}, \frac{re}{sol}, \frac{mi}{la}, \frac{sol}{do}$ (entre *do* y *fa* hay dos tonos $\frac{do}{re}, \frac{re}{mi}$ y el semitono $\frac{mi}{fa}$)

Se llama *cuarta supérflua* la que está compuesta de tres tonos como $\frac{do}{sol}, \frac{fa}{si}$ (entre *fa* y *si* hay tres tonos $\frac{fa}{sol}, \frac{sol}{la}, \frac{la}{si}$).

La *quinta* está compuesta de tres tonos y un semitono como $\frac{do}{sol}, \frac{re}{la}, \frac{mi}{si}, \frac{fa}{do}$ (entre *do* y *sol* están los tonos $\frac{do}{re}, \frac{re}{mi}, \frac{fa}{sol}$ y el semitono $\frac{mi}{fa}$).

La *sexta es menor* si encierra tres tonos y un semitono como $\frac{mi}{do}$; y *mayor* si encierra cuatro tonos y un semitono como $\frac{do}{la}, \frac{re}{si}$.

Cuatro tonos y dos semitonos dan la *séptima menor* como $\frac{re}{do}$. Cinco tonos y un semitono dan la *séptima mayor* como $\frac{do}{si}$. En fin, la octava se compone de cinco tonos y dos semitonos como $\frac{do}{do}$.

Se llama *sostenido* al sonido que está elevado un semitono más que el natural; y *bemol* al sonido que está un semitono más bajo que el mismo. Los sostenidos ó bemoles son necesarios en la música, para evitar la monotonía, pues es preciso que se pueda mirar cada sonido como fundamental y asignarle su escala.

291. *Sonidos concomitantes*. — Cuando se hace vibrar una cuerda, el oído distingue además del sonido principal otros muchos sonidos que se llaman *concomitantes* y cuya serie es 1, 2, 3, 4, &c. Hay personas que distinguen el sonido representa-

do por 7; pero la mayor parte de las veces no se distingue bien sino el sonido principal y los sonidos 3 y 5 que se confunden con sus octavas $\frac{2}{3}$ y $\frac{5}{4}$ es decir, que se distingue el sonido principal, su quinta y su tercera mayor, lo que parece proceder de que el oído no hace diferencia entre 1, 2, 3, 4, &c.

Fundado en estas observaciones concluye Rameau que la escala música mas natural es la que procede por quintas y terceras mayores; la escala diatónica encierra tres sucesiones de terceras mayores y de quintas; luego es la escala mas natural; tambien es la que se ha conocido mucho tiempo antes que se tuviesen nociones exactas sobre la produccion del sonido.

La produccion de los sonidos concomitantes que se verifica en el aire libre y que asi no se pueden atribuir á la resonancia de los cuerpos circunvecinos, parece depender de la division de la cuerda en partes que dan todas un sonido independiente del de la cuerda total. Esta es la suposicion de Daniel Bernouilli y la que se deduce de la construccion de la ecuacion de las diferencias parciales de las cuerdas vibrantes.

292. *Acorde perfecto.*—Cada uno de los acordes *fa, la, do; do, mi, sol; sol, si, re;* se llama *acorde perfecto*. Se reducen á 1, $\frac{5}{4}$ y $\frac{3}{2}$; y

1, $\frac{5}{6}$ $\frac{3}{2}$ representando el sonido principal por la unidad. La primera relacion que encierra una tercera mayor se llama *acorde perfecto mayor*; y la segunda *acorde perfecto menor*.

En términos de música se llama *modo* el tono en que está compuesta una pieza; la nota que le determina se llama la *tónica*. Se denomina *modo mayor* aquel cuya tercera contando desde la tónica es mayor; y *modo menor* aquel cuya tercera desde la tónica es menor.

La experiencia manifiesta que el modo mayor tiene cierta cosa de alegre, mientras que el modo menor tiene algo de triste. En general, eligiendo tal ó cual nota para tónica, las quintas y las terceras que se suceden tienen algo de exaltado que provoca la alegría, ó algo de melancólico que excita la tristeza.

293. *Sucesion de las consonancias en la escala diatónica.* — Hemos dicho que las consonancias son acordes que agradan al oído; todas las segundas son disonancias; entre las terceras hay cinco consonancias y una disonancia; en las cuartas hay cuatro consonancias y una disonancia; en las quintas tres consonancias y una disonancia; en las sextas dos consonancias y una disonancia; las séptimas dan dos consonancias. Resulta de aquí que las consonancias se suceden por terceras mayores, terceras menores, cuartas, quintas y sextas mayores y menores.

Si se trata de producir una serie de sonidos consonantes siguiendo un mismo intervalo se llega pronto á sonidos falsos que no forman parte de las escalas europeas. La serie por quintas que es la mas sencilla, los da desde el cuarto sonido. Sea 1, el sonido fundamental, divídase por $\frac{2}{3}$ se tendrá la quinta $\frac{3}{2} = \text{sol}$. Dividiendo otra vez por $\frac{2}{3}$ se

tendrá la quinta superior $\frac{9}{4}$ que es la octava de *re* = $\frac{9}{8}$; las quintas siguientes serán $\frac{27}{8}$, $\frac{81}{16}$ &c. no hay pues mas consonantes que los tres primeros sonidos que correspondan á *do*, *sol*, *re*.

294. *Temperamentos.* — Sucede, pues, necesariamente que la serie de quintas, terceras, &c., que recorre el canto puede producir disonancias desagradables. Para evitar estos malos efectos es preciso alterar cada sonido sucesivo, á fin de mantenerse en la serie de la escala diatónica. Estas alteraciones se llaman *temperamentos*; deben estar combinadas de modo que la armonía ó serie de acordes no se resienta de ellas. El temperamento igual que es el que reparte igualmente la diferencia sobre todos los intervalos, excepto sobre las octavas, cuya exactitud conviene conservar, porque no sufren la mas mínima alteracion, parece ser el mas natural, porque la inexactitud de cada intervalo es demasiado pequeña para chocar al oido.



LIBRO TERCERO.

Cuerpos líquidos.

SECCION PRIMERA.

Propiedades de los líquidos.



CAPITULO PRIMERO.

Figura de estos cuerpos.

295. *Las porciones pequeñísimas de los líquidos toman naturalmente la forma globulosa.* — Esto se puede ver en el mercurio que se arroja en una mesa, y en el agua que se echa en un plano cubierto de polvo muy fino, como tambien en las hojas de las plantas en las madrugadas de los dias de rocío, pues sus asperezas estan cubiertas de globulillos muy brillantes.

Causas de esta forma. — Es menester atribuir esta forma globulosa á la atraccion de cohesion que las partículas líquidas tienen entre sí, juntamente con su gran movilidad. La atraccion obra empujando estas partículas de fuera á dentro; pero como estas partículas son sumamente móviles resbalan unas sobre otras hasta que todas las fuerzas opuestas que les empujan se equilibran mutuamente; lo

cual se verifica cuando la masa ha tomado la figura de una esfera. La figura esférica es tanto mas exacta, quanto mas móviles son las partículas del cuerpo líquido, menos atracción tiene para este el plano que sostiene al glóbulo, y menos considerable es el volumen de este glóbulo.

Modificación de la forma esférica por la atracción de los líquidos respecto de los cuerpos que los sostienen. — Una gotita de mercurio colocada sobre el mármol, vidrio, &c., toma la figura esférica con bastante exactitud, y no se adhiere al cuerpo que la sostiene; se aplasta un poco tomando forma semiesférica sobre una lámina de estaño, y adhiere de tal modo á este cuerpo que le moja. Una gota de agua forma un globo perfecto en el extremo de los pelillos que cubren las hojas de ciertas plantas; pero se aplasta y no presenta sino un hemisferio sobre una lámina de mármol de vidrio &c., á menos que estos cuerpos no esten espolvoreados con un polvo ó arena finísima que impida la acción del líquido sobre ellos.

Modificación producida por la gravedad. — La atracción terrestre manifiesta tambien su influencia en la mudanza de figura de una gota líquida. Si esta gota está suspendida en la superficie inferior de un cuerpo al cual adhiere por su atracción, se alarga y se presenta en la forma de un esferoide cuyo eje mayor es vertical. Esto se puede ver de varios modos, y entre ellos del siguiente, que es muy fácil: tómese un alfiler y mójesele en agua, cuidando de que despues se escurra esta ácia la punta: se formará una gota que se alargará tanto mas quanto mas voluminosa sea, y si lo es demasiado se desprenderá una parte que al caer toma visible-

mente la forma de un esferoide prolongado en sentido vertical.

Si la gota líquida esta aplicada en la superficie superior del cuerpo, se aplasta tanto mas cuanto mayor es su volumen, porque el peso de las partes superiores ejerce sobre las inferiores una presión capaz de vencer la cohesión de las partículas y hacerlas resbalar unas sobre otras: en fin, si el líquido está en cantidad bastante considerable, se aplasta enteramente, y su superficie se hace paralela al plano que la sostiene, y no se ve mas curvatura que ácia las orillas.

Quando un cuerpo líquido esta dispuesto en cantidad bastante considerable en una vasija, toma exactamente su forma, y su superficie se hace plana y horizontal; ó, para hablar con mas exactitud, la superficie de un líquido en calma pertenece á una esfera concéntrica con el globo terráqueo, porque todas las moléculas líquidas se dirijen independientemente unas de otras ácia el centro de la tierra. Pero siendo el radio de la esfera, de que hace parte esta superficie, por lo menos igual al de la tierra, que es de 1142 leguas españolas, resulta que dicha superficie puede considerarse como sensiblemente plana en las pequeñas extensiones de líquido que consideramos comunmente. La vasta extensión de los mares presenta realmente la forma esférica, como lo prueban los viajes de largo curso (88).

296. *Forma de las partes integrantes de los líquidos.* — En un sin número de cuerpos sólidos se llega á reconocer *à priori* por la division mecánica la forma de las partículas integrantes; en otros se pueden sacar algunas inducciones sobre este pun-

to por el examen de las formas secundarias: pero ¿qué inducciones pueden sacarse sobre la forma de las partículas integrantes de los cuerpos líquidos?

Algunos autores han formado con este motivo el raciocinio siguiente: las partículas de los cuerpos líquidos se mueven y resbalan unas sobre otras con la mayor facilidad, sin experimentar alteracion en la cohesion mútua que tienen entre sí, ó, lo que es lo mismo, sin que las distancias relativas que tienen entre sí sean alteradas: pero la forma esférica es la única que puede convenir á estos efectos, luego las partículas líquidas son esféricas. La viscosidad que presentan diversos líquidos resulta de la falta de esfericidad perfecta de sus partículas integrantes.

Hemos oido algunas veces hacer otro raciocinio parecido al siguiente: un gran número de cuerpos líquidos son susceptibles de solidificarse por cierta baja de la temperatura; cristalizan entonces regularmente, y se puede hallar *à priori* ó por induccion la forma de sus partículas integrantes, que son octaedros, cubos, romboides, paralelipipedos irregulares, &c. Pero todas las observaciones hechas hasta aquí prueban que mientras no hay alteracion en la composicion química de un cuerpo, la forma de las partículas integrantes es constante: luego si es cierto que un cuerpo en estado sólido tiene exactamente la misma composicion química que cuando esta en estado líquido, la forma de las partículas integrantes es la misma en ambos estados. Pero á este raciocinio puede oponerse, que está lejos de haberse demostrado la identidad de composicion; ademas, hemos ya visto que los cuerpos al cristalizar pueden tambien tomar formas que pertenezcan

á sistemas diferentes; luego la forma exterior no puede darnos ningún indicio de la forma de la partícula integrante en los cuerpos sólidos; y con mucha mas razon se puede decir esto respecto de un cuerpo líquido.

CAPITULO II.

Porosidad.

297. Aunque sea imposible el descubrir inmediatamente la porosidad de los líquidos, los físicos admiten en ellos esta propiedad: 1.º por la facultad que tienen de disminuir de volumen al pasar de una temperatura á otra que sea mas baja; y 2.º por los fenómenos que presenta la combinación de los líquidos entre sí. En efecto, sucede muchas veces que el volumen que resulta de una mezcla es menor que la suma de los volúmenes particulares, como se observa mezclando agua con espíritu de vino ó con ácido sulfúrico, &c. Para concebir este resultado se admite que en el compuesto las partículas estan mas aproximadas que en cada uno de los componentes, lo que supone que en estos estan ya á cierta distancia unas de otras.

Pero se deduce mas directamente la porosidad de los líquidos del resultado de los experimentos sobre su compresibilidad. En efecto, los líquidos sometidos á una fuerte presión disminuyen sensiblemente de volumen; de donde se sigue que sus partículas se aproximan, lo que supone que estaban unas á cierta distancia de las otras.

Se ha querido tambien probar algunas veces la

porosidad de los líquidos por un silogismo muy inexacto. Se observa que los glóbulos líquidos son elásticos, y se concluye de ello que son comprensibles; dicen entonces, todo cuerpo comprensible es poroso, luego los líquidos son porosos. Pero ya veremos en el capítulo 5.º que la elasticidad de los líquidos no es de ningún modo prueba de su comprensibilidad.

CAPÍTULO III.

Impenetrabilidad.

298. *Los líquidos son impenetrables á los sólidos.* — Los líquidos manifiestan su impenetrabilidad siempre que se sumerge en ellos un cuerpo que no sea capaz de combinarse con ellos. Todo el mundo sabe que despues de haber llenado exactamente un vaso de un líquido cualquiera, si se sumerge un cuerpo sólido que sea insoluble en él, ó á lo menos que no se disuelva instantáneamente, se espaae el líquido al momento derramándose por los bordes. Nada es mas facil de probar que el volumen del líquido desalojado es exactamente igual al del cuerpo sumergido, si este es de todo punto incapaz de admitir alguna parte del líquido entre sus poros.

También se juzga de la impenetrabilidad de los líquidos cuando se golpea con velocidad su superficie con la palma de la mano; se experimenta entonces una resistencia tan fuerte como si se hubiera golpeado en un cuerpo sólido. Pasando la mano rápidamente en un líquido se nota también una resis-

tencia particular que indica su impenetrabilidad.

299. *Los líquidos son impenetrables entre sí.*— Los líquidos que no son susceptibles de combinarse manifiestan igualmente su impenetrabilidad mútua cuando se ponen unos en contacto con otros. Si despues de llenar un vaso de agua, por ejemplo, se echa en seguida mercurio se verá que se derrama un volumen de agua igual al del metal líquido que se ha añadido. Tampoco pueden mezclarse juntos agua y aceite, aceite y espíritu de vino, &c., de modo que la mezcla de estos cuerpos produzca un volumen menor que la suma de sus volúmenes particulares.

300. *Los líquidos son impenetrables á los gases.*— Se puede probar del mismo modo que los líquidos son impenetrables á los cuerpos aeriformes que no se disuelven en ellos; en efecto, si se sumerge el cuello de una botella llena de cualquiera líquido, en un vaso que contenga el mismo líquido, y se introduce aire en el interior de la botella por medio de un tubo encorvado, se verá escaparse el líquido al paso que el gas se dirige á la parte superior.

301. Hemos citado aquí con especialidad los cuerpos que no son susceptibles de combinarse entre sí, porque siempre que hay accion química entre dos ó mas cuerpos, se forma un compuesto cuyas partículas se colocan entre si de un modo particular, segun sus figuras; lo cual origina muchas veces una disminucion de volumen, y por consiguiente puede inducir á creer que hay penetrabilidad en los cuerpos puestas en contacto: esto sucede, como ya hemos indicado, en las mezclas de agua y espíritu de vino, agua y ácido sulfúrico, &c.

302. *La bomba impelente, (fig. 103)* que comunmente se describe con las demás clases de bombas (*lib. IV, cap. VII*), nos parece debe colocarse en este lugar, porque la presión de la atmósfera no influye de modo alguno en sus efectos, siendo la impenetrabilidad su causa única.

AB es un tubo colocado debajo del agua, siempre muy corto y cerrado en su parte inferior, cuyo tubo se llama *cuerpo de bomba*; en el interior de este tubo se mueve un émbolo provisto de una válvula *F* que se abre de alto á bajo. CDE es un tubo mas estrecho que comunica con el primero y se eleva hasta el punto donde se quiere conducir al líquido. Una válvula *G* que se abre de abajo á arriba está colocada ácia la juntura de ambos tubos.

Cuando el émbolo está en su mayor elevación, la válvula *F* se halla naturalmente abierta y el líquido llena al cuerpo de bomba y al tubo CDE hasta el nivel MN; cuando el nivel está establecido, la válvula *G* está cerrada: si se baja el émbolo, la válvula *F* se cierra en virtud de la impenetrabilidad del líquido, y por la misma causa se abre la válvula *G*; entonces el líquido se ve obligado á pasar al tubo ascendente.

Cuando se levanta el émbolo de nuevo, el agua que está en el tubo ascendente ejerce por su propio peso una presión sobre la válvula *G*, y la cierra impidiéndose á sí misma el paso: al contrario la válvula *F* se abre y entra en el cuerpo de bomba una nueva cantidad de agua que, como la primera, se ve obligada á pasar al tubo CDE, y así sucesivamente. De este modo el líquido llega prontamente al vertedero *C* colocado á una altura cual-

quiera, corriendo despues ácia fuera cierta cantidad á cada embolada.

Por medio de esta bomba se puede elevar el agua á la altura que se quiera: sin embargo, como para bajar el émbolo es preciso emplear una fuerza capaz de mover la columna de agua que se halla en el tubo ascendente, que presenta tanta mayor resistencia quanto mayor es su altura, hay necesariamente un límite determinado por la fuerza de que puede disponerse.

Se emplea la bomba impelente cuando se trata de elevar el agua á una altura considerable y se puede disponer de la fuerza necesaria: las bombas que son movidas por corrientes de agua son de esta especie, como tambien las de los incendios. Sin embargo, tienen un inconveniente bastante grave, á saber, que cuando sucede el mas mínimo accidente al cuerpo de bomba, es preciso para repararle desmontar el tubo y sacarle del agua, á menos que no se pueda vaciar el depósito en que se halle sumergido, cosa imposible muchas veces.

CAPÍTULO IV.

Compresibilidad.

303 Los líquidos son muy poco compresibles, y no se puede demostrar su compresibilidad sino por medio de experimentos hechos con sumo cuidado, los cuales prueban que siempre se necesita una fuerza muy considerable para producir una ligera condensacion. El aparato de Mr. Ørsted (*figura 104*), es el mas sencillo que puede emplear-

se para el objeto. Su parte principal es una botella *ab* cuyo cuello es un tubo capilar terminado en un embudito. Se llena esta botella de agua bien purgada de aire por medio de la ebullicion, y se echa encima una gotita de mercurio, que se mantiene siempre en la parte superior en virtud de la capilaridad. Dispuesto asi el aparato, se coloca en un cilindro de vidrio de paredes gruesas lleno de agua, en cuya boca va adaptada una bomba impelente por cuyo medio se puede ejercer la presion necesaria. Esta presion se comunica al agua de la botella por el intermedio del mercurio; y como tambien se ejerce por fuera de la botella, esta no puede variar de forma, de suerte que si el mercurio baja no puede ser por otra causa que por la compression del líquido.

Se valua la presion ejercida por medio de la ascension del agua en un tubo de vidrio *cd* abierto por abajo *d*, y por consiguiente lleno de aire, que esta colocado á lo largo del cuello de la botella; una escala trazada detras sirve para medir el volumen á que se reduce el aire por la presion, volumen que se aprecia por el peso de la atmósfera (431): la misma escala sirve para medir la posicion del extremo de la columna de mercurio.

El tubito lateral *fg* esta destinado á introducir agua en el cuerpo de bomba despues que el cilindro esta lleno: este tubito esta cerrado exactamente por el tornillo *h*; *i* es una abertura lateral que permite salir al aire, mientras que entra el agua por *fg*. Esta abertura no tiene comunicacion con el interior desde el momento que el émbolo principia á bajar. Este émbolo sube y baja por medio de un tornillo *kl*.

Es preciso evitar cuidadosamente que se altere la temperatura durante el experimento, pues esto haria variar los resultados muy notablemente.

Mr. Ørsted ha reconocido que la compresion del agua estaba en razon de las fuerzas comprimentes, y ha determinado como término medio, por un sin número de experimentos, que una presion igual á la de la atmósfera (*lib. IV, cap. VII*) produce en el agua una disminucion de volumen igual á 0,000045, resultado que se aproxima mucho á los de Canton y Parkins en los que se sospechan algunos leves errores. Parece que no todos los líquidos se comprimen igual cantidad á igual presion.

Se hace otro experimento cuyo resultado no es susceptible de medida exacta, pero conduce necesariamente á admitir la compresibilidad de los líquidos. Se llena un tubo de agua ó cualquier otro liquido á una temperatura elevada como si se fuese á construir un termómetro (489); se le cierra herméticamente, y se nota la altura del nivel cuando se ha enfriado: si entonces se rompe el extremo para dar entrada al aire se ve al momento bajar el liquido cierta cantidad, lo cual no puede atribuirse mas que á la compresibilidad del cuerpo liquido en virtud de la presion de la atmósfera.

CAPÍTULO V.

Elasticidad.

304. *La elasticidad se verifica por cambio de forma.* — Los líquidos manifiestan su elasticidad cuando estan en forma globulosa, y cambian esta

forma por cualquiera medio. Cuando un glóbulo de mercurio está colocado sobre un plano horizontal y se ejerce una leve presión sobre su parte superior, se le ve aplastarse un poquito mudando de forma, pero vuelve repentinamente á la forma esférica al momento que la presión cesa. Cuando un glóbulo líquido choca con un cuerpo sólido, salta con cierta fuerza. Esto se puede probar facilmente con el mercurio; basta para ello poner en un naipe doblado por sus extremos, como si fuera una cajita, un poco de mercurio en globulillos, y se verá que cuando llegan á una orilla chocan y vuelven atrás con cierta velocidad. El mismo experimento se puede hacer con agua, espíritu de vino &c., usando para ello una cajita mayor, cuyo fondo y paredes verticales estén cubiertas con polvo fino. Además no hay persona que no haya visto saltar los globulillos que se forman al dejar caer mercurio en un tablero, y también al caer agua en un piso lleno de polvo.

Examinando con atención el glóbulo de mercurio en el momento en que choca con la orilla vertical del naipe, se ve que se aplasta en el sentido perpendicular á esta misma orilla, y se alarga en el sentido paralelo. Pero como los globos líquidos procuran conservar la forma esférica, como ya hemos dicho, deben volver á ella cuando la han perdido por una causa cualquiera: de lo cual resulta hacer patente su elasticidad. Por otra parte no sería posible recurrir para explicar la elasticidad de los líquidos á la hipótesis de una compresión verificada en el punto del choque, porque la suma movilidad de las partículas que los componen, hace que resbalen unas sobre otras con la mayor fa-

cilidad por el mas mínimo esfuerzo que se intente hacer con ellas.

Tampoco se puede considerar la elasticidad de los líquidos como la de los cuerpos sólidos ductiles, porque la movilidad de las partículas integrantes de los líquidos es demasiado grande, para que se pueda suponer que no han sido bastante desalojadas de sus posiciones para adquirir nuevos puntos de adherencia.

Es preciso, en general, para explicar la elasticidad hacer el raciocinio siguiente: la presión ó el choque mudan la forma del glóbulo líquido, y le dan la de un elipsóide prolongado en el sentido perpendicular á la dirección de la fuerza: en este estado las fuerzas atractivas que solicitan las partículas del globo de fuera á adentro, no se equilibran; y como las partículas líquidas son sumamente móviles, resbalan unas sobre otras hasta que se restablece el equilibrio, es decir, hasta que el globo ha vuelto á su forma esférica. Como por otra parte esta vuelta se verifica instantáneamente, resulta que el glóbulo salta del plano contra quien ha chocado.

CAPITULO VI.

Adhesion de los líquidos á los diferentes cuerpos.

305. Hemos manifestado (116) que los cuerpos sólidos puestos en contacto, lo mas inmediato posible, por caras bien planas y pulimentadas, son susceptibles de contraer entre sí una adherencia mas ó menos fuerte; esta propiedad se manifiesta

igualmente entre los cuerpos sólidos y líquidos con mas ó menos fuerza segun la naturaleza de ambos. En virtud de esta atraccion mútua, vemos que los cuerpos sólidos son susceptibles de mojarse por los líquidos; y sabemos que esta propiedad varía de un cuerpo á otro, pues hay sólidos que se dejan mojar por tal ó tal líquido, al paso que otros resisten y rechazan esta especie de adhesion. Deben considerarse estos fenómenos como resultado de una atraccion de los dos cuerpos modificada por la atraccion mútua de las partículas líquidas. Cuando esta es menor que la de los cuerpos, el cuerpo sólido queda mojado, y cuando al contrario es mayor queda seco el cuerpo sólido.

Se sabe que un gran número de cuerpos sólidos son susceptibles de quedar mojados por el agua, y aun algunos atraen con mas ó menos fuerza la humedad de la atmósfera en virtud de su accion sobre el agua; tales son entre otros el vidrio, que casi siempre esta húmedo en su superficie, el papel, las cuerdas de tripa, &c. En el mismo caso se hallan varias sales de las cuales algunas tienen tal accion sobre la humedad que concluyen por deshacerse en agua, porque van disolviéndose poco á poco en la que atraen.

Sin embargo de esto hay cuerpos que son mojados muy dificilmente por el agua, como sucede con los cuerpos crasos, y tambien con otros muchos, especialmente metálicos. Una hoja de navaja de afeitar bien trabajada sale casi seca de un vaso de agua en que se la sumerja, y el mismo fenómeno presentan una lámina de oro ó de plata bien pulimentadas. Pero estos mismos metales limados simplemente con una lima gruesa se mojan tan facilmente

como otros cuerpos: parece, pues, que las aspe-
rezas de que estan cubiertas sus superficies retienen
las moléculas líquidas.

Los licores espirituosos y los aceites volátiles,
siguen poco mas ó menos las mismas reglas que el
agua; solamente que estos últimos mojan bastante
facilmente á los cuerpos crasos.

Los aceites crasos son susceptibles de mojar to-
dos los cuerpos, á menos que estos no esten cubier-
tos con una capa de humedad.

Existen muchos cuerpos que no pueden ser
mojados por el mercurio; tales son el vidrio, las
materias terrosas ó pedregosas, las maderas, el hier-
ro, acero, &c.; pero hay otros sobre los cuales se
adhiera este líquido con mucha fuerza, tales son
el oro, plata, estaño, plomo, cobre, &c. Si se su-
merje una lámina de uno de estos cuerpos en mer-
curio se la saca muy blanqueada por este metal
que adhiere á ella muy fuertemente.

La fuerza de adhesion de los cuerpos sólidos á
los líquidos se manifiesta de un modo positivo cuan-
do se suspende una placa de una materia cualquie-
ra en el platillo de una balanza, y despues de equi-
librarla con el peso correspondiente en el otro pla-
tillo, se la hace tocar exactamente á la superficie
de un líquido. Se ve entonces que existe una adhe-
sion muy fuerte entre ambos cuerpos, idéntica á
la que hicimos ver respecto de los cuerpos só-
lidos (116); y que para separarlos es preciso aña-
dir un peso mayor ó menor en el platillo con-
trario.

La resisténcia á la separacion varía segun la
mayor ó menor facilidad con que se moja el cuer-
po sólido puesto en contacto, por el líquido con que

se hace el experimento. Los metales pulimentados, colocados sobre la superficie del agua oponen menos resistencia que el vidrio: las placas de cobre y hierro, dispuestas sobre la superficie del mercurio, la oponen mucho menor que las de oro, plata, &c. Pero es de observar en todos estos diferentes casos que no es el cuerpo sólido el que se separa del cuerpo líquido, si se ha de hablar con propiedad, sino que es una corta porcion del mismo líquido, la que se separa del resto de la masa y queda adherida al cuerpo sólido. Se halla por la experiencia que el peso que es preciso emplear para verificar la separacion, es mucho mayor que el de la pequeña capa líquida que se adhiere al cuerpo; de suerte que se tiene una nueva prueba directa de la fuerza con que adhieren entre si las partículas líquidas: esta fuerza es igual al exceso del peso empleado para vencer la adhesion, sobre el peso de la porcion líquida que ha quedado en la superficie del cuerpo sólido. Representa, pues, la *cohesion*, ó si se quiere la *tenacidad del líquido*.

306. *Accion de los líquidos unos sobre otros.*—

Los líquidos tienen tambien unos sobre otros diversas acciones, de las que no es facil formar idea exacta; sin embargo, algunas parecen depender de sus atracciones recíprocas: tal es, por ejemplo, la siguiente:

Quando se echá una gota de aceite en la superficie del agua, se extiende rápidamente formando una capa sumamente delgada que presenta círculos concéntricos coloreados. Si se hallán algunos cuerpos ligeros flotando sobre el agua, se les ve al momento que se extiende la gota dirigirse rápida-

mente desde el centro á la circunferencia del líquido.

Si se echan muchas gotas de aceite á la vez, cada una se extiende poco y parece que se rechazan mutuamente. Parece que la altura del agua en el vaso, y la extension de su superficie influyen mucho en los resultados. En un vaso muy estrecho no se verifica muchas veces la extension de la gota de aceite. Si despues de humedecer el fondo de una salvilla con agua se echa una gota de espíritu de vino, se ve que el agua es arrojada á mucha distancia de la gota, quedando seca la salvilla. Carradori de Prato explicó este fenómeno como si el espíritu de vino tuviese mas atraccion para con la materia de la salvilla que el agua; pero se puede hacer el experimento de modo que destruya esta explicacion. En vez de humedecer el fondo con agua, se humedece con el mismo espíritu de vino, y se ve que el fenómeno se repite del mismo modo que antes.

Echando una sola gota de espíritu de vino en una placa de vidrio se la ve extenderse en círculos concéntricos separados muchas veces unos de otros por trozos secos, y no quedando nada en el punto en que se echó la gota.

Echando una gota de espíritu de vino en la superficie del agua se ve al momento una trepidacion rápida, y si hay algunos cuerpos ligeros en el agua, son lanzados á lo lejos con suma velocidad. Si se echa en el agua un poco de alcanfor se le ve agitado con diversos movimientos muy notables.

Prevot de Ginebra ha considerado generalmente los fenómenos que acabamos de mencionar como el resultado de la emanacion de las partículas

odoríferas que se exhalan del cuerpo puesto en contacto con el agua. Verdad es que hay sustancias inodoras que producen efectos análogos; pero Prevot los mira como dotados de un olor que nuestros sentidos no pueden percibir, pero que se manifiesta á nuestra vista por medio de estos fenómenos.

SECCION SEGUNDA.

Equilibrio de los cuerpos líquidos.

El caracter esencial de los cuerpos líquidos es la perfecta movilidad de sus partículas. Este caracter junto con la impenetrabilidad conduce al principio de la igualdad de presion en todos sentidos, que sirve de base á toda la hidrostática. En efecto, si una masa líquida está en equilibrio, es preciso que las partículas por su suma movilidad esten igualmente oprimidas por todas partes; pues si lo estuviesen mas de un lado que de otro necesariamente se moverian del lado de la fuerza mayor. De este principio se deduce la explicacion de todos los fenómenos que presenta el equilibrio de los cuerpos líquidos; pero vamos á demostrar por la experiencia los resultados de las consideraciones matemáticas.

CAPÍTULO VII.

Presion de los líquidos sobre las paredes de los vasos que los contienen.

307. *Consideraciones generales.*— Un cuerpo sólido, no ductil, v. gr. una masa de vidrio encerrada en un vaso cilíndrico cuyas paredes latera-

les toca sin ejercer sobre ellas rozamiento sensible, no gravita sino sobre el fondo del vaso, cualquiera que sea la presión que se ejerza sobre su superficie superior, porque las partículas están muy fuertemente unidas entre sí, y no pueden resbalar unas sobre otras.

Un cuerpo dúctil, tal como el plomo, estaño, la grasa, &c. que se encierra en el mismo vaso no pesa tampoco sino sobre el fondo cuando está solicitado únicamente por la gravedad; pero si se añade en su parte superior una fuerza capaz de vencer la cohesión de sus partículas, se reconoce al momento que la acción del peso se ejerce también sobre las paredes laterales, y aun sobre las superiores; pues si halla en cualquier punto que sea, una abertura, se le ve salir por ella en filamentos.

Las grasas, cuyas partículas son ya bastante móviles, se aprietan por su propio peso cierta cantidad; pero sobre todo los líquidos son los que presentan esta propiedad de un modo notable. En efecto, no es posible elevar una columna líquida sin que se hunda por su propio peso, por la suma movilidad de sus moléculas. Resulta evidentemente que si un cuerpo líquido está encerrado en un vaso, no solamente oprime al vaso en el sentido de la gravedad, sino también en un sentido perpendicular á esta, es decir, horizontal.

308. Además de estas dos presiones también ejercen los líquidos otra de abajo á arriba cuando están colocados en las posiciones convenientes. Para concebir como puede esto verificarse, observemos que los líquidos son impenetrables (294), y que por esta razón cuando se sumerge en ellos un cuerpo, su nivel se eleva una cantidad proporcional

al volumen del mismo cuerpo. Si en este caso el líquido está dispuesto de modo que no pueda elevarse, es evidente que ejerce un esfuerzo considerable sobre el obstáculo que se le opone. Esto es lo que sucede precisamente en el vaso *fig. 105*: la columna líquida *fg* tiende por su peso á entrar en la parte *abcd*, pero la pared *ab* se opone á la elevación del líquido, y resulta de ello que sus diferentes puntos deben experimentar cierta presión de abajo á arriba.

En general los líquidos encerrados en vasos ejercen su presión en todas direcciones.

ARTÍCULO PRIMERO.

Presión sobre la pared horizontal inferior.

309. *En un vaso vertical.*—Los diferentes puntos de la pared horizontal inferior de un vaso no están oprimidos sino en razón de su superficie y de la altura perpendicular del líquido encima de ellos. Así, pues, en el vaso cilíndrico *fig. 106* la parte *ab* del fondo, no sufre más que el peso de la columna *abcd*, lo que es evidente por sí mismo y puede probarse por la experiencia. Para esto basta quitar esta parte *ab* y disponer en su lugar una plaquita que cierre exactamente la abertura circular. Se sostiene esta placa por medio de un cordón fijo en su centro y atado al brazo de una balanza.

Conociendo el diámetro de la abertura y la altura del líquido, se calculará el volumen de la columna y se tendrá su peso si se sabe cuanto pesa la pulgada cúbica del líquido empleado (86 y 87). Se verá desde luego que para sostener la placa

cuando esta cargada del líquido, basta poner en el platillo de la balanza un peso igual al hallado, suponiendo que el peso de la placa equilibra al platillo de la balanza.

El fondo AB del cilindro sufre evidentemente el peso total del líquido.

310. *En un vaso inclinado, tal como la figura 107, ó contorneado de diferentes modos, el fondo es oprimido lo mismo que si obrase sobre él una columna líquida vertical *abcd*, cuya altura se mide por la perpendicular comprendida entre el nivel del líquido y el fondo horizontal.*

Para comprobar este hecho por la experiencia es preciso que el fondo sea móvil y se aplique á la abertura de modo que la cierre exactamente. Se sostiene este fondo casi lo mismo que en el experimento anterior por medio de una balanza que tenga uno de sus platillos ancho y llano como se ve en la figura. Calculando de antemano el peso de la columna *abcd* se verá que para sostener la placa es preciso poner en el segundo platillo un peso enteramente igual al hallado.

311. *En un vaso inclinado de dentro á fuera, como en la fig. 108, el fondo sufre el peso de una columna cuya base es *ab*, y *ad* su altura. Esto se puede comprobar por el mismo medio que los casos anteriores.*

312. *En un vaso inclinado de fuera á dentro, ó que tenga la forma de la fig. 109, estando el nivel del líquido en *c*, el fondo *ab* sufrirá la misma presión que si estuviese encima de él una columna *abdf*. Esto se prueba por experimentos análogos á los precedentes, y he aquí como puede concebirse: supongamos un vaso formado de la*

reunion de muchos tubos *fig. 110*, es evidente que el fondo *ab* sufrirá el peso de una columna *abd* (310); el fondo *cf* sostendrá la columna *cfg*; *hi* sostendrá *hig*, &c. Pero como pueden considerarse semejantes tubos en el vaso propuesto, cada parte del fondo donde desembocase un tubo sufriría el peso de una columna, cuya altura se determinaría por el nivel del líquido. La presión que sostendría la base total *ab* (*fig. 109*) será la suma de todas las presiones particulares, y esta suma representa la columna *abdf*.

Este resultado se confirma plenamente por la experiencia. Se halla que para sostener el fondo *ab* aplicado á la abertura, es preciso emplear un contrapeso precisamente igual al peso de la columna *abdf* que se ha determinado por el cálculo.

113. Se ve por estos experimentos que con una cantidad cortísima de agua se puede producir un esfuerzo tan considerable como se quiera, disponiendo sobre una base muy ancha un tubo muy largo y estrecho que se llena de líquido: en este principio se funda la construcción de la *Prensa hidráulica*, cuyos efectos son prodigiosos, y de la cual se sirven en diversos talleres para operaciones que exigen esfuerzos considerables. El resultado que hemos obtenido de los experimentos precedentes se ha llamado mucho tiempo *paradoja hidrostática*, porque su enunciado es efectivamente paradójico.

ARTÍCULO II.

Presión sobre la pared horizontal superior.

314. Nos proponemos en este lugar manifestar

1.

Mm

que las diferentes partes de la pared horizontal superior están oprimidas de abajo á arriba en razon de su superficie, y de la altura del líquido que puede hallarse encima.

Si se hace en h (*fig. 105*) una abertura pequeña, y se coloca en ella un tubo vertical hi , quedando destruida en este punto la resistencia de la pared, puede salirse el líquido: se eleva este en el tubo hasta que su superficie está á nivel con la del líquido en la columna fg . Este establecimiento de nivel nos conduce á la conclusion de que la abertura h está empujada de arriba á abajo con la misma fuerza que de abajo á arriba; puesto que para que dos fuerzas opuestas se destruyan es preciso que sean iguales. Luego la presion que sufre de abajo á arriba cada parte de la pared horizontal ab es igual al peso de una columna líquida, cuya base seria la misma ab , y cuya altura seria la de la columna fg .

El tubo hi puede ser recto ó inclinado bajo todos los ángulos posibles; el nivel se establece siempre.

Resulta de la presion que ejercen los líquidos de abajo á arriba, que un cubo de sacar agua puede llenarse del mismo modo por su parte inferior, que por su parte superior. Basta para esto disponer en el fondo del cubo una válvula que se abra de abajo á arriba, y que se cierre despues por el peso del líquido que ha pasado encima de ella. Se emplea este medio mas particularmente para sacar agua de pozos muy profundos, y se usan entonces dos cubos muy grandes, atados á los extremos de una misma cuerda que gira sobre un torno horizontal; uno de los cubos sube mientras el otro baja.

ARTÍCULO III.

Presion sobre las paredes laterales.

315. *Paredes verticales.* — Consideremos en la pared vertical (*fig. 111*) una superficie cuadrada, cuyo lado sea ab ; esta superficie estará oprimida como si fuese horizontal, y tuviese encima una columna líquida, de la cual seria base la misma ab , y cuya altura seria cd distancia entre el centro c de la superficie cuadrada, y el nivel del líquido. Para probarlo se calculará el peso de la columna de líquido propuesta representado por la expresion *sup.* $ab \times cd$; despues quitando la superficie ab se cubrirá el agujero con una hoja de lata que pueda cerrarle exactamente. Se sostiene esta placa por medio de un cordon que pase por una polea o , y esté atado al brazo de la balanza; por medio de este aparato se reconocerá que para sostener la placa cuando el nivel del líquido está en d , es preciso poner en el platillo opuesto un peso igual al dado por el cálculo para *sup.* $ab \times cd$.

En general las diferentes partes de las paredes laterales verticales de un vaso están comprimidas en razon de su superficie y de la altura del líquido sobre su centro.

316. *Cuando las paredes laterales están inclinadas de dentro á fuera como fig. 112*, hay que considerar en cada punto la accion de la gravedad, y la que se ejerce en sentido horizontal. Si se hiciese un agujero en a el líquido deberia correr verticalmente en virtud de la gravedad, y horizontalmente en virtud de la presion horizontal; pero como está so-

licitado á la vez por estas dos fuerzas, tomará una direccion intermedia, que cerca de la abertura será sensiblemente perpendicular á la pared.

317. *Si las paredes están inclinadas de fuera á adentro (fig. 113)* hay que considerar en cada punto la presion lateral, y la presion de abajo á arriba. En virtud de estas dos presiones combinadas el líquido sale por la abertura *a* en una direccion perpendicular á la pared.

318. En virtud de la presion que se ejerce lateralmente, un líquido encerrado en un depósito corre cuando halla una abertura por cualquier parte de la pared lateral. La rapidez del chorro es tanto más considerable cuanto más baja está la abertura respecto del nivel del líquido en el depósito.

Por la presion que ejercen los líquidos lateralmente, suelen reventarse los diques que sostienen las aguas de un estanque, lago ó rio, cediendo al enorme esfuerzo que sufren.

319. *Cuando en un vaso lleno de un líquido se introduce otro vacío ó lleno*, cada punto de las paredes del último es comprimido en razon de la altura del líquido sobre él. Por esto un bajel que está taladrado por una causa cualquiera en su parte sumergida, hace agua por la abertura, entrando el líquido por ella con tanta mayor fuerza cuanto más elevado está su nivel respecto del agujero.

ARTÍCULO IV.

Presion en todas direcciones.

320. *Se puede decir en general que los líquidos*

comprimen en toda especie de direcciones; pero las presiones de arriba á abajo, de abajo á arriba, y horizontal son las principales; todas las demas pueden ser miradas como el resultado de las acciones simultáneas de estas.

Asi pues cuando en el vaso *fig.* 105 el tubo *hi* es vertical, la presión de abajo á arriba es la que obra solamente para elevar el líquido hasta el nivel del que queda en la columna *fg*; pero cuando el tubo es inclinado como *hk*, la presión de abajo á arriba se combina con la presión horizontal para producir este efecto. Lo mismo se verifica en los vasos que comunican de un modo cualquiera con tubos de figuras diferentes, ó con otros vasos (*fig.* 114). En todos los casos el nivel se establece cualquiera que sea la forma de los tubos, su inclinacion sobre el vaso principal, y sus contornos.

Efectivamente, en los tubos contorneados (*fig.* 115) se establece tambien el nivel en virtud de la presión horizontal, y de la presión de abajo á arriba.

321. *La propiedad de los líquidos de procurar siempre estar á nivel en los vasos comunicantes es sumamente importante para la conduccion de las aguas.* — Si se trata por ejemplo de conducir aguas desde una montaña á otra que está separada de ella por un valle, bastará establecer sobre la segunda un depósito que esté al nivel del manantial, y disponer sobre las vertientes tubos de comunicacion. Por este medio se distribuye el agua en los cuarteles de una poblacion grande, valiéndose de tubos ó conductos ocultos por el pavimento de las calles; los cuales parten de un depósito situado á cierta altura. Tambien se puede elevar de este modo el agua á los diferentes pisos de una casa, con tal que estos

pisos no estén mas altos que el depósito. Las fuentes, los surtidores, &c. son producidos del mismo modo: los surtidores se elevarian á la altura del nivel del agua en el depósito que los produce, á no oponerse en parte á la elevacion, la resistencia del aire y el rozamiento en las paredes de los tubos del conducto.

322. No podemos concluir esta materia sin advertir que, supuesto que las partes inferiores de los conductos sufren una presión muy considerable cuando la columna líquida es muy alta, es esencial que las paredes inferiores de los tubos tengan un grueso bastante considerable para resistir; pero seria inutil dar el mismo espesor á las paredes superiores, pues sobre no ser necesario, no contribuiria mas que á gastar materia en valde. Será facil calcular los espesores que deben darse en los puntos en que tenga la pared que presentar suficiente resistencia, puesto que se sabe que la presión en dichos puntos se mide por el peso de las columnas líquidas respectivas.

323. *Los manantiales que se hallan en parages muy elevados*, y al rededor de las cuales no se ven otros que estén mas elevados, á lo menos sensiblemente, pueden provenir de la comunicacion de una montaña á otra por las cavernas naturales, á favor de las cuales el líquido busca su nivel como hace siempre que puede.

Los surtidores naturales ó manantiales que brotan con ímpetu en algunos parages, son fenómenos análogos á los surtidores artificiales; se presentan á nuestra vista siempre que hay un depósito superior de donde pueda venir el agua por conductos naturales. En ciertos parages basta hacer un agujero en

la tierra con un barreno ó sonda para obtener un manantial surtidor; este es un medio que se emplea frecuentemente en el dia para lograr aguas. Esta circunstancia debe verificarse siempre que á alguna distancia bajo la tierra haya dos capas impermeables ó impenetrables al agua, cuyo intermedio ya sea libre ó ya esté lleno de arena forme una especie de conducto que comuniqué con un rio ó una masa de agua cualquiera de un nivel mas elevado; basta que las capas estén dispuestas como en la *fig. 116* algo inclinadas, de modo que las aguas puedan reunirse en su intervalo. Se han hecho en los alrededores de Paris algunas fuentes de esta especie, y han tenido buen éxito en muchos parages (*).

Pozos.—Existen muchas veces á corta distancia de la superficie de la tierra porciones de aguas considerables; estas aguas filtran desde la superficie del terreno por las capas que les dejau penetrar hasta que llegan á una impermeable. Tambien pueden provenir al traves de las mismas capas, ó por varias cavidades, de algun lago ó corriente que se halle en las inmediaciones. Muchas veces al ahondar los pozos en busca de aguas, y particularmente cuando hay que profundizar mucho, sucede que al llegar á encontrarlas se elevan en el pozo con tal violencia que no tienen los trabajadores el tiempo necesario para retirarse, originándose algunos accidentes desagradables. Siempre que el terreno tenga

(*) Esto es lo que se llama *fuentes ascendentes*, y *pozos artesianos*, y por esto no producen siempre el efecto deseado, pues ademas de que la naturaleza del terreno debe ser á propósito, es preciso que se encuentre con una corriente subterránea para obtener buen éxito. = *E. T.*

la disposicion que representa la *fig.* 116, podrá llegar el caso de que tratamos al ahondar un pozo tal como en *A*, pues el agua subiria en el con suma velocidad, á causa de la extraordinaria presion que ejerceria por estar el nivel *ab* muy elevado.

324. En todo lo que hemos dicho hasta ahora hemos supuesto los vasos llenos de un solo líquido; la presion que sufre un punto cualquiera de la pared depende de la densidad del líquido y de su altura en el vaso; pero puede suceder que líquidos de diferentes pesos específicos, tales como mercurio, agua, espíritu de vino, &c. se hallen encerrados en un mismo vaso donde cada uno ocupará un lugar dependiente de su mayor ó menor peso específico comparado con el de los demas. En este caso, para hallar la presion en un punto dado seria preciso valuar la altura de cada capa de naturaleza diferente, calcular los pesos de las diversas porciones de estas capas que pueden gravitar sobre la parte propuesta, y sumar estos pesos para tener la presion total.

Mientras que los volúmenes líquidos que se equilibran en vasos que se comunican son de la misma naturaleza, tienen necesariamente la misma altura; pero si el líquido contenido en uno de los vasos es mas ligero ó pesado que el del otro, sus alturas estarán en razon inversa de los pesos específicos. Asi es que una columna de mercurio que equilibrase á otra de agua seria catorce veces menor que ella. Esto mismo lo vemos en nuestros barómetros, en los cuales una columna de mercurio de 76 centímetros (32 pulgadas y 8,76 líneas españolas) de altura, equilibra á otra de aire de 53000 metros (63404 varas españolas).

CAPÍTULO VIII.

Efectos de la presión de los líquidos sobre los cuerpos que se sumergen en ellos.

325. Los cuerpos sólidos pierden parte de su peso por la inmersión en un líquido. — Concibamos en medio de la masa líquida (fig. 117) un paralelepípedo sólido *ai* bastante pesado para hundirse en el líquido, y examinemos los diversos efectos que pueden resultar de la presión que sufre en varias direcciones.

La cara lateral *abcd* está comprimida por una columna líquida, á la cual sirve de base, y cuya altura está determinada por la distancia de su centro al nivel superior (315); la cara opuesta *fgih* sufre una presión igual, pero en sentido contrario; de suerte que estas dos presiones se destruyen mutuamente, y no pueden dar al cuerpo ningun movimiento de traslación. El mismo raciocinio se puede emplear para las caras *achf*, *bdig*.

La cara superior *adgf* sufre la presión de una columna líquida, cuya base es ella misma, y *mn* la altura.

La cara inferior *cdih* está comprimida de abajo á arriba por la columna líquida á que sirve de base, y cuya altura es *Pn*. Esta presión tiende á elevar el cuerpo; pero si se rebaja de ella la presión superior que procura hacerle bajar, no quedará mas de abajo á arriba que una presión determinada por una columna líquida, cuya base es *cdih* y cuya altura es *Pm = ca*. Este es precisamente el volumen del paralelepípedo; luego el cuerpo sólido

está solicitado de abajo á arriba por un esfuerzo igual al peso del volumen líquido que desaloja, y de consiguiente debe perder de su peso una parte igual al del volumen líquido desalojado.

Para probar por la experiencia la verdad de esta conclusion, tómese un decímetro cúbico (79,8 pulgadas cúbicas españolas) de estaño puro; se hallará que en el aire pesa 7,291 kilogramos, ó 15,84 libras españolas (86); pero si se le sumerge en el agua despues de haberle fijado en la cadena de una balanza y se pesa de nuevo, se verá que su peso es solo de 6,291 kilogramos, ó 13,67 libras; habiendo perdido un kilogramo, que es precisamente el peso (87) del decímetro cúbico de agua que ha desalojado.

Si en vez de pesar el cuerpo en agua se le pesa en espíritu de vino, no perderá un kilogramo, porque el decímetro cúbico de espíritu de vino no pesa esta cantidad, sino solamente 0,837 kilogramos, ó 2,01 libras.

En general, cuanto mas considerable es la densidad del líquido empleado, tanto mayor es la pérdida de peso del cuerpo sumerjido.

326. Por estos experimentos se ve, por qué es mas facil levantar un cuerpo cuando está sumerjido en el agua, que cuando está al aire libre. Todo el mundo sabe que se levanta facilmente una viga que se halla en el fondo de un estanque, mientras que no es posible moverla al aire libre; esto es porque en el agua ha perdido de su peso una parte igual al peso del volumen líquido que desaloja. Por ejemplo, una viga de encina de dos decímetros (8,6 pulgadas) de escuadria y 3 metros (4,5 varas) de longitud pesa cerca de 150 kilogramos (326 libras):

el volumen de agua que desaloja pesa 120 kilogramas (260 libras), porque es de 120 decímetros cúbicos, luego solo le quedan á la viga 30 kilogramos (66 libras) para peso sensible en el agua.

No se principia á sentir el peso de este madero hasta que ha salido en parte del agua. Nadie habrá podido evitar el hacer esta observacion, ya de un modo ya de otro: sacando un cubo de agua, por ejemplo, se ve que cuando el cubo está sumerjido, se le levanta con la mayor facilidad, mientras que al salir del agua se nota bien su peso. Este efecto es muy sencillo; el agua que llena al cubo no tiene peso sensible para nosotros mientras forma parte de la masa total, porque las presiones que sufre del resto de la masa se equilibran, y ademas el mismo cubo pierde parte de su peso por su inmersion; pero en el momento en que sale todo fuera del liquido, es preciso sostener á la vez el peso total del cubo y del agua que contiene.

327. *Principios de la determinacion del peso especifico de los sólidos.*—En el conocimiento del fenómeno que acabamos de citar, á saber, que los cuerpos sólidos pierden al sumerjirse en un liquido una parte de su peso igual al del volumen liquido que desalojan, se funda el segundo método de hallar el peso especifico de un cuerpo, como hemos anunciado antes (84).

Despues de pesar un cuerpo en el aire, se pesa en el agua; la diferencia entre el primer peso y el segundo es el peso del volumen liquido desalojado; pero este volumen es igual al del cuerpo; luego se tiene el peso del agua y del cuerpo en igualdad de volumen, y por consiguiente se puede establecer la proporcion que sigue: p (peso del agua): p' (peso

del cuerpo): ρ_1 (peso específico del agua): ρ_2 (peso específico del cuerpo).

328. En este método, lo mismo que en el otro, es preciso tener presentes las mismas observaciones que se hicieron (85 y 86) sobre los cuerpos susceptibles de embeber el agua ó disolverse en ella.

CAPÍTULO IX.

Cuerpos flotantes.

En el capítulo anterior hemos supuesto que el cuerpo sólido *ai* (fig. 117) era mas pesado que el líquido en que estaba sumerjido; nos falta ver lo que sucede cuando es mas ligero.

329. *Todo cuerpo flotante desaloja un volumen de líquido cuyo peso es igual al suyo.* — Cuando el cuerpo, *ai* (fig. 117) es mas pesado que el volumen de líquido que desaloja, cae al fondo en virtud del exceso de su peso; si al contrario es mas ligero, debe dirigirse á la parte superior en virtud del exceso de la presión de abajo á arriba sobre la de arriba á abajo. Esta presión debe obligarle á salir en parte del líquido; pero al instante en que principia á salir, la cantidad de líquido desalojado disminuye, y por consiguiente tambien la fuerza de ascenso; de suerte que llega un momento en que el volumen del líquido desalojado es tal que su peso equilibra al del cuerpo, y en este punto solicitado el cuerpo tanto de abajo á arriba como de arriba á abajo, debe necesariamente flotar ó nadar.

Para probar por experiencia que un cuerpo sólido que flota en la superficie de un líquido, des-

aloja un volumen de este liquido, cuyo peso es igual al suyo, se puede tomar un vaso de hoja de lata (*fig. 118*) bastante ancho para admitir en su interior una bola de cera de tres ó cuatro pulgadas de diámetro. Este vaso está taladrado en *a* por un agujero al cual se adapta un tubito: se echa agua hasta que se derrame por el tubito *a*, y se establezca el nivel.

Hecho esto se coloca en la superficie del agua la bola de cera, ú otro cuerpo analogo; esta bola ó cuerpo hundiéndose en parte en el agua, desalojará una porcion, que saldrá por el tubo *a* y se recogerá en una vasija tambien dispuesta para el efecto.

Pesando la cantidad de agua desalojada, se verá que su peso es exactamente igual al del cuerpo flotante. El mismo experimento se puede hacer con cualquiera otro liquido, y se obtendrá siempre el mismo resultado.

330. *Consecuencias y ejemplos de las consideraciones anteriores.* — Se puede concluir de lo expuesto que cuanto mas denso es el liquido empleado, ó mas ligero el cuerpo, menor es el volumen desalojado: por consiguiente el cuerpo flotante se sumerge tanto menos, cuanto mas denso es el liquido en que nada respecto á él.

Todos los cuerpos que bajo un volumen determinado pesan menos que un volumen de tal ó cual liquido, pueden flotar en la superficie de este liquido. Asi es que el hierro, cobre, mármol, vidrio, y en general todos los cuerpos, á excepcion del platino, oro y algunos metales poco comunes, pueden flotar sobre el mercurio por ser específicamente mas ligeros que este liquido. Un sin número de cuerpos pueden flotar tambien sobre varios

metales en fusion, y esto es lo que determina á las escorias y cuerpos extraños á dirigirse á la superficie de los metales fundidos.

Todos los cuerpos que son específicamente mas ligeros que el agua, como la mayor parte de las maderas, el corcho, la cera, las grasas y aceites &c., pueden flotar en la superficie de este líquido.

Puede suceder que un cuerpo despues de haber flotado durante algun tiempo en la superficie de un líquido, se hunda en él, como sucede con las maderas en el agua; pero es facil concebir que proviene de que estos cuerpos embeben el líquido.

Siendo el espíritu de vino muy ligero específicamente, hay muy pocos cuerpos que puedan flotar en él; así es que la cera, las grasas, los aceites crasos &c., que flotan facilmente en el agua, se sumerjen en el espíritu de vino; unicamente el corcho y algunas maderas, como el olmo, el pinabete, el sauce &c., se hallan en el caso de poder flotar.

Como los líquidos varían de su densidad por las variaciones de la temperatura, puede suceder que un cuerpo que flota en un líquido á una temperatura baja, no pueda flotar en él si la temperatura está mas elevada. Esto sucede con algunas clases de madera que nadan en el agua fria y se hunden en el agua hirviendo.

Cuando el agua tiene alguna sal en disolucion se aumenta su densidad; de suerte que muchos cuerpos que no flotan en el agua pura, pueden hacerlo en el agua salada. Podemos citar con este motivo el experimento hecho con un huevo que flota en una disolucion salina y se sumerje en el agua dulce. Por la misma razon un barco muy cargado puede navegar con seguridad en el mar y sumer-

jirse al entrar en un rio, accidente que se ha verificado algunas veces.

331. *Arte de nadar.*—El cuerpo humano es casi siempre un poco mas ligero especificamente que el agua dulce, de suerte que nada naturalmente en este líquido; con mucha mayor razon flota en las aguas saladas, y no hay nadie que no pueda probar en efecto que es mas facil nadar en el mar que en las aguas dulces.

Las personas gruesas, en general, nadan mas facilmente que las delgadas, y aun hay personas que no pueden sumerjirse en el agua, y que sin querer se mantienen en su superficie con la mayor facilidad. A pesar de esto es preciso, en general, tomar algunas precauciones para evitar el sumerjir la cara en el agua: en esto y en avanzar sobre el líquido es en lo que consiste el arte del nadador. Se sostiene bien un hombre de espaldas sin hacer ningun movimiento, particularmente si tiene las piernas algo inclinadas al fondo.

Si los animales tienen al parecer mas ventajas para nadar que el hombre, las deben á la disposicion natural de sus cuerpos; la parte posterior es en ellos mas pesada que la anterior; de suerte que pueden sin mucho esfuerzo tener siempre su cabeza fuera del agua y respirar libremente. En el hombre al contrario, la parte anterior del cuerpo, y sobre todo la cabeza es la mas pesada; de suerte que la cabeza es la que tiende á sumerjirse la primera, y por esto es preciso un estudio particular para sostenerla fuera del agua y poder respirar libremente.

332. *Influencia de la forma de los cuerpos en su flotacion.*—Todos los cuerpos por pesados que

sean pueden flotar en la superficie de un líquido, siempre que se les de una forma tal que con poco peso puedan presentar un gran volumen. Por ejemplo, una masa metálica se hunde en el agua porque desalojando poco líquido, la presión que sufre de abajo á arriba no puede equilibrar la que su peso ejerce de arriba á abajo; pero si en vez de dejar esta cantidad de metal en una masa maciza, se la dispone en forma de esfera hueca de paredes delgadas, desalojará un volumen de agua muy considerable, y será desde luego empujada de abajo á arriba con una fuerza que no solo podrá equilibrar á su peso, sino echarla en parte fuera del líquido. De este modo se pueden hacer flotar en el agua bolas metálicas muy pesadas.

Se ve facilmente que una placa de metal perfectamente plana no podría flotar en la superficie de un líquido porque en este estado no desaloja mas líquido que cuando está en una masa maciza; pero si se levantan sus bordes ó se le da de cualquier modo una forma cóncava, el volumen líquido que desalojará, será mas considerable y podrá ser capaz de sostenerse; asi es que un timbal, un cubilete, y la mayor parte de los vasos que usamos, flotan con facilidad en la superficie del agua.

Los cuerpos que naturalmente flotan en la superficie del agua, como son la mayor parte de las maderas, flotan aun mas facilmente cuando se les dispone en formas cóncavas: la experiencia ha enseñado hace largo tiempo á todos los pueblos, el que en vez de hacer simples planos de tablas flotantes ó *balsas*, hagan barcas, chalupas &c., de las formas que conocemos.

333. *Uso de los cuerpos flotantes para el tras-*

porte de los fardos. — Todo el mundo sabe que juntando un cuerpo pesado con otro flotante se puede lograr hacer flotar el conjunto; esto hacen muchas veces los nadadores principiantes, poniéndose unos pedazos de corcho por debajo de los brazos, ó adaptando á su cuerpo del mismo modo unas vejigas llenas de aire. Igual operacion se hace en cierto modo cuando se trasportan por agua objetos de un punto á otro en un bajel cualquiera.

En general un cuerpo flotante puede siempre llevar cierta carga, tanto mayor cuanto menos se sumerja este cuerpo en el líquido por su propio peso. Esta carga puede colocarse en la parte superior del cuerpo flotante, como generalmente se hace; pero tambien se podria en ciertos casos colocarla de un modo cualquiera en su parte inferior, con lo cual se conseguiria la ventaja de que, perdiendo la carga parte de su peso por la inmersion, pesaria menos sobre el cuerpo flotante.

334. *Uso de los cuerpos flotantes para levantar masas colocadas en el fondo del liquido.* — Los cuerpos flotantes pueden emplearse ventajosamente para levantar cuerpos que se hallasen en el fondo del agua, y á los cuales se atasen con cuerdas ó cadenas: esto puede hacerse de dos modos como vamos á indicar.

Supongamos que una bola hueca (*fig. 119*) que flota en la superficie del agua esté atada al cuerpo *A*: mientras que el nivel del agua permanezca en la misma altura, el cuerpo *A* no sufrirá ningun movimiento; pero si el nivel se eleva, la bola se elevará tambien con cierta fuerza, y arrastrará en su movimiento al cuerpo *A*, á menos que su peso no sea demasiado considerable. Si el nivel

del agua vuelve á bajar, el cuerpo *A* tomará por sí mismo su primera posición.

Se emplea muchas veces este medio para *mantener el agua en un nivel constante en un estanque*; la bola hueca está entonces atada con una cadena ó cuerda á la compuerta que se quiere hacer mover para dar salida al líquido superabundante. Cuando una nube, por ejemplo, arroja gran cantidad de agua, y eleva el nivel del depósito, la bola levanta la compuerta, y el líquido sale. Como la compuerta se levanta tanto mas cuanto mas alto está el nivel, se forma por consiguiente una salida proporcionada á la afluencia de las aguas.

Cuando un buque encalla en la costa se puede usar un medio análogo para desencallarle si se halla en un parage en que haya una marea bastante fuerte. Mientras la marea baja se hechan cuerdas por debajo del buque, y se atan á las lanchas; cuando llega la marea alta, se elevan las lanchas, y por la fuerza que ejercen desencallan el buque que por sí mismo se pone flotante.

335. Todo lo que acabamos de decir supone que el nivel del agua considerado de cierta altura, pueda elevarse aun mas; pero si esta circunstancia no se verifica, existe otro medio análogo para obtener el mismo resultado.

Un bajel puede cargarse hasta el punto de sumerjirse considerablemente en el agua; si mientras está cargado así, se le ata fuertemente á un cuerpo que esté en el fondo del líquido, es evidente que á medida que se descargue ejercerá sobre dicho cuerpo un esfuerzo igual al peso que se le quitará; podrá pues llegar un punto en que el barco levantará al cuerpo sino es demasiado pesado. Se

ha empleado muchas veces este medio para sacar del fondo de las aguas un bajel ó un cuerpo pesado que estaba sumerjido, y ponerle en estado de subir á flor de agua. Para lograr este resultado los buzos pasan cuerdas por debajo del bajel ó cuerpo propuesto; se atan estas cuerdas á lanchas cargadas de piedra ó de agua, colocadas simétricamente al rededor, y encima del cuerpo, y se estiran fuertemente. Hecho esto se vacian las lanchas, que haciéndose mas ligeras se elevan y levantan el cuerpo.

El mismo medio se emplea para levantar algo un barco, y hacerle pasar por encima de un banco de arena (*).

Areómetros.

Un cuerpo que flota en un líquido desaloja un volumen del mismo, cuyo peso es igual al suyo (325); se hunde tanto mas cuanto menos denso es el líquido. En este principio se funda la construcción de los areómetros (**).

(*) Parece que en el Loira emplean otro medio para hacer pasar facilmente un barco por los bancos de arena movidiza, de que está lleno este rio. Sea *ABCDEF* (fig. 120) el plano horizontal del barco: se fijan en el extremo del barco piezas de madera que puedan moverse en *C* y *E* como sobre un eje, y aplicarse á lo largo de los costados *BC* y *FE*: al llegar encima de un banco, ya sea al subir ó al bajar, empujan estas piezas los marineros, y les hacen describir un ángulo con el flanco del barco, como indica la figura. El agua se engolfa entre estas aberturas, y eleva un poco el nivel por donde va el barco, conservando el mismo en todos los demas puntos: por este medio el barco salva el banco pasando por encima.

(**) La expresion *areómetro* se deriva de *ἀραιός*, sutil, ligero, y *μέτρον* medida como si dijéramos *medida*

336. *Areómetro de Fahrenheit.* — Es un tubo de vidrio cilindrico con un pequeño peso en *A* (*fig. 121*), y terminado en *B* por una especie de platillo. En *C* está señalado con una rayita. Este instrumento en virtud de su propio peso se hunde en los líquidos mas ó menos. Añadiendo pesos mas ó menos considerables en el platillo se puede en todos los casos hacerle sumerjir hasta la señal *C*, lo cual se llama *enrasar*. Desde luego puede servir para determinar facilmente los pesos específicos de los líquidos.

En efecto, el peso del instrumento, mas el que es preciso añadir en el platillo *B* para enrasarlo en el agua destilada, es el peso del volumen de agua desalojado: del mismo modo el peso del instrumento, mas el que se ha añadido para enrasarle en otro líquido es el peso del volumen del líquido desalojado. Pero estos volúmenes son iguales, luego se tiene el peso del agua y del líquido propuesto en volúmenes iguales, por consiguiente hallando la razon entre estos dos pesos, se tiene el peso específico del líquido empleado, referido al del agua destilada que se toma por unidad.

337. *Areómetro de Baumé.* — Este consiste en un tubo de vidrio lastrado en *A*, y graduado de tal modo que sus divisiones indican las centésimas partes de tal ó cual sal, de tal ó cual ácido, ó de espíritu de vino que están mezcladas con agua pura. Se conoce en la práctica con el nombre de *pesalicores*.

Para construir este instrumento se le sumerje en agua destilada, y el punto donde queda en equi-

de ligereza, porque el areómetro hace conocer cuanto es mas ligero ó pesado un líquido que otro.

librio se señala con *cero*; despues se le sumerje en una disolucion que tenga $\frac{1}{100}$ de su peso de sal comun; despues en otra que tenga $\frac{2}{100}$ &c., á cada operacion se sumerje menos en el liquido, y se señala el punto donde queda en equilibrio. De este modo se tiene una escala que indica las centésimas de sal que tiene el agua en disolucion.

Del mismo modo se opera para cada especie de sal; pues es necesario observar que para cada especie es preciso tener un instrumento á propósito, es decir, que el graduado para sal comun, no puede servir para salitre, ni este para alumbre, &c. Lo mismo se hará con los instrumentos destinados á las mezclas de agua y ácidos, agua y espíritu de vino; pero como estos cuerpos no existen sin tener alguna parte de agua, es preciso elegir en cada uno de ellos una cantidad lo mas rectificada posible, y despues ir la mezclando sucesivamente por centésimas con el agua destilada.

338. *Utilidad de este aréometro.* — Cuando se compra espíritu de vino por ejemplo, es util para no ser engañado conocer que cantidad de agua contiene. Supongamos que en el licor propuesto señale el instrumento 25° , es claro que en el liquido no hay mas que $\frac{25}{100}$ del peso total del espíritu de vino que ha servido de norma para la graduacion del instrumento; de suerte que si se compra una barrica de 400 libras, no se deberá pagar mas que los $\frac{25}{100}$ ó cien libras como alcohol puro, siendo el resto de agua.

Este instrumento sirve tambien en las fábricas para señalar en las disoluciones salinas, la proximidad del grado de concentracion que necesitan para hacer con ellas tal ó cual operación.

Será bueno advertir que la mayor parte de los aréometros ó pesalicores que se hallan de venta en los quinquilleros &c., están malísimamente contruidos.

339. *Gravímetro de Nicholson.*— Nicholson imaginó aplicar el aréometro de Farhenheit á la determinacion de los pesos especificos de cuerpos sólidos. Lo construyó para este efecto de hoja de lata, añadiéndole una especie de platillo movil *A* fig. 123.

Sea a el peso que es preciso poner en el platillo superior para enrasar el instrumento. Despues de haber quitado este peso se le sustituye por el cuerpo propuesto; si este cuerpo es capaz de enrasar exactamente el instrumento, se deduce que su peso $p = a$; pero esto sucede muy rara vez, y aun en general es preciso tomar una porcion del cuerpo, cuyo peso sea menor que a . Desde luego será preciso añadir á este cuerpo un peso pequeño b para enrasar el instrumento, y se tendrá $p + b = a$ ó $p = b - a$ para el peso buscado.

Se sumerjirá despues el cuerpo en el platillo inferior; en él perderá una parte de su peso, y por consiguiente no enrasará el instrumento, será pues preciso añadir al lado del peso restante b otro peso c , que expresará evidentemente la pérdida de peso que tiene el cuerpo en el agua; es decir, el volumen del agua desalojada: de consiguiente se podrá establecer la siguiente proporcion: c (peso del agua): $a - b$ (peso del cuerpo) :: 1 (peso específico

del agua): x (el del cuerpo) de donde $x = \frac{a-b}{c}$.

340. Si se conoce el peso del instrumento, y el volumen de agua destilada que desaloja cuando está enrasado, se podrá determinar el peso específico de un cuerpo con cualquier líquido. Se determinará desde luego el peso específico de este líquido (357) que llamaremos d : se determinará en seguida el peso del cuerpo $a-b$, y la pérdida c que tiene en el líquido propuesto: despues se establecerá la proporción c (peso del líquido): $a-b$ (peso del cuerpo): : d (peso esp. del líquido): x de donde $x = \frac{a-b}{c} \times d$. Sustituyendo por d su valor hallado antes se tendrá el peso específico del cuerpo como si se hubiese empleado agua.

Este método puede ser muy útil en un viaje donde no suele haber agua destilada á mano. Se cuida de señalar en el instrumento su peso, y el del agua que desaloja para no olvidarlos.

CAPITULO X.

Ascenso y depresion de los líquidos al rededor de los cuerpos que se sumerjen en ellos, ó capilaridad.

341. Cuando se sumerge en un líquido un cuerpo capaz de mojarse en él, se eleva el líquido sobre su nivel describiendo una curva cóncava (fig. 124), como sucede cuando se sumerge una lámina de vidrio en el agua, ó una de oro ó plata en el mercurio.

342. *Cuando se sumerje un cuerpo incapaz de mojar, el líquido se deprime al rededor del cuerpo, y forma una curva convexa (fig. 125), como se verifica cuando se sumerje una lámina de vidrio en el mercurio, ó la misma lámina untada ligeramente de grasa en el agua.*

343. *Hay cuerpos al rededor de los cuales conserva el líquido su nivel sensiblemente: esto se verifica siempre que la atraccion de las partículas líquidas entre si es la misma que la atraccion entre estos cuerpos y el líquido. Por ejemplo, sumerjiendo en el agua una lámina de acero pulimentado, el líquido conserva sensiblemente su nivel: sumerjiendo en mercurio perfectamente seco una lámina de vidrio bien disecada, se ve tambien conservar el líquido su nivel al rededor.*

344. *Si se sumerjen en el agua dos láminas de vidrio paralelas, y bastante próximas, se ve que las ramas de las curvas se reunen como fig. 126, y se forma una superficie cóncava entre ambas láminas, elevándose el agua entre ellas sobre el nivel exterior, tanto mas cuanto mas próximas están.*

345. *Si se sumerjen estas láminas en mercurio se forma entre ellas una superficie convexa (fig. 127), y el metal se mantiene en el interior mucho mas bajo del punto en que se halla en el exterior.*

346. *Si se sustituye un tubo á las láminas de vidrio se verificarán los mismos efectos: el agua se eleva en su interior por encima del nivel exterior, y tanto mas cuanto mas estrecho es el tubo; al contrario el mercurio se deprime. Estos son los fenómenos que presentan los tubos capilares; fenómenos que se verifican tambien en tubos mayores que los*

que lo que indica el adjetivo *capilar*; pero son mucho mas visibles en los tubos estrechitos.

347. *Causas del ascenso y depresion de los líquidos.* — A vista de estos fenómenos ocurre naturalmente el deseo de saber de que provienen, y para esto se han inventado muchas hipótesis; debemos á Laplace una explicacion que lleva consigo bastante verosimilitud.

En virtud de la atraccion molecular las partículas de la superficie de un cuerpo procuran penetrar en su interior. Laplace demuestra por el cálculo que un cuerpo terminado en superficie curva ejerce sobre las moléculas de esta superficie una accion diferente que si está terminado en plano. Esta accion es menor si la superficie es cóncava, y mayor si es convexa.

Si la superficie es esférica, la accion está en razon inversa del radio.

Si la superficie no es esférica, la accion depende de la semi-suma de las acciones en dos esferas cuyos radios fuesen el mayor y el menor radio de curvatura de la superficie en el punto considerado.

Se pueden hacer visibles por la experiencia estas diferencias de accion del líquido segun la forma de su superficie. Tómese un tubo recurvo (*fig. 128*) é introdúzcase en el agua y se verá ponerse el líquido á nivel en ambos brazos terminándose en uno y otro por dos superficies cóncavas. Pero si se unta uno de los brazos con grasa se verá que el líquido termina por la parte untada en una superficie convexa, y por la otra parte en cóncava, se notará que en está se elevará considerablemente el líquido sobre su nivel en la primera rama (*fig. 128*)

a. Es, pues, preciso que en esta primera rama la

accion que procura empujar las moléculas al interior, sea más fuerte que en la segunda.

Con un poco de destreza se puede determinar al líquido á conservar una superficie plana en el brazo grasiento, y se verá en este caso que el líquido del segundo no se elevará tanto sobre su nivel como cuando estaba solicitado por una superficie convexa.

En vista de estos resultados se reconoce facilmente la causa de los fenómenos. En efecto, cuando la atraccion mútua de las moléculas del líquido es mas debil que la atraccion de los cuerpos sumerjidos en él, el líquido es atraido á una pequeña distancia sobre su nivel, lo que determina al rededor del cuerpo una pequeñísima superficie cóncava: resulta de aqui que el líquido se halla solicitado por el cuerpo con una fuerza menor que la que obra sobre la superficie plana situada mas lejos y por consiguiente debe elevarse hasta que haya equilibrio.

Cuando dos cuerpos estan bastante próximos uno de otro para que las superficies curvas se crucen, se forma otra superficie, cuya concavidad es aun mas profunda. Es, pues, preciso que el líquido se eleve mas entre los cuerpos que en el exterior, hasta que la columna elevada equilibre por su peso la diferencia de accion de las superficies.

Cuando la atraccion mútua de las moléculas del líquido es mayor que la atraccion de los cuerpos que estan sumerjidos en él, se forma entre las dos láminas una superficie convexa; y resulta que el líquido está solicitado por una fuerza mayor que la que se verifica en la superficie plana exterior: es pues preciso que el líquido se deprima entre las dos láminas para que haya equilibrio.

En los tubos estrechos la superficie del líquido se aproxima mucho á la de una semi-esfera, y sus segmentos en los tubos mas y mas estrechos son poco mas ó menos semejantes: resulta de aquí que los radios de curvatura son proporcionales á los diámetros de los tubos; luego la accion de la superficie sigue la razon inversa de los diámetros de los tubos, y por consiguiente la elevacion ó depresion de la columna líquida estan sometidas á la misma relacion. La experiencia confirma esto, pues en una serie de tubos cuyos diámetros son $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ &c., las elevaciones ó depresiones son $1, 2, 3,$ &c.

Entre dos láminas de vidrio muy próximas, la elevacion ó depresion está en razon inversa de la proximidad de las láminas; pero se nota que *el líquido se eleva entre dos láminas la mitad menos que en un tubo del mismo diámetro*. Es facil concebir esto, pues en un tubo la accion de la superficie curva es la semi-suma de las acciones de dos esferas, cuyos radios serian el mayor y menor de las de curvatura; luego en el caso de dos láminas paralelas la parte de atraccion de la superficie relativa al radio segundo, desaparece, no quedando sino la del primero, por consiguiente la accion se disminuye en la mitad.

348. *Una gota de liquido puesta en un tubo cónico cuyo eje es horizontal, se dirige al vértice.*— Si el tubo fuese cilíndrico, la curvatura de la gota líquida seria la misma en sus dos extremos y quedaria estacionaria; pero siendo cónico, la curvatura es mayor por el lado del vértice; de suerte que no puede subsistir el equilibrio, y el líquido dirigiéndose por el lado de la mayor curvatura, se encamina al vértice.

249. *Dos láminas de vidrio colocadas libremente en un líquido procuran aproximarse siempre por arriba.* — Concibamos un canalito *bacd* (figuras 126 y 127). En el caso de la superficie convexa (fig. 127), *ba* equilibra á *cd* de suerte que todos los puntos situados desde *e* á *f* estan igualmente comprimidos por todas partes, pero desde *f* á *g* solo queda la presión de fuera á dentro que solicita á las láminas á acercarse por su cima.

En el caso de la superficie cóncava (fig. 126) la columna *ba* equilibra á *cd* y todos los puntos desde *e* á *f* estan igualmente comprimidos; pero desde *f* á *g* estan únicamente solicitados por la fuerza atractiva de la columna superior; luego las dos láminas deben dirigirse una sobre otra por su cima.

350. *Si se hacen flotar en un líquido dos cuerpos capaces de mojarse, se formará entre ellos una superficie curva cóncava, y se dirigirán uno á otro. Si los dos cuerpos son incapaces de mojarse, se formará una superficie convexa, y tambien se dirigirán uno á otro. Si uno es capaz de mojarse y otro no, se separarán necesariamente; lo cual puede probarse por la experiencia, valiéndose de bolitas de vidrio, unas con su superficie natural y otras con su superficie untada con grasa, y dejándolas flotar en el agua.*

351. *El ascenso de los líquidos en el interior de los cuerpos se explica por la capilaridad. Asi es que un terron de azucar que se echa en el café se le ve humedecido al momento en todos sus puntos antes de hundirse. Por la acción capilar se eleva el aceite en las mechas de los quinqués y velones: y por la misma causa el agua que hay al pie de un monton de arena, suele elevarse hasta su cima.*

SECCION TERCERA.

Movimientos de los líquidos.

CAPÍTULO XI.

Experimentos y consideraciones fundamentales.

352. *Movimientos que se verifican en la masa líquida durante su salida fuera de un vaso.*—Hemos visto ya que para permanecer los líquidos en reposo por la acción de la gravedad, necesitan ser sostenidos por todos los puntos situados debajo de la superficie horizontal que toman naturalmente en una cavidad cualquiera; la mas mínima abertura permite sucesivamente el derrame de todo el líquido que se halle encima de ella, y entonces se producen en la masa movimientos diversos que es fácil conocer valiéndose de un vaso de vidrio y haciendo flotar en él líquido algunos cuerpos sutiles ó polvos, cuyo peso específico exceda poco del suyo.

Sea AB (*fig. 129*) un vaso de vidrio de 16 á 20 pulgadas de altura, taladrado en su fondo por un agujerito circular: si se llena el vaso de agua en la cual vayan suspendidos algunos pedacillos de lacre, se verá que al momento que se permita la salida ó derrame, todas estas partículas entran en movimiento dirigiéndose hácia el orificio. Se observará: 1.º que bajan verticalmente hasta cerca de una pulgada del fondo, y llegadas á este punto se des-

vian y van de todas partes hácia el orificio con movimientos mas ó menos oblicuos, como representa la *fig. 129*. Lo mismo sucede cuando el líquido sale por una abertura lateral; en este caso no solo se nota que vienen partículas del líquido situado encima del orificio, sino tambien las partículas inferiores vienen al orificio por direcciones oblicuas.

2.º Se nota que mientras el vaso se vacia, la superficie del líquido se deprime permaneciendo sensiblemente horizontal y paralela á si misma hasta que está á algunas líneas del fondo; entonces principia á formarse en el centro de la superficie un pequeño embudo, cuya punta corresponde al centro del orificio, y cuya cavidad se aumenta mas y mas hasta el fin de la salida.

353. Si antes de permitir la salida se agita un poco al líquido, se formará el embudo mucho antes, y aun se manifestará desde el primer momento en toda la extension de la columna, como *fig. 130*, por poco que se haya procurado dar un movimiento de rotacion al líquido; si el vaso es cónico y la abertura se halla en el fondo de la parte mas estrecha, el embudo se forma prontamente aunque el líquido no tenga mas movimiento que el que le ocasiona la salida.

Cuando el agua sale por un orificio lateral no se forma embudo, pero la superficie líquida sufre un desvio del lado del orificio.

354. *Fenómenos que se manifiestan fuera del vaso en la vena líquida.* — Lo mas importante fuera del vaso es la *contraccion de la vena líquida*: se llama *vena* el chorro que sale por el orificio. Para observarla es preciso que el orificio este hecho en

pared delgada, es decir, en una placa de metal muy delgada y que esté bien contorneado, ó muy limpio. En este caso se ve que la vena líquida no llena el orificio y que va disminuyendo mas y mas hasta la distancia del semi-diámetro de esta abertura; en este punto el diámetro de la vena líquida está siempre, sobre poco mas ó menos, con el del orificio en la razon de 5:8, cualquiera que sea la altura del liquido en el vaso. Esta contraccion se nota igualmente cuando el liquido sale por una abertura lateral, y aun cuando salga en columna vertical como en los surtidores.

Se halla la causa de este fenómeno en los movimientos que se verifican en el interior de la masa líquida, donde las partículas describen curvas que converjen entre sí presentándose su convexidad y que no pueden reducirse á líneas paralelas sino á cierta distancia del orificio.

Pasado el punto en que concluye la contraccion ocasionada por los movimientos interiores *disminuye el diámetro de la vena líquida si ésta va de alto á bajo*; pero este hecho que todo el mundo ha observado sin duda al vaciar un vaso de agua, es enteramente debida á la aceleracion de velocidad que toma el liquido al bajar; pues es preciso entonces que las partículas se separen y la columna se adelgace.

En los surtidores verticales en que el liquido se mueve de abajo á arriba, siendo continuamente retardada la velocidad, se ensancha la vena líquida sucesivamente á medida que se eleva.

Muchas veces toma la vena líquida la forma de una columna en espiral. Esto se verifica siempre que el orificio por donde sale el liquido no tie-

ne sus orillas bien limpias, y tambien cuando el líquido está agitado interiormente por movimientos diferentes de los que produce la salida. Si la masa líquida está interiormente dotada de un movimiento de rotacion, se forma fuera, en virtud de la fuerza centrífuga adquirida, un embudo opuesto al que se manifiesta dentro.

Por último, *la resistencia del aire divide la columna líquida* y la hace tomar la forma de un manojo compuesto de gotas blancas y brillantes.

355. *Consideraciones matemáticas.* — Para establecer completamente la teoría matemática del movimiento de los líquidos en todos los casos que se presentan, seria preciso someter al analisis rigurosamente todas las circunstancias que influyen sobre los fenómenos; pero hasta ahora no ha podido lograrse y solo haciendo abstraccion de algunas circunstancias es como se han podido obtener resultados útiles en algunos casos particulares.

Velocidad del líquido en el orificio. — Cuando un líquido sale del vaso por una abertura hecha en el fondo ó en la pared lateral, su superficie permanece siempre horizontal hasta que el líquido llega cerca del orificio. Partiendo de este hecho, se divide mentalmente la masa líquida en una infinidad de capas horizontales muy pequeñas y que conservan su paralelismo á medida que van descendiendo, de suerte que las partículas que las componen tengan sensiblemente la misma velocidad y direccion en toda la extension de la misma capa. Supuesto esto, se demuestra que al salir por el orificio colocado en el fondo del vaso, la velocidad del líquido es precisamente la que tendria un cuerpo grave al caer de la altura del nivel sobre el ori-

ficio siempre que el diámetro de este fuese muy pequeño respecto del diámetro del vaso: de donde se sigue que en dos vasos cuyos niveles son diferentes, las velocidades en el orificio son como las raíces cuadradas de las alturas del líquido sobre dicho orificio. Si el nivel del líquido es constante, la velocidad en el orificio lo será también; si el nivel varia mas ó menos, la velocidad variará del mismo modo; y siempre será fácil valuarla en un instante cualquiera conociendo la altura del líquido en el depósito. Supongamos, por ejemplo, que esta altura sea de 1 metro, ó 3,58 pies; sabemos (88 y 103) que los cuerpos graves recorren 4,9 metros, ó 17,58 pies durante el primer segundo de su caída, y que adquieren entonces una velocidad doble, es decir, 9,8 metros (35,16 pies) por segundo. Sea pues la velocidad desconocida v , y se hará la proporcion

$\sqrt{4,9} : \sqrt{1} :: 9,8 : v$ de donde $v = 4,42$ metros, ó 15,86 pies proxímanamente.

En el caso en que el orificio está en la pared lateral se añade á la hipótesis del paralelismo de las capas la de que la velocidad de las partículas en el plano horizontal que pasa por el centro del orificio, es proporcional á la raíz cuadrada de su distancia vertical á la parte superior del fluido; de donde se sigue que todo lo que se ha demostrado para un orificio colocado en el fondo del vaso es aplicable al orificio lateral.

CAPITULO XII.

Salida de un líquido por un orificio hecho en pared delgada.

356. *Relacion de los gastos entre sí.*—Siguiendo la teoría que acabamos de indicar, buscaremos las relaciones que siguen entre sí los *gastos* (ó cantidades de líquido salidas) en vasos diferentes, en los cuales sean las que se quieran las alturas y orificios. Desde luego es evidente que en el mismo tiempo, y por aberturas iguales los gastos siguen la relacion de las velocidades, y por consiguiente la de las raíces cuadradas de las alturas de los líquidos; de suerte que si en un vaso el nivel constante se halla á 4 varas sobre el orificio, y en otro se halla á la altura de una, siendo las velocidades como $\sqrt{4} : \sqrt{1}$ ó como 2 : 1 el primer vaso dará en un tiempo fijo una cantidad de líquido doble de la que da el segundo.

La experiencia confirma este resultado: para demostrarlo se usan dos vasos, en los cuales se mantiene el nivel constante, haciendo afluir á ellos continuamente agua nueva, ó sino taladrando los orificios tan pequeños respecto al diámetro de los vasos, que la superficie del líquido baje una cantidad inapreciable en un tiempo dado. Por medio de este aparato se reconoce que, siendo los orificios iguales y las alturas 1, 4, 9, 16 &c., los gastos son entre sí como los números 1, 2, 3 &c., raíces cuadradas de los primeros.

Cuando, siendo las mismas las alturas, los ori-

ficios tienen diferentes diámetros, es evidente que los gastos deben ser entre sí como las áreas de los orificios; de suerte que si en un vaso el diámetro del orificio es 2, y en otro es 1, el gasto del primero será doble del de el segundo, lo cual tambien confirma la experiencia.

Por último, si las áreas de los orificios y las alturas del nivel son diferentes en ambos vasos, los gastos estarán entre sí en razon compuesta de las áreas de los orificios, y de las alturas de los líquidos; resultado que tambien confirma plenamente la experiencia.

357. *Cantidad de líquido suministrada en un tiempo dado.* — Las relaciones que acabamos de hallar nada nos indican sobre las cantidades de líquido suministradas en tiempos conocidos; y por lo mismo nos propondremos ahora valuar estas cantidades por medio de una abertura cualquiera á una altura determinada del líquido. Es evidente que este gasto sigue la relacion de la velocidad de la salida y la magnitud del orificio; de suerte que, siendo v la velocidad, a la área del orificio, y g el gasto, se tendrá $g = av$. La velocidad se valuará por la altura conocida del líquido. Supongamos que la altura del líquido sea 1 metro (3,58 pies) se hallará que la velocidad es 442 centímetros ó 15,86 pies por segundo (355); si suponemos tambien que la área es 4 centímetros cuadrados (106,8 líneas cuadradas); se tendrá por la fórmula $g = av$. $g = 4 \times 442 = 1768$ centímetros cúbicos ó 141,228 pulgadas cúbicas españolas, que será lo que pase por cada segundo; teniendo así el gasto en la unidad de tiempo, se tendrá facilmente el del tiempo propuesto.

358. *Este resultado no se confirma por la experiencia*, pues recogiendo la cantidad de agua salida en un minuto, por ejemplo, por una abertura de 4 centímetros cuadrados hecha en una pared delgada, y bajo la altura constante de un metro de líquido, no se hallará mas que 66300 centímetros cúbicos, lo cual da para cada segundo 1105 centímetros cúbicos, ó 88,26 pulgadas cúbicas, cantidad muy inferior á la que da la teoría.

Esta diferencia entre la teoría y la experiencia se debe á la contraccion de la vena líquida. — Los experimentos mas exactos han probado que cualesquiera que sean la altura del líquido, y la anchura del orificio por donde sale, el gasto efectivo es siempre sensiblemente los $\frac{5}{8}$ del que da la teoría; debe tambien recordarse que esta es la relacion entre el diámetro de la vena contraida, y el del orificio. Introduciendo esta correccion en el cálculo se tiene $d = \frac{5}{8} av$. Por medio de esta fórmula se calcula con suficiente exactitud el gasto que puede sufrir en un tiempo dado un depósito, en el cual el líquido se halle á una altura conocida y constante, por una abertura cuya superficie se conozca exactamente; sin embargo, es preciso suponer que el líquido no tiene en el depósito mas movimiento que el ocasionado por la salida; si, por ejemplo, tuviese un movimiento rápido de rotacion seria muy difícil valuar teóricamente el gasto.

CAPÍTULO XIII.

Salida por caños ó tubos adicionales.

359. *Aumento del gasto por los caños.*—La experiencia manifiesta que adaptando un tubo al orificio de un vaso, el gasto puede hacerse mayor que por un orificio abierto en pared delgada; pero para que se verifique este efecto es preciso: 1.º que el líquido pueda contraer cierta adherencia con las paredes del tubo; así es que, respecto del agua, el efecto no se verifica sino untando ligeramente con grasa el interior del tubo, ó cuando su diámetro es demasiado grande respecto de su longitud: 2.º es preciso que la salida se verifique en un medio resistente; así es que el efecto no se verifica en el vacío.

Cumplidas estas condiciones, el líquido sale llenando el tubo, ó como suele decirse á *boca llena*, y entonces el gasto se aumenta mas ó menos segun la forma, longitud, y posicion del tubo.

Para explicar estos efectos notaremos que la vena líquida al pasar del vaso al tubo se contrae, y no puede llenar el tubo á menos que no experimente una resistencia que, retardando su velocidad, la permita ensancharse; esta resistencia es la del aire atmosférico que se ejerce en el tubo en sentido inverso al movimiento del líquido; pero esta resistencia no puede tener efecto sino mientras el aire no pueda introducirse entre la pared del tubo y el líquido; y de consiguiente es necesario que para im-

pedirlo haya cierta adherencia entre ambos.

360. *Por qué se aumenta el gasto aunque la velocidad disminuye.* — Si el tubo propuesto es cilíndrico, las partículas líquidas obligadas á seguir las paredes describen todas líneas rectas paralelas; este movimiento se comunica hasta el depósito en virtud de la continuidad de la columna, resultando que en el mismo depósito los movimientos son menos oblicuos al plano del orificio; de donde se sigue que la vena líquida está menos contraída que en el caso de un orificio hecho en pared delgada, y por lo mismo que el gasto debe ser mayor.

Si el caño está algo ensanchado hácia afuera, las partículas, obligadas á seguir las paredes, divergen en sentido opuesto á las direcciones que producen la contracción de la vena, y por consiguiente tienen mas influencia para disminuir la oblicuidad de estos movimientos.

Cuando la abertura mayor de un caño cónico está hácia el depósito, se presenta un caso en que el gasto no ha aumentado ni disminuido; este caso es cuando el caño tiene exactamente la forma de la vena contraída, es decir, cuando su longitud es la mitad de su diámetro mayor, y el orificio exterior es al interior como 5:8. A medida que la longitud aumenta, y el ángulo del cono se hace mayor (es decir, cuanto mas se aproxima el caño á ser cilíndrico), mayor es el gasto: al contrario, si el ángulo del cono crece, el gasto disminuye.

361. *Cantidad de aumento del gasto.* — En el caso de un tubo cilíndrico de cosa de dos pulgadas de longitud horizontal ó vertical de bajo del plano del orificio, el gasto es al que se verificaria por el mismo orificio en pared delgada co-

mo 13:10; de suerte que la fórmula $d = \frac{5}{8} av$,

(338) se convierte en $d = \frac{13}{10} \times \frac{5}{8} av$ ó $d = \frac{13}{16} av$,

por medio de la cual se puede calcular el gasto conocida la área del orificio, y la altura del líquido en el depósito.

Cuando el caño está ensanchado hácia fuera el gasto es mucho mayor, y aun puede pasar del doble de lo que seria por un orificio abierto en pared delgada.

362. *Efecto de los caños largos.*— Cuando los tubos adicionales son mucho mas largos que los que hemos considerado hasta ahora, es preciso para valuar el gasto tener presentes otras circunstancias que vamos á recorrer sucintamente.

Si se tiene un caño cilíndrico, vertical ó inclinado hácia abajo del centro del orificio, la velocidad de la columna líquida que contiene es acelerada por la accion de la pasantez; desde luego se ve que, en virtud de la adherencia á las paredes que se opone á que la columna se disperse; en virtud de la cohesion de las partículas, y en virtud de la presion de la atmósfera que se opone á que se separen los hilos que vienen del interior, las partes inferiores que tienen mas velocidad, ejercen una especie de llamamiento sobre las superiores, y aceleran su movimiento; el efecto se comunica de partícula á partícula hasta el depósito, por razon de la continuidad, y como por la misma las partes superiores mitigan la marcha de las inferiores, se establece una velocidad media en todo lo largo del caño. Cuanto mas largo es este, mayor es el gasto hasta cierto punto, pasado el cual principia á dis-

minuir, lo que debe atribuirse al rozamiento.

Se ha hallado por experiencia, que dando al caño cierta inclinacion mayor ó menor segun su diámetro, con tal que no sea muy considerable, la aceleracion sucesiva de la velocidad equilibra al retardo continuo que ocasiona el rozamiento; entonces en cualquier punto de su longitud hace siempre el mismo gasto el caño: por esta razon se da siempre que es posible, cierta inclinacion á los caños de una fuente.

Cuando el caño cilindrico es horizontal, el liquido procura conservar el mismo grado de velocidad en toda la longitud, de suerte que en toda ella seria igual el gasto: pero el rozamiento obrando en un espacio considerable retarda notablemente la velocidad, hasta tal punto que puede llegar el caso de no dejar verificar la salida sino gota á gota.

Seria muy util en algunas operaciones prácticas conocer la ley de la disminucion de la velocidad en los tubos de conduccion; pero no se tienen todavía medios exactos para lograrlo: algunos cálculos parece que demuestran que esta velocidad está en razon inversa de la raiz cuadrada de la longitud del tubo.

Se ha reconocido *que los tubos de un diámetro pequeño disminuyen mucho mas el gasto que los de diámetro grande*: la razon de esto es facil de concebir; el rozamiento no se hace sentir inmediatamente sino á las partículas que tocan á la pared, y su efecto para mitigar la velocidad disminuye necesariamente de la circunferencia al centro, de suerte que cuanto mayor es el diámetro menos partículas centrales sufren el retardo.

Las asperezas que presentan los tubos de con-

duccion, son obstáculos que ocasionando choques reiterados, destruyen parte de la velocidad adquirida; pero es preciso distinguir los casos en que las sinuosidades estan en un plano horizontal ó en uno vertical; en el último caso (*fig. 131*) se acumulá muchas veces en las partes superiores, *a, b &c.* de las curvaturas, cierta cantidad de aire que interrumpe la continuidad de la columna y la impide adelantar cualquiera que sea la presion del líquido; para remediar este inconveniente se hacen respiraderos en los recodos mas elevados de los conductos.

CAPÍTULO XIV.

Presion de los líquidos en movimiento sobre las paredes de los tubos.

363. *Cuando el líquido está en equilibrio.*— Cualquiera que sea la posición del tubo propuesto respecto del depósito, si su orificio exterior esta tapado, siendo *cero* la velocidad del líquido, la presion en cada punto de su pared es igual al peso de la columna líquida que le corresponde verticalmente en el depósito (*cap. VII*).

364. *Cuando el líquido esta en movimiento.*— El racionio y la experiencia prueban que si en un tubo cualquiera la columna líquida en movimiento tiene toda la velocidad que debe resultar de la altura del nivel en el depósito, la pared de este tubo debe sufrir *cero* de presion; si la velocidad de la columna líquida es menor que la que acabamos de citar, la pared del tubo debe sufrir una presion mayor ó menor, ó segun el lenguaje matemático

la *presion debe ser positiva*: últimamente, si la *velocidad del líquido* es mayor de la que debe resultar de la altura del nivel, la *presion* sobre la pared del tubo *se hace negativa*. Es facil probarlo por la experiencia.

PRIMER CASO. *Siendo la velocidad del líquido la que debe ser.* — Si se adapta al depósito un tubo horizontal de corta longitud, en cuya parte superior haya un orificio, se verá que el líquido puesto en movimiento por la acción de la columna que le corresponde verticalmente en el depósito, no forma surtidor encima del orificio; prueba evidente de que la pared del tubo no sufre ninguna presión.

Suponemos el orificio hecho en la pared superior del tubo; y en efecto, si se le hiciese en la inferior, podría haber por él una corta salida gota á gota, pues esta pared sufre cierta presión en virtud del grueso de la columna líquida. Esta presión es precisamente la misma que si el líquido estuviese en reposo y no comunicase con ningún depósito donde el nivel estuviese mas elevado que el diámetro del tubo. Algunos físicos han admitido lo contrario respecto de los fluidos aeriformes para poder explicar la depresión de la columna barométrica durante los huracanes; pero esta hipótesis es contra todos los principios de mecánica.

SEGUNDO CASO. *Siendo la velocidad del líquido menor de lo que debía ser.* — Póngase en el interior de un tubo algun obstáculo que pueda mitigar la velocidad que resulta de la altura del nivel en el depósito y se verá al líquido lanzarse por el orificio superior en forma de surtidor, el cual se elevará tanto mas, cuanto mas disminuida haya sido

la velocidad. El efecto que produce aquí el obstáculo arbitrario, lo produce igualmente el rozamiento cuando la longitud del tubo es considerable; por esto se ve que cuando los tubos de conducción se revientan arrojan el agua en forma de surtidor.

TERCER CASO. *Siendo la velocidad del líquido mayor de lo debido.* — Para probar que la presión en este caso puede hacerse negativa, colóquese en el depósito un tubo cilíndrico, inclinado ó vertical, debajo del centro del orificio, y hágase en él una aberturita. Se observará que mientras la salida del líquido se verifica libremente, el aire entra por el agujerito manifestándose por su silvido; el mismo efecto se produce en un tubo ensanchado en el exterior y colocado horizontalmente.

También puede hacerse este experimento de otro modo: para esto se adapta á la aberturita un tubo encorvado que entra en un vaso lleno de agua (*fig. 132*). Se ve entonces tanto como lo permite la salida en *A*, elevarse el líquido del vaso *a* por el tubo *ab* para pasar al tubo *AB*.

363. *Ariete hidráulico.* — Si cuando un cuerpo líquido está en movimiento en un tubo, de repente se cierra la abertura por donde sale, no pudiéndose aniquilar la fuerza de que está animado, ejerce su acción sobre todos los puntos de la pared, y resulta sobre esta pared una presión tanto mayor, cuanto mas considerable es la masa líquida y mayor su velocidad. Si hubiese un orificio en cualquier punto del tubo de conducción, saldría por él un surtidor que al primer golpe se elevaría mucho mas alto que el nivel del líquido en el depósito. Este efecto ha sido empleado de un modo muy ingenioso por el célebre Montgolfier para construir

una máquina muy sencilla y á propósito para elevar el agua á una altura indefinida, á la cual dió el nombre de *Ariete hidráulico*.

Esta máquina está representada en la *fig. 133* por sus tres cortes, longitudinal, trasversal y horizontal. AB es un tubo horizontal de cierta longitud que comunica por un lado con el depósito AC y se termina por el otro en un espacio circular horizontal; D, D, D.... son aberturas cerradas por válvulas esféricas de porcelana. E es una campana de fundición bajo la cual y á cuyos lados estan las cavidades I, I.... por las cuales comunica con el tubo FG que se eleva hasta el punto donde se quiere llevar el agua: H, H, son globos de porcelana sostenidos por unas correas encima de las correspondientes aberturas, que al levantarse permiten al líquido penetrar en la campana: K es un pequeño depósito de aire que comunica con el tubo de conducción AB, y que es necesario para facilitar el juego de las válvulas. Todo el aparato está sostenido por una viga, cuyo extremo se apoya en un trozo de fabrica destinado á fijar sólidamente la cabeza del ariete. Al momento que se establece comunicacion entre el depósito CA y el tubo AB el líquido entra en movimiento; principia desde luego á correr por las aberturas D, D, D....; pero al momento empuja los globos de porcelana de abajo á arriba y se cierra á sí mismo el paso; entonces se produce en todos los puntos de la pared interior del tubo una presion considerable en virtud de la cual se levantan los globos H, H, de suerte que pasa cierta cantidad de agua á la campana. Esta agua cae en las cavidades I, I.... y de ellas se eleva en el tubo FG. Pasado este primer efecto, hallándose la velo-

cidad del líquido reducida á *cero* se cierran las válvulas H, H por su peso, al contrario se abren las D, D, y la salida vuelve á verificarse durante algunos momentos, despues de los cuales las aberturas D, D se cierran de nuevo, resultando nueva presion sobre las paredes que eleva las válvulas H, H, de suerte que pasa otra cantidad de agua á la campana, y asi sucesivamente.

La salida en el extremo G seria intermitente naturalmente por el juego de las válvulas; pero la porcion de aire encerrado en la campana se comprime sucesivamente y ejerce en la superficie del agua una presion que hace continuo el chorro.

Esta máquina, la mas sencilla y barata que se conoce, permite aprovechar la mas debil porcion de agua corriente para elevar cierta cantidad de líquido á tal ó tal altura segun la necesidad. Reemplaza con ventaja máquinas hidráulicas muy complicadas y muy costosas, tanto en su construccion como para su conservacion.

CAPÍTULO XV.

Surtidores.

366. *Altura teórica del surtidor.* — Un cuerpo pesado que cae de cierta altura adquiere una velocidad capaz de hacerle correr en el mismo tiempo un espacio doble si la pesantez cesase de repente en su accion. Continuando la pesantez aumentará ó disminuirá la velocidad adquirida con toda la altura corrida; de suerte que si en el segundo instante el cuerpo se mueve de arriba á abajo correrá

un espacio triple del que corrió en el primero (88): al contrario, si se mueve de abajo á arriba, no recorrerá sino un espacio igual al que corrió al bajar, y luego volverá á caer. Este es precisamente el caso en que se halla un surtidor de agua que se lanza en el aire y no puede comunmente elevarse mas alto que al nivel del líquido en el depósito que le produce. Pero existen en contra varios obstáculos que se oponen á que el chorro pueda llegar á la misma altura.

367. *Obstáculos que se oponen á la elevacion del chorro.*—El mayor de todos ellos es la resistencia del aire en medio del cual se lanza el chorro, resistencia que es tanto mayor quanto mayor es la velocidad con que se lanza.

Otro obstáculo, en los surtidores verticales, procede de que las partículas líquidas que vuelven á caer chocan directamente con las que se elevan y retardan necesariamente su velocidad: asi es que se observa que inclinando un poco el surtidor, se eleva á mayor altura que cuando es vertical, pero tambien pierde mucho de su hermosura, pues no presenta el penacho que constituye su principal mérito.

Tambien se disminuye la altura del chorro por el rozamiento que se verifica en los tubos de conduccion y en el orificio: depende tambien de la forma del caño y de su diámetro relativamente al del chorro.

En quanto á la forma del caño ha demostrado la experiencia que un orificio abierto en pared delgada es lo mas conveniente para procurar al chorro mayor elevacion: deben desecharse los caños cilindricos porque disminuyen la velocidad, y por con-

siguiénte la altura del surtidor; el tubo cónico tambien debe desecharse, aunque se usa mucho en la práctica; pero la experiencia prueba que el chorro se eleva mucho menos, á no ser que este cono tenga las dimensiones de la vena contraída, en cuyo caso es absolutamente inútil.

Ya hemos visto (354) que en virtud de la accion de la gravedad, el surtidor, retardado en su marcha se ensanchaba sucesivamente, de donde resulta que las moléculas superiores pesan sobre las inferiores y retardan necesariamente su marcha; este es otro de los obstáculos que se oponen á que el chorro llegue á la altura que dá la teoria, haciendo abstraccion de todas las circunstancias modificantes.

Los movimientos que pueden verificarse ó producirse arbitrariamente en el depósito ó en los tubos de conduccion, hacen variar la forma del surtidor: se emplean algunas veces estos medios y otros procedentes de la disposicion, latitud y longitud de los caños para producir efectos agradables á la vista.

368. *Modo de elevar los surtidores á mayor altura que el nivel del depósito.* — Para conseguir este efecto basta hacer llegar una corriente de aire al centro del tubo, mezclándose el aire con el agua, forma un todo específicamente mas ligero, y se eleva el chorro á mucho mayor altura que da la teoria. Lo que hay mas notable en este experimento es el ruido ocasionado por las partículas de aire al chocar con las de agua: este ruido es un sonido aproximado al de la *harmónica*, aunque no tan dulce. Si se interrumpe la salida del agua por el tubo, el aire que sale entonces solo produce un pequeño silvido.

369. No hablaremos aqui de la salida ó derrame en los depósitos que se vacian libremente, porque esto nos conduciría á consideraciones matemáticas que acaso no serian comprendidas por la mayor parte de nuestros lectores, sin producir circunstancias físicas de importancia. En las obras de hidrodinámica, donde este punto está tratado con mayor extension que podríamos hacerlo aquí, se halla todo lo que es relativo á las clépsidras ó relojes de agua que usaban los antiguos para medir el tiempo.

CAPÍTULO XVI.

Corriente ó salida por canales.

Un canal es un conducto abierto por su parte superior, ó á lo menos un conducto en que su parte superior esta siempre á cierta distancia del líquido; puede ser horizontal é inclinado.

370. *Un canal no influye nada en el aumento ó disminucion del gasto en el depósito.* — Hemos visto que un tubo de conduccion puede influir notablemente en el gasto que hace al depósito en un tiempo dado, porque este tubo y el depósito forman un vaso continuo; pero no sucede lo mismo en un canal, que no produce mas efecto que el de conducir el líquido á un paraje cualquiera despues de salir del depósito. Cuando un canal recibe de un depósito cualquiera, en un tiempo dado cierta cantidad de agua, debe entregar precisamente la misma al otro extremo, cuando la corriente está bien establecida, sean los que quieran los retardos

ó aceleraciones que la velocidad inicial pueda sufrir en su marcha: esto es evidente por sí mismo; pero si hay alguna duda, la experiencia lo confirma directamente.

Sabida esta diferencia entre los canales y los tubos de conducción, se concebirá fácilmente por que cuando se trata de conducir las aguas de una montaña á otra de la que está separada por un valle, se prefiere construir, á pesar de su gran costo, un puente acueducto, en vez de emplear tubos de conducción colocados en las vertientes, como dijimos antes (321); pues si el trabajo, y por consiguiente el costo son mas considerables, tambien se reintegran por la certidumbre de obtener el éxito deseado. Sin embargo, los tubos de conducción se pueden emplear en distancias pequeñas.

371. *Variaciones de la velocidad en la longitud del canal.* — El líquido al recorrer la longitud del canal que le conduce, presenta en sus movimientos diversas circunstancias que vamos á examinar.

Supongamos un canal prismático rectangular, cuyo fondo sea horizontal (fig. 134); que comunique directamente con un depósito cuyo nivel es constante. Si el líquido no experimentase en su marcha ningun obstáculo, continuaria moviéndose uniformemente con la velocidad que tiene á la salida del depósito, y su superficie sería horizontal en todos los puntos; pero el rozamiento contra el fondo y las paredes del canal retarda continuamente la velocidad adquirida, resultando que las partes anteriores de la masa líquida detienen á las que les siguen, y el líquido se acumula en el canal; desde luego á alguna distancia del depósito principia el nivel á elevarse, y se eleva mas y mas hasta

cierto punto, como representa la *fig.* 134, pasado el cual principia á bajar en virtud de la aceleracion que toma en el extremo por donde corre.

Si el fondo del canal es un plano inclinado, la velocidad del líquido aumenta continuamente, de donde debe resultar una disminucion continua en la profundidad de la corriente, puesto que debe pasar siempre en el mismo tiempo la misma cantidad de líquido, cualquiera que sea la velocidad que pueda tener.

Conociendo la cantidad de líquido que sale del depósito, es siempre posible dar al canal una inclinacion tal, que la velocidad perdida por el rozamiento, supuesta de la misma intensidad en todos los puntos, sea compensada sucesivamente por la aceleracion que produce la pendiente, de modo que la profundidad de la corriente sea sensiblemente la misma en toda la longitud del canal.

Si el canal, teniendo su fondo horizontal por todas partes, se estrecha y ensancha alternativamente, se verá que en todos los puntos donde es mayor la anchura la velocidad de la corriente se disminuye proporcionalmente, y el nivel de la superficie se deprime algun tanto; al contrario, donde el canal se estrecha se ve que la velocidad aumenta, y el nivel se eleva algun tanto: ambos resultados son consecuencias de que debe pasar constantemente en el mismo tiempo la misma cantidad de líquido por todas las secciones del canal.

372. *Variaciones de la velocidad en la profundidad del canal.*—Si la velocidad de la corriente varia de un punto á otro de la longitud de un canal cuyo fondo sea horizontal ó inclinado, varia igualmente en los diferentes puntos de la profundidad:

rara vez se halla la mayor velocidad en el fondo ni en la superficie de la corriente; en el fondo se disminuye la velocidad de la corriente por el rozamiento que se produce contra el suelo del canal, y en la superficie se disminuye por la resistencia del aire, la cual influye mucho mas de lo que se podia pensar.

Facilmente se puede probar que la mayor velocidad de la corriente está á algunas pulgadas de la superficie líquida, por medio del aparato de Mariotte, que consiste en dos bolas de cera atadas á un mismo hilo; una de las bolas tiene dentro un cuerpo específicamente mas pesado que el agua para que pueda hundirse en ella; el todo debe disponerse de modo que la una bola permanezca á flor de agua, y la otra, que sera la mas pesada, se introduzca algunas pulgadas dentro de ella. Colocando este aparato en un canal algo profundo, ó en un rio, se ve constantemente la bola inferior ir delante de la superior; de donde se sigue que se mueve mas ligeramente.

En un canal cuyo fondo es un plano continuo, y cuyo desagadero se halla al nivel de este plano, la masa líquida se mueve en toda su altura; pero si el desagadero está encima del fondo del canal toda la masa líquida inferior está en reposo; así es que en un lago ó en un estanque el agua está tranquila debajo del plano del desagadero. Lo mismo sucede en las cavidades de alguna profundidad que puede haber en el fondo de un canal ó de un rio en diferentes puntos de su curso.

373. *Variaciones de la velocidad en lo ancho de un canal.* — Un canal puede estar encajonado, ya por paredes verticales, ó ya por paredes inclina-

das; en ambos casos el rozamiento contra las paredes laterales debe disminuir necesariamente la velocidad de las partículas puestas en contacto, y por lo mismo el medio de la corriente debe tener mas velocidad que sus orillas: pero este efecto es mucho mas notable en las paredes inclinadas que en las verticales, porque presentan mayor superficie al rozamiento, y la masa de agua disminuye al mismo tiempo de profundidad: así es que en los rios cuyas riberas son muy llanas, se ve que la velocidad en las orillas es casi nula. Resulta de esto una circunstancia bastante notable, y es que el medio del rio está sensiblemente encorbado, lo que puede observarse en todos los rios caudalosos cuando sus orillas son muy llanas. En el Danubio en medio de las llanuras de Hungría, y en el Sena cerca de París se ve este efecto de un modo muy notable, cuando las aguas están algo elevadas.

CAPITULO XVII.

Accion erosiva de las aguas sobre el fondo y orillas de los canales y rios.

374. *Erosion sobre el fondo.*—La accion erosiva de las aguas sobre el fondo de un canal ó de un rio depende á la vez de la profundidad y velocidad de la corriente. Es evidente que siendo las profundidades iguales, debe ser la erosion mayor donde la velocidad sea mayor; así es que bajo los arcos de un puente se nota que el lecho de un rio es siempre mas profundo que por los alrededores; y tambien es sabido que para limpiar un rio que

está obstruido por las arenas ó limo se le estrecha por medio de diques ú otra cosa análoga para dar mayor velocidad á la corriente.

En los países montañosos se hallan numerosas señales de la acción erosiva de las aguas. No es raro encontrar rocas, aun de las mas duras, que parecen cortadas á pico algunas veces hasta una profundidad de 200 varas. En estos países el deshielo de las nieves y las lluvias repentinas producen torrentes que se despeñan por las vertientes rápidas con una velocidad asombrosa, arrastrando consigo los destrozos de las rocas, que tambien ejercen su acción particular para destruir el terreno.

375. *Equilibrio entre la acción erosiva y la resistencia del suelo.* — Si un canal estuviese abierto en un terreno que por todas partes fuese infinitamente resistente, por grande que fuese la acción erosiva de las aguas, no podria causar ninguna mudanza en la forma del lecho; pero en la naturaleza jamas tiene el terreno mas que una resistencia limitada, y puede suceder que la profundidad de la corriente y su velocidad sean tales que el lecho se ahonde continuamente; pero sin embargo se percibe que puede haber equilibrio entre la resistencia del terreno, y la erosion del líquido, teniendo cierto grado la tenacidad del suelo, y cierta profundidad y velocidad constante el mismo líquido en su corriente: en este caso el lecho del canal no se altera de ningun modo.

Siendo por todas partes igual la profundidad de una corriente, la condicion de una velocidad constante exige que el fondo del canal tenga cierta inclinacion á fin de que la pérdida de velocidad causada por los rozamientos se compense con la

aceleracion sucesiva motivada por la inclinacion. Hace largo tiempo que por racionios matematicos se habia hallado que el fondo de un canal debe presentar en su longitud desde su origen hasta su embocadura, la forma de una curva asintótica; pero Monge ha hallado que debia presentar la figura de una curva *linéal*; es decir, la figura de una curva formada naturalmente por una pieza de tela suspendida por sus dos extremos; casi á este mismo resultado ha llegado Girard comparando la accion de un líquido en el fondo de un canal á la de una cadena pesada que estuviese puesta en movimiento en el mismo.

Es tambien muy raro que el suelo de un canal tenga en todos sus puntos el mismo grado de tenacidad: en este caso puede suceder que la corriente tenga por todas partes una profuudidad y velocidad tales que su accion erosiva se equilibre con la resistencia de las partes mas débiles, y entonces si el canal tiene la pendiente necesaria su lecho será permanente; pero si la fuerza erosiva está al contrario en equilibrio con la resistencia de las partes mas fuertes, entonces sucederá infaliblemente que las mas débiles serán atacadas, se profundizarán continuamente hasta que la profundidad de estas cavidades sea bastante considerable para que el líquido no tenga en su fondo ningun movimiento; entonces se formará un lecho permanente: segun la teoría matemática el fondo de cada cavidad debe ser una *linéal*, de suerte que el lecho presentará en su longitud una serie de curvas de esta forma, como haria una pieza grande de tela sostenida en el sentido horizontal por una serie de puntos de apoyo, puestos á distancia unos de otros.

376. *Accion erosiva sobre las paredes laterales.*—Suponiendo que la resistencia del suelo sea la misma en todas partes, se demuestra matemáticamente que la accion erosiva de las aguas sobre las paredes laterales de un canal ó de un rio, siendo todas las demas circunstancias iguales, está en su mínimo cuando estas paredes son rectilíneas y paralelas. En efecto, se concibe bien, que si estas paredes son contorneadas, las partes cóncavas opuestas á la corriente sufren choques continuos que deben degradarlas, tanto mas prontamente cuanto mayor es la velocidad de la corriente y menor la resistencia del terreno: así es que en la corriente de los rios se nota que en los recodos asperos la pared está socabada continuamente en su parte cóncava opuesta á la corriente, de suerte que en el espacio de algunos años ha arrebatado algunas veces el rio una porcion del terreno, mientras que ha dejado en la parte opuesta algo de su lecho en seco.

Siendo las paredes laterales, rectilíneas y paralelas sucede que el lecho se ensanchará si la resistencia del suelo supuesta constante en toda la extension del canal, es mas debil que la accion erosiva de la corriente. Si el suelo no tiene la misma consistencia en todas partes, el lecho se ensanchará en todos los puntos donde la resistencia sea demasiado debil para equilibrar la accion erosiva de la corriente. Así es que se nota que los rios son mas anchos en los terrenos arenosos, gredosos ó arcillosos, que en los de calcarea dura, granito, &c. y tambien son mas anchos en las llanuras peladas que en los bosques donde las raices de los árboles impiden la degradacion del terreno.

377. *Circunstancias que presenta el curso de*

los ríos.— En todos los parages en que un río se estrecha considerablemente por no dejarse corroer el terreno, la velocidad del líquido se hace muy grande, de lo que resulta que el lecho se profundiza sucesivamente á no ser que la resistencia del suelo este en equilibrio con la accion erosiva de la corriente. Lo mismo sucede en todos los puntos en que la pendiente del terreno da al líquido una velocidad enorme. No se hallan en estos parages sino grandes guijarros redondeados, porque los pequeños son arrastrados por el movimiento de la masa líquida.

Al contrario, en los parages en que el lecho de un río se ensancha, ó donde la pendiente es muy debil, el fondo se eleva sucesivamente, porque siendo pequeña la velocidad, no tiene la corriente fuerza para arrastrar los despojos que acarrea anteriormente. De este modo se ve que el lecho de los ríos se eleva continuamente en las llanuras, y en todos los puntos en que la anchura de la corriente se hace mayor. En estos puntos es donde se halla el guijo, y las arenas finas. Segun estas reflexiones se ve que en los puntos mas anchos de un río es en donde deben buscarse los vados para pasarle.

Tambien se eleva el fondo de un río siempre que se restablece una empalizada trasversal; el efecto de esta empalizada es disminuir la velocidad de la corriente, y detener los despojos que acarrea, los que por su peso quedan siempre en el fondo.

Los ríos, al llegar á la última parte de su curso cerca de su embocadura en el mar, se llenan sucesivamente de despojos y fango, porque su pendiente es muy pequeña; y ademas las aguas del

mar les presentan un nuevo obstáculo, amortiguando aun mas la velocidad de la corriente: allí es donde se depositan las arenas mas finas que forman montones mas ó menos considerables.

En los mares que no tienen flujo y reflujo sensibles se forma en la misma desembocadura del rio ó á alguna distancia en el mar una especie de montaña de arena que se llama *barra*, y que tarde ó temprano concluye por impedir la entrada de los barcos.

En los mares sujetos al flujo y reflujo se forma la barra comunmente en el mismo rio á una distancia mayor ó menor de su desembocadura, porque las aguas que refluyen en el rio en la alta marea llevan los despojos á depositar en el punto donde las velocidades se equilibran. La barra del Sena se halla en *Quillebeuf*, á diez leguas antes de su desembocadura.

Se han hecho en diversos parajes trabajos considerables para destruir las barras y facilitar de este modo la navegacion de los rios. Para esto se estrecha el lecho con diques de varias especies á fin de dar á la corriente una velocidad mayor y provocar asi la erosion del fondo; pero todo el efecto que puede esperarse de estos trabajos es el trasportar la barra mas lejos y á un punto en que la profundidad del líquido sea naturalmente muy grande, de modo que el depósito de arena no pueda impedir en mucho tiempo la navegacion.

El ensanchamiento de los rios y la elevacion de su fondo son efectos recíprocamente consiguientes uno á otro; pues como lo hemos dicho anteriormente debe pasar constantemente la misma cantidad de líquido por todos los trozos trasversales de

la corriente; luego donde el fondo se eleve por una causa cualquiera, las aguas deben corroer continuamente las paredes laterales de su lecho para aumentar su latitud. Si se verificase que el terreno fuese demasiado resistente, la velocidad de la corriente aumentaría necesariamente y el fondo estaría continuamente desocupado: del mismo modo, en donde por una causa cualquiera se aumentase la anchura de la corriente, haciéndose menor la velocidad, el fondo se llenaría de escombros: sin embargo, en todos los casos se establece prontamente una especie de equilibrio entre la fuerza erosiva del agua y su facultad de deponer los despojos: entonces el lecho se hace permanente.

El fondo de un rio principal puede tambien elevarse por efecto de los torrentes y rios secundarios que desaguan en él: los torrentes, por ejemplo, que son sumamente rápidos porque corren en un terreno cuya vertiente es muy pina, acarrear siempre despojos de rocas mas ó menos grandes; pero cuando encuentran un rio, la velocidad resultante de las dos corrientes reunidas es demasiado débil para arrastrarlos, y se depositan sucesivamente.

Asi es como el Pó, v. gr., eleva continuamente su fondo de un modo alarmante para los paises comarcanos, por los depósitos que ocasionan en él los torrentes que bajan de los Alpes y se precipitan á ángulo recto sobre la direccion del rio.

CAPÍTULO XVIII.

Choque y resistencia de los líquidos.

378. *Consideraciones teóricas.*—Cuando un líquido en movimiento encuentra en su camino un cuerpo en reposo, ejerce sobre él una *percusion*, cuyo valor depende de la velocidad de la corriente y de la extension y forma del cuerpo. Cuando un cuerpo en movimiento atraviesa un líquido en reposo, experimenta una *resistencia* que tambien depende de la velocidad con que se mueve, de su forma y su extension. La teoria no ha distinguido hasta ahora estos dos casos, porque parece en el segundo que se puede suponer el cuerpo en reposo, y atribuir su velocidad al líquido en sentido contrario. Sin embargo, hay en los fenómenos variaciones que seria importante poder explicar; pero esta parte de la mecánica está muy poco adelantada para que sea posible establecer estas particularidades.

Para establecer la teoria matemática del choque y resistencia de los líquidos, se consideran estos cuerpos como compuestos de partículas perfectamente móviles que al momento que han chocado con el obstáculo quedan anonadadas ó mas bien se escapan por los lados para permitir á las que las siguen chocar á su turno, sin alterar en nada su direccion y su velocidad. Es visible que esto no puede suceder asi en la realidad, pero considerando las cosas de este modo se obtienen resultados, sino exactos enteramente, á lo menos útiles, y que pueden emplearse en una multitud de casos sin te-

mor de incurrir en graves errores; además de que por defectuosa que sea una teoría, á lo menos sirve para enlazar los hechos entre sí.

379. *Resultados de la teoría.*—Partiendo de estos supuestos se halla que siendo todas las demás circunstancias iguales, la percusion del líquido es proporcional

- 1.º *A la densidad del mismo líquido.*
- 2.º *A la extension de la superficie chocada.*
- 3.º *Al cuadrado de la velocidad de la corriente.*
- 4.º *Al cuadrado del seno del ángulo, bajo el cual encuentra la direccion de la corriente á la superficie chocada.*

Así, pues, sean s y S las superficies de dos cuerpos sumerjidos en líquidos, cuyas densidades sean d , D , y las velocidades v , V ; sean α y α' los ángulos bajo los cuales se presentan las superficies á la direccion de la corriente: en fin, sean f y F los esfuerzos que sufren, y se tendrá

$$f: F:: sdv^2 (\text{sen. } \alpha)^2: SDV^2 (\text{sen. } \alpha')^2$$

Si la superficie s , por ejemplo, es perpendicular á la direccion de la corriente se tiene $\text{sen. } \alpha = R$, y la proporcion será

$$f: F:: sdv^2 R^2: SDV^2 (\text{sen. } \alpha')^2$$

Por medio de esta última proporcion es facil hallar la relacion entre la percusion que sufre un prisma triangular puesto verticalmente en medio de un líquido (*fig. 135*) cuando presenta á la corriente la superficie angular ACB ó la plana AB . Se halla que si el triángulo ACB es isósceles y rectángulo en C , la percusion que sufre la superficie angular ACB no es mas que la mitad de la que sufriría la superficie plana AB . Si el triángulo fuese equilátero, la percusion sobre la superficie angular

no sería mas que la cuarta parte de la que sufriría la superficie plana.

Se ve por estos resultados cuan ventajoso es el *cubrir los pilares de los puentes con tajamares* que dividen al líquido y debilitan el choque tanto mas cuanto mas agudos son.

Tambien se demuestra que un cilindro colocado verticalmente en medio de un líquido en movimiento no sufre sino los $\frac{2}{3}$ de la percusion que sufriría un prisma circunscripto á él, expuesto por uno de sus lados al choque perpendicular de la corriente. Esta es la razon porque en los puentes modernos se hacen los tajamares en forma de semi-cilindros con su convexidad opuesta á la corriente.

En cuanto al valor absoluto de la percusion el cálculo indica que es igual al peso de un prisma líquido cuya base sea la superficie del cuerpo chocado, y la altura el doble de la correspondiente á la velocidad del líquido.

No hemos entrado en el detalle de estos cálculos, porque ya hemos anunciado desde el principio que nuestro objeto particular debe ser el hallar por experimentos las leyes de los fenómenos naturales; y ciñéndonos al presente caso, las del choque y resistencia de los líquidos.

38o. *Experimentos relativos á la proporcionalidad de la resistencia á la densidad de los líquidos.* — Hace mucho tiempo que en los gabinetes de fisica se ejecutan experimentos sobre este asunto con un péndulo que se hace mover sucesivamente en diferentes líquidos: sea pues, por ejemplo, un péndulo hecho con una bolita de hierro colocada en una varilla del mismo metal ó un alambre per-

fectamente móvil al rededor de su centro de suspension. Sumerjiéndole en el agua y haciéndole oscilar, se cuenta exactamente el tiempo que ha estado oscilando; despues se le sumerge en el mercurio y se hace la misma operacion elevándole á la misma altura que anteriormente. Comparando despues los tiempos entre si, se halla que estan sensiblemente en la relacion de 13:1 ó en razon inversa de las densidades; es decir, que en el mercurio el movimiento se aniquila 13 veces mas pronto que en el agua.

Haciendo experimentos análogos con otros líquidos se obtendrán resultados del mismo género.

381. *Experimentos relativos á la proporcionalidad de las resistencias con las superficies, los cuadrados de las velocidades y los cuadrados de los senos de incidencia.* — Como estos experimentos necesitan hacerse en grande, solo pondremos aquí sus resultados sacados de la *Hidrodinámica de Bossut*, capitulos *XV*, *XVI* y *XVII*.

1.º Para una misma velocidad las percusiones sobre superficies planas perpendiculares á la direccion de la corriente son sensiblemente proporcionales á las extensiones de estas superficies como lo indica la teoría.

2.º Las resistencias siguen sensiblemente la razon de los cuadrados de las velocidades, cualquiera que sea la forma del cuerpo.

3.º Las resistencias, en superficies inclinadas á la direccion de la corriente, no siguen la razon de los cuadrados de los senos de los ángulos de incidencia, separándose tanto mas de ella cuanto menores son estos ángulos. En este caso debe abandonarse enteramente la teoría, pues no se la puede

emplear como medio de aproximacion; sino para los ángulos comprendidos entre 50° y 90° . Los experimentos de Bossut conducen á este resultado; *que la percusion sobre una superficie angular es mayor que la que indica la teoria (377), y que en una superficie cilindrica es al contrario menor.*

382. *Experimentos relativos al valor absoluto de la percusion.*— Los mismos experimentos han conducido al resultado de que el valor absoluto de la resistencia es el peso de un prisma cuya base fuese la superficie del cuerpo, y su altura la debida á la velocidad; resultado contrario al de la teoria que da al prisma una altura doble.

Es preciso observar que en los experimentos hechos por Bossut el líquido está en reposo y el cuerpo en movimiento, y de consiguiente los resultados son relativos á la resistencia de los líquidos. Quizá se obtendrian resultados diferentes si se hiciesen experimentos sobre los líquidos en movimiento, dejando al cuerpo chocado en reposo.

383. *Experimentos relativos á la resistencia de los líquidos encerrados en canales estrechos.*— De los experimentos de Bossut resulta que esta resistencia es mayor que en un fluido indefinido en todos sentidos, y que la diferencia puede llegar á ser muy notable. En este caso el valor absoluto de la resistencia efectiva es el que da la teoria; es decir, es igual al peso de un prisma líquido cuya base sea la superficie sumerjida, y su altura el doble de la altura que corresponde á la velocidad. Bossut concluye de estos últimos experimentos que es muy esencial dar á los canales de navegacion la mayor anchura y profundidad que sea posible sin aumentar los gastos de construccion. Concluye tam-

bien que para las máquinas hidráulicas que admiten *ruedas de paletas* es esencial no dar al *volante* mas que la anchura y grueso suficientes para el juego de las alas de la rueda. En el caso de esta constuccion el impulso que reciben las alas de la rueda es doble de la que recibirian si estuviesen sumerjidas en un fluido indefinido á la misma profundidad; lo cual concuerda con los experimentos hechos sobre este punto.

384. *Observaciones.* — Se ve por estos resultados que la teoría está muy lejos de ser exacta, y que es esencial modificarla, ó quiza mirarla bajo otro punto de vista, distinguiendo el choque de la resistencia.

Que la teoría no concuerde con la experiencia no debe causarnos admiracion, porque en la primera se hace abstraccion de muchas circunstancias que era preciso tener en consideracion. Las partículas líquidas despues de haber chocado con el obstáculo no pueden dirigirse sobre los costados sin ejercer cierta accion sobre las partículas siguientes; sabido es que se forman al rededor del obstáculo *remolinos*, en virtud de los cuales el líquido se eleva en la parte anterior y se deprime en seguida gradualmente en la longitud de las caras laterales del cuerpo hasta su parte posterior, donde se forma una cavidad cuyo fondo está debajo de la superficie horizontal del líquido. Estos efectos son tanto mas sensibles quanto mayor es la velocidad.

Se halla por experiencia que de dos bajeles que presenten por su parte anterior la misma superficie al líquido, el mas largo (con tal que la diferencia no sea excesiva) experimenta menor resistencia que el otro; lo que proviene de que en el

bajel mas largo, el hueco que se forma en su parte posterior es mucho menos considerable, porque el líquido tiene tiempo de recobrar su nivel. Los barqueros saben muy bien que para mover dos ó tres barcos atados á la popa unos de otros se necesita menos esfuerzo que la suma de los que habria que hacer para moverlos separadamente.

En los canales estrechos tiene el líquido tanta mayor dificultad á resbalar, cuanto menor es el espacio que queda entre el bajel y las paredes del canal: el líquido se halla entonces empujado hácia adelante, y se eleva mucho sobre el cuerpo que le empuja.

No puede esperarse conformar la teoría con la experiencia, si no se introducen todas estas circunstancias en el cálculo con otras muchas análogas, en lo cual consiste la dificultad. Se han resuelto de este modo algunos casos particulares, cuyos resultados han sido bastante felices.

Movimiento refractado.

385. Cuando un cuerpo sólido que se mueve en el aire cae perpendicularmente á la superficie de un líquido, penetra en la masa perdiendo una parte de su velocidad; pero no sufre ningun desvío en su direccion. Cuando al contrario cae oblicuamente á la superficie del líquido, sufre desvío ó *refraccion* en virtud de la resistencia del líquido, y se separa de la perpendicular al punto de inmersion. Así es que la bola *A* (*fig.* 136) que se mueve en el aire en la direccion *AB*, toma la direccion *BC* cuando penetra en el líquido. Si muchos líquidos de densidades diferentes están colocados unos en

cima de otros, se nota que á cada líquido mas denso sufre el móvil una refraccion como *fig. 136*. La refraccion es tanto mas fuerte quanto mas difieren las densidades de los líquidos entre sí: en general el ángulo de refraccion es proporcional á la densidad del líquido.

A medida que la direccion *AB* se aproxima á la superficie del líquido, es decir, á medida que el ángulo de incidencia *ABE* es menor, la línea de refraccion *BC* se aproxima mas á la horizontal, y por consiguiente á confundirse con la superficie líquida; pero como el ángulo de refraccion *FBC* es siempre menor que el de incidencia; sucede precisamente que *BC* se confunde con *BF* algun tiempo antes que *AB* se confunda con *BE*.

Confundida una vez *BF* con la recta de refraccion *BC*, si se hace el ángulo de incidencia aun menor, el móvil se reflexa en la superficie del líquido como si cayese sobre un cuerpo sólido, haciendo el ángulo de reflexion igual al de incidencia; esto se verifica cuando se arroja una piedra muy oblicuamente á la superficie del agua para producir lo que se llama *rebotes*. El mismo efecto sucede muchas veces cuando se tiran cañonazos al mar, pues la bala va por reflexion á dar en los objetos que están en su direccion: se necesita un tino particular para poder lograr este efecto en algunas circunstancias.

Es preciso mucho acierto para matar de un tiro á un animal que esté á alguna profundidad debajo del agua; casi siempre los primeros tiros se yerran por la refraccion que la bala sufre; para acertar es preciso valuar el ángulo de refraccion, y conocer la profundidad del agua para saber de antemano

lo que se apartará la bala del punto señalado; después se tira un poco más cerca, pero solo se puede adquirir esta costumbre á fuerza de ejercicio.

CAPITULO XIX.

Movimientos oscilatorios y vibratorios de los líquidos.

386. *Oscilacion del liquido en un sifon.* — Cuando un líquido está en reposo en un tubo encorvado (*fig. 115*), las dos superficies están en un mismo plano horizontal; pero cuando una causa cualquiera altera el equilibrio, el líquido se eleva en uno de los brazos, y se deprime en el otro en una cantidad igual. Cuando esta causa ha cesado de obrar, el líquido retrocede elevándose en el otro brazo, vuelve á caer y subir en el primero, y así sucesivamente oscilando del mismo modo que un péndulo. La magnitud de las oscilaciones disminuye poco á poco en virtud del rozamiento, hasta que pasado algun tiempo se restablece el equilibrio.

Estas oscilaciones, que son debidas á la accion de la gravedad, siguen entre sí las mismas leyes que las oscilaciones del péndulo; así es que son isócronas, y en tubos de diferentes longitudes sus duraciones están entre sí como las raíces cuadradas de las longitudes de las columnas.

Se demuestra que en un sifon invertido (*figura 115*), cuyos brazos laterales son verticales, el líquido hace sus oscilaciones en el mismo tiempo que un péndulo, cuya longitud sería la mitad de la longitud total de la columna líquida. Se puede pues fácilmente, cualquiera que sea la posicion de

los brazos laterales, hallar la longitud del péndulo que hiciese sus oscilaciones en el mismo tiempo que el líquido. Se obtiene para esto la fórmula

$$L = \frac{l}{\cos.\gamma + \cos.\gamma'},$$

siendo γ y γ' los ángulos que hacen los brazos del sifon con la línea vertical, l la longitud total de la columna de líquido, y L la del péndulo. Cuando los brazos son verticales se tiene $\gamma = 0$, $\gamma' = 0$, y la fórmula da $L = \frac{1}{2} l$, como ya hemos dicho.

387. *Movimiento undulatorio.* — Todo el mundo sabe que agitando el agua en un punto cualquiera de su superficie se forman olas circulares que parece moverse con cierta velocidad. Estas olas son debidas á las elevaciones y depresiones sucesivas del líquido encima y debajo de su nivel, es decir, á las oscilaciones verticales de las moléculas líquidas, análogas á las que se verifican en un sifon invertido.

Los trabajos de Poisson y Cauchy sobre estos movimientos undulatorios, que hasta aquí eran muy poco conocidos, nos enseñan que á cierta distancia del centro de la conmocion, donde los movimientos se regularizan, es preciso distinguir dos especies de olas que se manifiestan en dos épocas diferentes.

Las olas que se desarrollan primero se propagan con movimiento uniformemente acelerado; sus latitudes, es decir, los intervalos entre dos *vértices* sucesivos, crecen proporcionalmente al cuadrado del tiempo, de suerte que dos olas que parecen confundirse muy cerca del centro de movimiento se separan de un modo muy rápido á medida que se adelantan. Las alturas decrecen en razon in-

versa de este mismo cuadrado, cuando el líquido está encerrado en un canal de una latitud constante, ó segun la cuarta potencia del tiempo cuando el fluido está libre por todas partes. Estas olas son en general muy poco perceptibles en razon de la depresion rápida de sus vértices y su ensanchamiento; circunstancias que impiden muy pronto el distinguirlas del nivel del líquido.

Las olas que se desarrollan en la segunda época se propagan con un movimiento uniforme, y una velocidad proporcionada á la raiz cuadrada de la anchura de la conmocion primitiva; sus vértices se deprimen menos rápidamente; las alturas siguen la razon inversa de la raiz cuadrada, ó la primera potencia del tiempo, segun está el líquido contenido en un canal, ó libre por todas partes. Estas olas son mucho mas perceptibles que las primeras, y lo son tanto mas cuanto mas puntos existen en la superficie del líquido, en los cuales las oscilaciones verticales son nulas, y que forman entonces una especie de nodos que parecen moverse en esta superficie. Estos nodos dividen las olas en grupos, de los cuales cada uno puede considerarse como una sola ola dentada en toda su extension.

El analisis demuestra tambien que el movimiento puede trasmitirse á grandes profundidades; lo cual confirma igualmente la experiencia, pues está demostrado que el guijo y arena que se hallan en el fondo del mar, son continuamente trasportados á las playas por las olas.

388. *Reflexion de las olas en la superficie de los cuerpos.* — Cuando una ola, producida por un medio cualquiera, llega á encontrar un obstáculo que no puede vencer, se reflexa sobre sí misma,

como se ve *fig. 137*, y toma al retroceder la figura que tendria si hubiese continuado su movimiento al otro lado del obstáculo.

Si la pared contra la cual chocan las olas está taladrada con una abertura que comunica á un depósito vecino, se forman en este olas semicirculares, cuyo centro es el de la abertura, como se ve en la *fig. 137*. Si la abertura comunica con un canal, las olas se propagan en arco de círculo, como *fig. 137*. Estos experimentos pueden hacerse en los estanques que adornan los jardines.

Es de notar, que diferentes olas producidas al mismo tiempo en la superficie de un líquido se propagan sin perturbarse de modo alguno. Así es que, arrojando una piedra á un punto del estanque, y otra á otro diferente, se ven dos especies de olas circulares que se propagan unas sobre otras sin estorbarse de modo alguno.

389. *Movimientos vibratorios.* — Los líquidos son susceptibles de entrar en vibracion cuando están en contacto con un cuerpo que puede adquirir esta especie de movimiento. En efecto, si se hecha agua en un vaso de pie, por cuyo borde se pasa el dedo para producir un sonido, se ve al momento á la superficie del líquido llenarse de pequeñas olas que van desde la circunferencia al centro.

La facultad que tienen los líquidos de poder vibrar se prueba tambien por la facilidad con que propagan el sonido producido en un punto cualquiera de su masa. Si estando sumerjido en el agua se toca una campanilla dentro de este líquido, la intensidad del sonido que se percibirá será mucho mas fuerte que si se estuviere en el aire; y aun llegaría á fatigar mucho el oido por su intensidad. Véa-

se aquí un ejemplo de la prevision del Criador, cuya infinita bondad no ha dado á los órganos del oído en los peces todo el desarrollo que se nota en la mayor parte de los animales terrestres.

La facultad de transmitir el sonido no es la misma en todos los líquidos; segun varios experimentos parece que está en razon directa de los pesos específicos.

La velocidad del sonido en los líquidos se determina por una fórmula algebraica, que es una funcion de la densidad y de la compresibilidad del líquido. Pero esta fórmula no ha sido confirmada rigurosamente por la experiencia sino hace poco tiempo. Colladon en un trabajo hecho en union con Sturm sobre la compresion de los líquidos, ha hallado por experimentos hechos en el lago de Ginebra, que la velocidad del sonido en la temperatura de 8° era 1435 metros (1716,7 varas) por segundo. Introduciendo en la fórmula la densidad de las aguas del lago á esta temperatura, y su compresibilidad determinada por la experiencia, da el cálculo 1428 metros, ó 1708,4 varas; resultado tan poco diferente del anterior que la diferencia puede mirarse como inapreciable.

LIBRO CUARTO.

Fluidos aeriformes, ó gases.

PRIMERA SECCION.

Propiedades de los fluidos aeriformes.



Se llaman comunmente *gases permanentes* aquellos cuerpos que conservan el estado aeriforme, ó *semejante al aire*, en todas las temperaturas, y bajo todas las presiones: se llaman *gases no permanentes* ó *vapores* los cuerpos que, estando en forma de aire atmosférico, vuelven á tomar la de líquidos ó sólidos cuando la temperatura disminuye notablemente, ó cuando se les somete á una presion muy considerable. Haremos ver cuando se trate del calórico hasta que punto puede ser fundada esta distincion; pero ahora nos contentaremos con exponer, en general, las propiedades de los fluidos aeriformes, manifestando que todos ellos, incluso los vapores, se conducen en este punto absolutamente del mismo modo que el aire atmosférico.

CAPITULO PRIMERO.

Figura y porosidad.

390. *Figura.* — No es posible descubrir en los fluidos aeriformes la mas mínima fuerza de cohesion; de suerte que estos cuerpos aunque se hallen en muy cortísima cantidad no pueden tomar como los líquidos la figura esférica: ademas, aun cuando tomasen realmente esta forma, no podriamos percibirla porque la mayor parte de ellos son completamente invisibles.

Los cuerpos aeriformes toman la forma de los vasos en que estan contenidos; pero en virtud de su elasticidad difieren, aun bajo este punto de vista, de los cuerpos líquidos; en efecto, si se echa en un frasco ó vasija purgada de aire un volumen de agua menor que el que puede contener, se acomoda este líquido en la parte inferior del vaso cuya figura toma, y presenta una superficie plana y horizontal: pero si en el mismo vaso, vacío de aire, se introduce cierta cantidad de un fluido aeriforme cualquiera, este fluido se extiende en toda la capacidad del vaso, y toma su forma en la totalidad, sin que jamas llegue á ser su superficie plana ni horizontal por si misma.

Sin embargo, cuando dos gases de diferente densidad estan reunidos en el mismo vaso, se observa antes de que se mezclen, que se forma una superficie plana y horizontal en su juntura. Esto se verifica, por ejemplo, con el aire atmosférico y el ácido carbónico, que como es mas pesado ocupa la parte inferior de un vaso abierto por su parte

superior, formando una superficie plana horizontal con el aire que ocupa dicha parte superior.

391. *Porosidad.*—La porosidad de los fluidos aeriformes se prueba de un modo evidente por la facultad que tienen estos cuerpos de poder ser estrechados por la compresion, y reducidos á ocupar un espacio infinitamente menor que el que ocupan en su estado natural.

CAPITULO II.

Impenetrabilidad.

392. *Experimentos que comprueban la impenetrabilidad del aire.*—La experiencia diaria debe habernos enseñado que el aire es tan impenetrable como los cuerpos sólidos y líquidos: pero como este fluido es invisible, no podemos percibir inmediatamente su salida de los vasos que le contienen cuando en ellos se introduce otro cuerpo; además, como vivimos en medio de él, se nos ha hecho tan sumamente familiar que no reparamos en sus propiedades, á menos que alguna circunstancia particular no nos obligue á ejercitar en ellas nuestra curiosidad. Vamos, pues, á recapitular los experimentos comunes y diarios que nos atestiguan la impenetrabilidad del aire.

1.º Cuando tomamos una tira de papel en la mano y la hacemos mover en el aire de un lado á otro, vemos que siempre se encorva en el sentido opuesto al del movimiento, lo cual anuncia cierta resistencia de parte del fluido que nos rodea. Esta resistencia se manifiesta de un modo nada

equivoco cuando hace lo que llamamos *viento*.

2.º Cuando en una botella vacia, como se dice vulgarmente, se quiere introducir un líquido por medio de un embudo que ajuste bien con el cuello de la botella, se oye un ruido particular ocasionado por el aire que sale de ella. Si se la sumerge en el agua se ve que á medida que el líquido se introduce sale el aire atravesándole en forma de ampollitas.

3.º Para verificar este último experimento de un modo aun mas concluyente, tómese un cubeto (*fig. 138*) en cuyo interior y apoyando sobre uno de sus lados se fija una tabla horizontal con un agujero; llénese este cubeto de agua hasta algunas líneas mas arriba de la tabla; tómese en seguida una campana de vidrio y sumérjasela en el cubeto hasta llenarla, y despues, teniendo cuidado de no vaciarla se pone boca abajo sobre el agujero de la tabla. Hechos estos preparativos, tómese la botella del experimento anterior y sumérjasela en el agua dirigiendo su cuello hácia el agujero de la tabla por debajo de esta; se verá entonces que, á medida que se introduce el agua en la botella, el aire que esta encierra sale y se dirige á la campana, de la cual desaloja parte del líquido que la ocupaba.

4.º Tambien puede probarse la impenetrabilidad del aire por otro medio: si se sumerge un vaso ó una campana boca abajo en una vasija llena de agua, se nota que el líquido no se introduce en la cavidad sino en una cortísima cantidad, porque el aire es sumamente compresible.

En este experimento se funda la construccion de la *campana del buzo*, que no es otra cosa sino una especie de tonel sin fondo y rodeado en la

abertura que deja este, de pesos mas ó menos considerables para que se pueda sostener la máquina en posicion vertical. Se introduce un hombre bajo este aparato sentado en un travesaño horizontal, y se baja toda la máquina por el agua para buscar en el fondo los objetos que se han caido ó que se hallan en el naturalmente. Se ha abandonado esta máquina hace largo tiempo, ya sea porque el aire que contiene se vicia prontamente por la respiracion del que va dentro, ó ya porque el mismo aire condensado obra violentamente sobre sus órganos, haciéndole arrojar sangre por boca, nariz, orejas, &c. Sin embargo, puede servir con utilidad en profundidades poco considerables, y es bastante extraño que no se emplee con mas frecuencia.

393. *Experimentos que comprueban la impenetrabilidad de otros fluidos aeriformes.*— Se puede probar del mismo modo la impenetrabilidad de todos los fluidos aeriformes que se obtienen por diversos procedimientos en los laboratorios de química; solamente hay que advertir que muchos de ellos son solubles en el agua, y por consiguiente el aparato (*fig. 138*) no puede servir para ellos tal como le hemos descrito. En este caso se reemplaza el agua con mercurio, y en lugar de un cubeto se usa una vasija pequeña rectangular de loza ó porcelana, y una campana proporcionada. Decimos vasija pequeña, porque, siendo el mercurio muy pesado y muy caro, seria preciso hacer un gasto muy considerable para hacer el aparato en grande, siendo asi que con 14 ó 16 libras de mercurio se pueden hacer comodamente los experimentos citados. Tambien hay fluidos aeriformes que obran sobre el mercurio, y es preciso recojerlos por otros medios

fundados en la diferencia de pesos específicos (410).

El aparato que hemos indicado, ya sea de agua, ó ya de mercurio, se usa mucho en los laboratorios de química con el nombre de *cuba neumato-química* para recojer los gases que se desprenden en las diversas operaciones químicas, ó que se preparan á propósito.

Los vapores son tan impenetrables como los gases permanentes. Se puede probarlo por experimentos análogos á los que acabamos de citar; pero como los vapores pasan al estado líquido por una disminucion de temperatura, es preciso cuidar de que el líquido del aparato esté en el mismo grado que ellos; tambien es preciso elegir un líquido que no sea capaz de disolverlos. El mercurio es muy á propósito para estos experimentos.

Se hace calentar el mercurio hasta la temperatura del agua hirviendo; despues, poniendo en una retorta pequeña un líquido evaporable, tal como agua, espíritu de vino, eter, &c., se adapta el cuello de la retorta al aparato, despues de hacer salir el aire que se desprende al principio de la operacion. Por este medio se reconoce que el vapor desaloja al mercurio lo mismo que cualquier gas permanente.

394. *Ejemplo de la resistencia del aire.* — Despues de haber probado, en general, la impenetrabilidad de los fluidos aeriformes, no será admirable la resistencia que oponen á todos los cuerpos que procuran atravesarlos. El aire, como hemos dicho (70), es quien se opone á que todos los cuerpos adquieran la misma velocidad al caer de una altura cualquiera. Si el agua que se arroja por una ventana se divide en gotas al caer, no es mas que

un efecto de la resistencia del fluido invisible que nos rodea; y por ello la lluvia y la nieve llegan á la tierra en forma de gotas ó copos. Como estas gotas y copos caen ordinariamente de muy alto, nos sacudirian con gran fuerza si la resistencia del aire no las impidiese adquirir una aceleracion extraordinaria en su marcha. Esto se prueba en los gabinetes de fisica por medio de un tubo de vidrio privado de aire que encierra una corta cantidad de agua, y se llama *martillo de agua*. Volviendo este tubo sucesivamente de un lado á otro para hacer ir y venir el agua del mismo modo, se oye un golpe bastante fuerte ocasionado por el choque de este líquido contra las paredes del tubo, que algunas veces se rompe.

Si fuese necesario todavía citar otro ejemplo de la gran resistencia que el aire opone al movimiento de los cuerpos que le atraviesan, podemos valer nos del siguiente: el cálculo demuestra que bajo un ángulo de 45° una bala de 24 lanzada en el vacío con 4 libras de pólvora debia correr mas de 20.000 varas, mientras que por experiencia no corre en el aire sino unas 5.000, diferencia enorme debida enteramente á la resistencia del fluido que atraviesa.

CAPÍTULO III.

Compresibilidad.

395. *Experimentos sobre los gases permanentes.* — Si los cuerpos sólidos ó líquidos apenas dan señales visibles de compresibilidad, no sucede así

con los cuerpos aeriformes que las dan tan evidentes que puede lograrse reducirlos á un volumen infinitamente menor del que ocupan naturalmente. Para convencerse de esto basta tomar un tubo de vidrio bien fuerte y cerrado por uno de sus extremos, cuidando que su diámetro interior sea lo mas exactamente posible igual en todos sus puntos. A este tubo se adapta un émbolo (*fig. 142*) que pueda facilmente introducirse en él, corriéndole de un extremo á otro, y cerrando exactamente el abierto. Si estando el tubo lleno de aire se adapta el émbolo y se le hace entrar en el tubo empleando la fuerza necesaria, se verá que el aire va ocupando un espacio menor que el primitivo, y tanto menor cuanto mayor fuerza se va empleando, aunque siempre opone una resistencia muy considerable.

Lo mismo puede ejecutarse con todos los gases permanentes, y aun los vapores estan en igual caso, siempre que su temperatura permanezca mas elevada que la que los produce, pues en otro caso se vuelven al estado líquido con mucha facilidad.

396. *Experimentos sobre los vapores.* — Para hacer con los vapores experimentos análogos á los que acabamos de citar, se puede proceder del modo siguiente: caliéntese el mercurio de una cuba, y dispóngase el tubo (*fig. 142*), como una campana para recibir el vapor que debe prepararse: despues póngase sobre un hornillo una retorta A (*figura 140*), que comunique con un tubo de porcelana que atraviese un segundo hornillo, y al cual esté adaptado otro tubito que se sumerja en la cuba de mercurio, y vaya á parar á la campana prevenida.

Preparado así todo lo necesario, se hecha agua

en la retorta, y se enciende el fuego de los hornillos. Al cuarto de hora se desprende gran cantidad de vapor perfectamente seco, y á una temperatura muy elevada. Se llena con él el tubo preparado al que se adapta en seguida el émbolo, y cualquiera puede entonces convencerse de que el vapor en esta temperatura sigue absolutamente la misma marcha que los gases permanentes.

Al hacer estos experimentos se procura no quemarse las manos, pues el mercurio adquiere una temperatura muy alta, y como además se volatiliza es preciso también evitar el respirarle.

CAPÍTULO IV.

Elasticidad.

397. *La elasticidad se patentiza en los gases por las mudanzas de volumen.*—Hemos visto que la elasticidad de los cuerpos sólidos, y sobre todo la de los líquidos resulta de una especie de movimiento oscilatorio de las moléculas (180), ó de una mudanza de forma (300); al contrario en los fluidos aeriformes, pues vamos á manifestar que su elasticidad jamás se manifiesta de otro modo que por medio de la mudanza del volumen.

Comprimiendo el aire en el tubo (*fig. 142*) se experimenta al momento una resistencia sumamente considerable producida por la tendencia del fluido á recuperar su volumen primitivo, es decir, por la elasticidad de que está dotado, la cual es tanto mayor cuanto mayor es la condensacion. En

efecto si se cesa de apretar el émbolo, se le ve retroceder, y el fluido recupera su volumen primitivo si el rozamiento del émbolo sobre las paredes del vaso no es demasiado considerable. Esta fuerza elástica se manifiesta tambien por la velocidad con que sale el gas del vaso cuando encuentra salida, produciendo un silbido tanto mas fuerte quanto mas comprimido se halla.

Se ha empleado de muchos modos la fuerza elástica del aire comprimido, originando varias máquinas, unas útiles, y otras de pura curiosidad y adorno en los gabinetes de física. Describiremos sucintamente algunas de ambas clases.

398. *Escopeta de viento*.—La pieza principal de la escopeta de viento, es una culata hueca muy fuerte (*fig. 143*), provista en *A* de una válvula que se abre de fuera á dentro; esta culata está destinada á guardar una porcion de aire condensado. Para introducirle en ella se usa de una bomba (*figura 144*) que tiene en *B* un agujero por donde da paso al aire; esta bomba se atornilla á la culata, y despues de cierto número de emboladas, las suficientes para introducir y condensar el aire en la culata, se destornilla y sustituye por un cañon que tambien ajusta á tornillo.

El aire encerrado y comprimido en la culata obra por su elasticidad sobre todos los puntos de ella, y mantiene cerrada la válvula; pero cuando por el mecanismo del gatillo se abre esta válvula por un momento, se escapa con velocidad una corta porcion del mismo aire, y arroja con fuerza la bala que se opone á su paso: al momento se cierra la válvula por la presión del aire que queda en la culata, para abrirse de nuevo cuando vuelva á

moverse el gatillo, y dejar escapar otra porción, y producir el mismo efecto. De este modo se pueden tirar varios tiros seguidos; pero como á medida que va saliendo el aire de la culata, el resto que queda en ella va perdiendo su elasticidad, los últimos tiros son siempre muy débiles.

399. En las armas de fuego comunes se observan efectos bastante análogos, porque la explosion de la pólvora desarrolla en un corto espacio gran cantidad de fluidos aeriformes, que al dilatarse arrojan con fuerza el movil que se opone á su paso.

La velocidad de la bala arrojada por una pieza de artillería es tanto mayor cuanto mas tiempo pueden obrar sobre ella estos fluidos condensados. Por esta razon, cuanta mayor longitud tiene una pieza tanto mas lejos lanza el proyectil, como se ve en las piezas de batir que tienen mucho mayor longitud que las de campaña, y su alcance es tambien mayor, como se verifica tambien en el fusil, respecto de la pistola y carabina. Todo esto es facil de comprender, pues al momento que el proyectil ha salido de la pieza ya no puede experimentar ninguna accion de parte del fluido condensado, que se esparce enteramente en la atmósfera: de consiguiente, si la pieza es corta no obra el fluido sobre el movil mas que un instante sumamente pequeño, de donde resulta que solo le comunica muy poca velocidad; y al contrario, cuando es larga, obra mas tiempo sobre el movil, y le comunica mayor velocidad. Con todo, la longitud de la pieza debe tener sus límites, pasados los cuales el rozamiento sobre las paredes principia á destruir en parte la velocidad del movil, y de consiguiente perjudica al alcance.

Muchas veces se emplea la fuerza elástica de

los fluidos aeriformes condensados por un medio cualquiera, para variar el movimiento en las máquinas. En las obras de mecánica pueden verse las observaciones hechas sobre este asunto, reservándonos para el libro IV la descripción de la máquina de vapor y sus efectos.

400. *Fuente de compresion.* — Se compone esta fuente de un vaso de paredes gruesas (*fig. 145*) lleno de agua hasta *ac*; *de* es un tubo que comunica hasta el fondo del vaso, y está fijo en *d* á la parte inferior de una llave, cuyo tornillo es *B*. Se atornilla en *A* una bomba (*fig. 144*) que tenga una válvula en *c* que se abra de alto á bajo, y se introduce aire en el vaso: este aire atraviesa el agua hasta llegar á ponerse en la parte *ab* sobre el agua, donde se condensa extraordinariamente. Después de cierto número de emboladas se cierra la llave, y se sustituye á la bomba en *D* un surtidor.

El aire comprimido en la cavidad del vaso ejerce por todas partes una presión considerable; si se abre la llave *F* el agua sale por el surtidor con violencia hasta una altura considerable.

Una botella cerrada con un buen tapon, por cuyo centro pase un tubito terminado en cono v. gr. (*fig. 146*) sirve tambien para modelo de una fuente de compresion. Se echa agua en la botella, y después se sopla por el tubo para introducir mas aire, y al momento que se separan los labios del tubito se ve salir el agua en forma de surtidor. Para llenar la vasija de agua se suele usar el medio de una succion, y con esto no hay que emplear ningun otro aparato.

401. *La fuente de Heron* no es mas que una modificación de la fuente de compresion, en la cual

el aire está comprimido por el mismo juego de la máquina.

La *fig.* 147 representa el corte longitudinal del aparato; se reduce este á un vaso dividido en tres cavidades, de las cuales la superior ABCD forma un depósito de agua; la segunda CDEF es un depósito que se llena de antemano hasta *ab* por un agujero hecho en la pared CD, y cerrado con un tapon: *ed* es un tubo terminado en cono que baja hasta el fondo de este depósito: últimamente la cavidad EFGH está cerrada como se representa en la figura, y llena de aire; comunica con la cavidad ABCD por el tubo *fg*, y con la CDEF por el *hi*.

Cuando se echa agua en la cavidad superior se introduce el líquido por el tubo *fg* en la inferior, y el aire encerrado en ella y en la parte ABCD con quien comunica se reduce á un espacio menor; adquiere entonces cierta fuerza elástica en virtud de la cual empuja la superficie del agua *ab*, obligando á este líquido á salir por el tubo *ed* con violencia en forma de chorro.

Tambien se dispone la fuente de Heron bajo otras formas como *fig.* 148; pero sean las que se quieran siempre se reconocerá en ellas el mismo principio.

Se ha empleado en grande algunas veces este aparato para agotar el agua de las minas, sobre todo en Alemania; pero en el dia se ha abandonado esta especie de máquinas por otras de mayor energía.

402. *Ludion ó diablillo de Descartes.*—Se llama así una figurilla ridícula de esmalte sostenida en el agua por una ampolla de vidrio llena de aire, que tiene un agujerito en su parte inferior, proporcionada de tal modo al peso total de la figurilla que

está en equilibrio en el agua, por cuya razón siempre permanece en la parte superior de este líquido. Por último el vaso *fig.* 149 que contiene en agua todo el aparato, está cerrado con un poco de pergamino ó vejiga.

Cuando se aprieta la vejiga apoyando con el pulgar ó la palma de la mano, el agua, como es difícilmente comprensible, entra en la ampollita, y comprime al aire que está encerrado en ella, con lo cual aumenta el peso de la figurilla, y la hace bajar á la parte inferior del vaso.

Levantando la mano, cesa la compresion, y la elasticidad del aire rechaza el agua fuera de la ampolla con lo que se hace mas ligera la figurilla, y se dirige á la parte superior del vaso. Asi se puede á arbitrio hacerla subir ó bajar, sin que el espectador que ignora el mecanismo pueda notarlo.

403. *Fuelles.* — La construccion de las varias máquinas que se usan habitualmente en las ferreñas, fraguas y cocinas se funda en la impentrabilidad y elasticidad del aire. Es sabido que la construccion del fuelle comun consiste en lo que se llama *alma del fuelle*: esta no es otra cosa sino una válvula que se abre de fuera á dentro, y permite introducir el aire cuando se separan las dos tablillas del fuelle: aproximándolas se cierra dicha válvula, y no encontrando el aire otra salida que la del cañon, que es mucho mas angosta que la válvula, sale con gran velocidad, y activa la combustion en el foco á donde se dirige.

Este fuelle construido en grandes dimensiones se usa tambien por los herreros, forjadores, &c. y por largo tiempo se ha usado en los martinets, ferrerías, &c. con algunas modificaciones. En el dia se le ha sus-

tituido el *fuelle de émbolo*, que es una especie de bomba compuesta de una caja prismática de madera ó hierro, en la que se coloca un émbolo con su válvula, dispuesta de modo que permite la entrada del aire mientras se mueve en un sentido y no le deja salir cuando verifica el movimiento contrario. Estos fuelles, que en la actualidad se usan en muchos martinetes, ferrerías é ingenios, tienen sobre los antiguos la gran ventaja de exigir menos fuerza motriz, de suerte que si por ejemplo en un ingenio se empleaban tres ruedas hidráulicas para mover los fuelles comunes, bastan con los de émbolo solo dos ruedas para producir el mismo efecto.

404. *Elasticidad del aire en el grado de condensacion comun.* —Vemos por lo que precede que el aire comprimido tiene una fuerza elástica considerable, y que siempre se dilata hasta llegar al estado que tiene habitualmente á nuestro rededor, no manifestando al llegar á este punto mas elasticidad. Pero ahora vamos á manifestar que el aire que nos rodea está tambien en cierto grado de condensacion, y no aguarda para manifestar su elasticidad mas que la ocasion de hallar un espacio ocupado por otro aire menos condensado.

Supongamos un vaso (*fig. 150*) que no encierre mayor cantidad de aire que la que puede llenarle naturalmente al sumerjirle en la atmósfera, y cerremos la llave de comunicacion. Tómese una bomba de la misma forma que la de la *fig. 144*, con solo la diferencia de que no tenga abertura alguna en B, ni válvula en su parte inferior. Bájese el émbolo hasta el punto mas bajo de su curso, y atornillese entonces á la abertura del vaso,

teniendo cuidado de poner en la juntura una rodaja de cuero empapado en aceite para que cierre exactamente.

Si se levanta el émbolo no quedará aire debajo de él en la bomba, ó á lo menos muy poco; si se abre entonces la llave del vaso se oirá durante algunos momentos un silbido semejante al producido por el aire que sale de un tubo en donde está comprimido; de lo cual debe concluirse que sale una parte del aire encerrado en el vaso, lo que no puede verificarse sino en virtud de la elasticidad. Si el silbido cesa despues de algunos momentos, es porque el aire se halla muy pronto en un mismo grado de condensacion en la bomba y el vaso.

El aire que queda en el vaso es ya menos denso que el aire que nos rodea; sin embargo, todavía es susceptible de manifestar su elasticidad; y para probarlo basta repetir el experimento que acabamos de indicar.

Abriendo la llave se oirá de nuevo el silbido durante algunos momentos, aunque ya será menos fuerte que antes: se podrá repetir sucesivamente esta operacion cierto número de veces; pero cada vez será mas y mas debil el silbido llegando últimamente á cierto punto en que ya no se oye. Puede entonces decirse que ya no hay aire en el vaso, ó mas bien que está sumamente enrarecido.

405. *Máquina neumática.* — Acabamos de describir esencialmente la *máquina neumática* y sus efectos; pero hemos reducido este instrumento á su mayor sencillez: vamos ahora á manifestar su mas cómoda disposicion.

Quando no se quiere hacer el gasto que exige una máquina de dos cuerpos de bomba que des-

cribiremos despues, basta una bomba pequeña (*figura 151*) cuya parte inferior este provista de una válvula *a* que se abra de abajo á arriba, y cuyo émbolo *b* esté taladrado con un agujerito cilindrico muy estrecho cubierto con su válvula, que se abra del mismo modo que la anterior.

Dispuesta esta bomba á propósito sobre un vaso y bajando el émbolo, el aire se comprimirá debajo de este, y por consiguiente cerrará la válvula *a*, abriendo al contrario la válvula *b*, saliendo por ella; de suerte que cuando el émbolo llegue al fondo de la bomba, no habrá mas aire debajo de él que el que contenga su agujerillo, que por esta razon se hace muy estrechito. Si se hace subir el émbolo, el aire del vaso levantará la válvula *a* por su elasticidad, y se esparcirá por el cuerpo de bomba; pero permanecerá cerrada la válvula *b* porque la elasticidad del aire interior que la solicita de abajo á arriba es mas débil que la del aire exterior que la solicita de arriba á abajo. Haciendo bajar el émbolo se comprimirá el aire contenido en el cuerpo de bomba, que se hará mas elástico que el del vaso, y cerrará la válvula *a*; pronto se hará aun mas elástico que el del exterior, levantará la válvula *b* y se saldrá por ella. Haciendo subir y bajar alternativamente el émbolo cierto número de veces se logrará enrarecer extraordinariamente el aire contenido en el vaso, hasta tal punto que pueda considerarse el espacio del vaso como un espacio vacío. A esto se llama *hacer el vacío* en la máquina neumática.

En vez del vaso (*fig. 150*) puede usarse una campana (*fig. 152*) provista de su correspondiente llave en la parte superior, pero entonces es preciso

buscar una lámina de vidrio ó mármol bien plana sobre que poner la campana, interponiendo siempre en sus bordes una rodaja de tela basta ó cuero, empapada en aceite. Es preciso advertir que siempre que se emplee la bomba pequeña que acabamos de describir, deben usarse vasos de poca capacidad.

406. *Máquina neumática de dos cuerpos de bomba.* — Cuando se quieren hacer experimentos muy exactos, ó se quiere operar con vasos de magnitud regular, es preciso emplear la máquina *figura 152*, que se compone de dos cuerpos de bomba que van á parar á un tubo que termina en el medio *c* de la platina donde se ponen los vasos ó campanas que se quieren privar de aire. Para poner en accion la máquina se emplea un manubrio *ab* provisto de un piñon que engarganta en las varillas dentadas de los émbolos.

Se puede abrir ó cerrar arbitrariamente la comunicacion de la campana con los cuerpos de bomba por medio de una llave colocada en un punto cualquiera del tubo que termina en *c*, y tambien se abre ó cierra la comunicacion con el aire exterior por medio de otra llave análoga: *d* es una probeta que comunica con la campana y sirve para indicar el grado de rarefaccion del aire. En la máquina que representa la figura, consiste la probeta en un tubo recto de vidrio lleno de mercurio y colocado inversamente en una cubetilla llena de lo mismo. El mercurio permanece suspendido en el tubo en virtud de la fuerza elástica que ejerce el aire sobre su superficie en la cubetilla; pero á medida que se va enrareciendo el aire disminuye esta fuerza, y el mercurio cae en la cubetilla por su

propio peso, hasta que haciendo el vacío todo cuanto es posible, todo ó casi todo el mercurio ha bajado á la cubetilla.

407. *Experimentos sobre la elasticidad del aire comun.* — Vamos á emplear las máquinas neumáticas en algunos experimentos propios para demostrar de un modo evidente la elasticidad que manifiesta el aire que nos rodea cuando se halla en contacto con otro aire menos condensado.

Si se encierra en la campana de la máquina neumática una vejiga que no esté enteramente llena de aire, y tenga atada la abertura, y se hace el vacío, se la verá inflarse sucesivamente por la dilatación del aire que contiene, llegando hasta reventar, si es demasiada la cantidad.

Lo mismo puede hacerse con una manzana marchita, ó con higos, pasas, &c. Cuando el enrrecimiento llega á cierto punto se les ve recobrar la forma y tamaño que tenían cuando frescos, cuyo efecto proviene de la expansión de los fluidos aeriformes que contienen interiormente.

Si se deja entrar el aire en la campana se ve poco á poco desinflarse la vejiga y volver al estado que tenía antes del experimento. En igual caso se hallan las frutas, que conservan momentáneamente la belleza adquirida, pero se marchitan poco despues, y aun se pican porque se ha desorganizado su tejido por la expansión del aire que tenían.

Colocando bajo la campana ó recipiente de la máquina neumática la fuente de compresión (*figura 146*), en la cual el aire está en su densidad natural, se ve al momento que se pone en acción la máquina, formarse un surtidor, efecto del exce-

so de la elasticidad natural del aire encerrado en el aparato sobre la del aire enrarecido del recipiente.

Si se deja entrar el aire, se le ve inmediatamente dirigirse á la fuentecilla y atravesar el agua lo mismo que si se introdujese con una bomba.

Todo lo que hemos dicho del aire atmosférico se aplica igualmente á todos los fluidos aeriformes y aun á los vapores, siempre que estos mantengan una temperatura conveniente y constante mientras se hacen los experimentos.

CAPÍTULO V.

Pesantez de los fluidos aeriformes.

408. Al tratar de los cuerpos sólidos y líquidos en los libros precedentes, hubiera sido superfluo probar experimentalmente que estos cuerpos son pesados, porque todo el mundo lo sabe desde la infancia, pero no sucede lo mismo con los fluidos aeriformes, pues es necesario probar que así el aire como todos los demás, son pesados del mismo modo que los cuerpos sólidos y líquidos, puesto que hay pocas personas que hayan tenido proporción de convencerse de ello, tanto que hasta el siglo XV se negaba absolutamente su peso. A Galileo debemos el haberlo demostrado completamente por medio del experimento siguiente:

Sea *fig. 154* un gran balon de vidrio delgado con una llave en su cuello: despues de hacer en él el vacío mas perfecto posible se le pesará con toda exactitud: en seguida se deja entrar en él aire

y se le vuelve á pesar: se notará entonces una diferencia bastante notable por exceso, la cual no puede venir de otra cosa sino del peso del aire que ha llenado la capacidad del globo.

409. *Peso específico del aire y demás fluidos aeriformes.* — El mismo experimento puede hacerse con todos los fluidos aeriformes y vapores, convenciéndose por este medio de que todos ellos son pesados. Usando siempre el mismo balon y haciendo entrar en él sucesivamente todos los gases que pueden obtenerse en los laboratorios, se notará fácilmente que estos cuerpos son de diferentes pesos entre sí, y que se tienen sus pesos respecto volúmenes iguales, por el experimento; si se toma por unidad el aire atmosférico, se tendrá la pesantez específica de todos ellos por medio de la proporción $p : p' :: 1 : x$.

Biot y Arago han determinado con sumo esmero los pesos específicos de los gases siguientes, á 0° de temperatura.

Aire atmosférico.	1
Gas ácido carbónico.	1,524
Gas oxígeno.	1,1036
Gas azoé.	0,976
Gas ammoniaco.	0,596
Gas hidrógeno.	0,0688

A la temperatura de 100° el peso específico del vapor acuoso es de 0,51921.

El decímetro cúbico de aire á 0° pesa 1,2636 gramas, lo que da para la pulgada cúbica española 0,316 granos españoles. Segun don José Mariano Vallejo, el pie cúbico español de aire á 0° de tem-

peratura y 30 pulgadas 8 líneas de presión atmosférica, pesa 551 granos, que dá 0,318 granos por pulgada cúbica. (Véase la *Mecánica práctica*, página 181).

410. *Modo de recoger los gases, fundado en la diferencia de pesos específicos.* — Se puede comprender ahora fácilmente el método que enunciamos (393) para recoger los gases. Supongamos, por ejemplo, que queremos recoger gas ácido carbónico: este gas es mas pesado que el aire atmosférico y por consiguiente se dirige á la parte inferior de los vasos; así, pues, si se hace llegar el tubo por donde se desprende este gas hasta el fondo de una vasija abierta, desalojará sucesivamente al aire atmosférico y ocupará él solo la vasija.

Como el ácido carbónico es invisible, no es creíble que nadie se persuada inmediatamente de que ha pasado el hecho tal como decimos, pero tambien es fácil convencerse de ello. El aire atmosférico sirve para la combustion, de suerte que si se introduce en un vaso lleno de él una cerilla encendida, continuará luciendo; al contrario, el gas ácido carbónico no sostiene la combustion, y de consiguiente la cerilla introducida en un vaso que contenga este gas, se apaga repentinamente lo mismo que si se hubiese sumerjido en agua. Luego cuando el vaso de que hablamos esté lleno de ácido carbónico, se demostrará evidentemente su existencia, introduciendo la cerilla encendida, pues se apagará al momento, como en efecto sucede.

El ácido carbónico se puede trasvasar ó trasegar de una vasija á otra lo mismo que un líquido, y para convencerse de ello bastará valerse de la cerilla encendida, pues esta demostrará donde está

el gas y se le verá efectivamente mudar de vasos.

Se halla muchas veces el gas ácido carbónico en los pozos de minas ya abandonadas, y en el fondo de varias cavernas naturales, donde permanece en virtud de su peso. Por esto es muy prudente arrojar un cuerpo encendido y observar si arde hasta el fondo, antes de aventurarse á bajar ó entrar en un pozo ó galería largo tiempo abandonada.

A la existencia del gas ácido carbónico se debe el fenómeno que presenta la *Gruta del perro* situada en la orilla del lago de *Agnano* (Italia). El gas no ocupa jamas sino la parte inferior donde forma una capa de 8 á 10 pulgadas de altura; asi es que un perro queda sofocado al momento que entra, mientras que un hombre ó un animal mas alto que el perro no corre ningun peligro.

Si se quiere recojer un gas mas ligero que el aire atmosférico, v. gr. hidrógeno, se observará que en virtud de su ligereza tiende á ocupar la parte superior de la vasija empleada: por consiguiente se dispondrá esta boca abajo y se hará llegar el tubo por donde se desprende el gas, hasta la parte superior; entonces el aire atmosférico será desalojado poco á poco, y solo quedará en la vasija el hidrógeno.

SECCION SEGUNDA.

Equilibrio de los fluidos aeriformes.

Si se consideran los fluidos aeriformes como cuerpos pesados, cuyas partículas están dotadas de suma movilidad, se podrá en todo caso aplicar á ellos lo que hemos dicho sobre el equilibrio de los cuerpos líquidos. Pero debemos advertir que, además de la pesantez, están dotados los cuerpos fluidos aeriformes de la compresibilidad y elasticidad, y presentan algunas circunstancias particulares que examinaremos en los capítulos sucesivos.

CAPÍTULO VI.

Accion de los fluidos aeriformes sobre las paredes de los vasos que los contienen.

411. *Consideraciones teóricas.* — En virtud de la elasticidad, cualquier fluido aeriforme, cuya densidad sea sensible, encerrado por todas partes en un vaso, hace continuos esfuerzos por dilatarse: por consiguiente ejerce sobre las paredes de este vaso de dentro á fuera, presiones que dependen de la densidad y tambien de la temperatura á que se halla dicho fluido (*lib. V, cap. V*). Mientras no se considere en los fluidos aeriformes mas que la elas-

tividad de que estan dotados, las presiones que ejercen son evidentemente iguales en todos los puntos y direcciones; pero si se les considera como cuerpos pesados, la presion variará de un punto á otro segun la altura de la columna fluida que haya encima de cada uno de ellos. Sin embargo, como los fluidos aeriformes son generalmente muy ligeros, las variaciones no son perceptibles sino entre puntos muy distantes entre si, de suerte que en los vasos que usamos la columna fluida es sumamente pequeña para que sea posible hallar la mas mínima diferencia de presion entre su parte mas baja y su parte mas elevada.

El efecto de la pesantez es aquí el de hacer variar la elasticidad de la columna fluida desde su parte inferior á la superior. En efecto, consideremos los fluidos aeriformes como compresibles, y supongamos, para explicarnos mas claramente, que la columna que observemos esté dividida en capas horizontales sumamente delgadas; la última capa que sufre todo el peso de las capas superiores debe hallarse en cierto grado de condensacion; todas las capas siguientes se hallan menos condensadas sucesivamente porque van sufriendo menores presiones; de consiguiente son menos elásticas.

412. *Experimentos.* — Para reconocer visiblemente estas variaciones de elasticidad, era preciso operar á lo menos sobre capas distantes entre si de 20 á 25 varas; pero ademas de ser escusado buscar vasos de esta dimension, serían inútiles por existir al rededor de ellos una masa de fluido aeriforme que forma la atmósfera, en medio de la cual no sería facil hacer los experimentos necesarios para el objeto propuesto.

Sin embargo, puede hacerse el experimento de un modo indirecto muy sencillo; se toma un tubo de vidrio encorvado (*fig. 115*) y se echa en él un poco de agua; cuando el nivel esta establecido en ambos brazos, se cierra uno de ellos con una vejiga mojada atada bien fuertemente. Despues de esta operacion subsistirá el nivel porque la elasticidad del aire que se halla en el brazo cerrado es la misma que la del aire exterior, y se equilibran; pero si se transporta el aparato al alto de un tejado ó de un cerro elevado, se notará que el nivel no existe y que el líquido se eleva mas en el brazo abierto que en el cerrado; de lo cual puede concluirse que el aire que se halla en el brazo último se ha dilatado, y por consiguiente que la capa de aire en medio de la cual se ha trasportado el aparato es menos elástica que aquella en que se principió la operacion.

Si se eleva el aparato todavía á una altura mas considerable, la diferencia de nivel es aun mas notable, de suerte que es probable que en las regiones muy elevadas de la atmósfera le elasticidad del aire sea absolutamente nula. Se halla por la fórmula barométrica de Laplace que á la altura de 52986 metros (63387,68 varas españolas), el aire es tan raro como en el vaso donde se haya hecho el vacío mas perfecto posible.

413. *Presion sobre las paredes de los vasos de cortas dimensiones.* — Se puede decir en general que un fluido aeriforme encerrado por todas partes en un vaso pequeño, oprime igualmente todos los puntos de las paredes en razon de la elasticidad en que se halla, sin tener en consideracion las variaciones ocasionadas por la pesantez.

En un vaso abierto en un punto cualquiera, puede absolutamente decirse lo mismo; pero es preciso observar que en esta especie de vasos, el fluido no puede tener jamas diferente densidad que la capa de aire en medio de la cual se hace el experimento, como esta densidad está determinada por la presión de las capas superiores, se acostumbra decir en este caso que la presión que sufre un punto cualquiera es igual al peso de una columna fluida, á la cual serviria él mismo de base, y cuya altura seria la de la atmósfera sobre él. Lo mismo puede decirse de un vaso cerrado, siempre que el fluido aeriforme contenido en él tenga la misma densidad que el aire ambiente.

414. *Mezcla de los gases.* — Todo lo que hemos dicho de la presión de un solo fluido aeriforme encerrado en un vaso, y puesto en diferentes grados de densidad, se aplica igualmente á las mezclas de los diferentes fluidos aeriformes: en efecto, debe concebirse, que si en un vaso donde se halla cierta cantidad de un fluido aeriforme se introduce otro, no se hace mas que aumentar la densidad del primero, y por consiguiente su elasticidad.

Puede suceder en las mezclas que los fluidos, en virtud de su diferencia de pesantez específica, se separen y dispongan unos sobre otros en capas horizontales ocupando las partes inferiores los mas pesados. Pero entonces estos fluidos se comprimen mutuamente hasta que llegan á tener el mismo grado de elasticidad. Si al contrario los fluidos se mezclan de un modo regular en toda su masa, que es lo que sucede por lo general, las partículas alojadas unas entre otras se comprimen mutuamente,

y se establece entre ellas el equilibrio de elasticidad, lo mismo que si los gases estuviesen separados por capas horizontales.

CAPÍTULO VII.

Presión de la atmósfera en la superficie de la tierra, y sus efectos.

415. Si la presión de la atmósfera sobre los diversos objetos que nos rodean y sobre nosotros mismos no es perceptible á nuestros sentidos, es porque obrando de todos lados se equilibra á sí misma. Por ejemplo, si un cubo de una materia cualquiera está suspendido en el aire, sufre sobre sus caras laterales presiones iguales y opuestas, que por consiguiente se destruyen. Por su parte superior sufre una presión de alto á bajo, que en parte es destruida por la presión de bajo á alto, que se verifica en su superficie inferior. Pero esta presión inferior es algo mayor que la presión superior, porque la columna de aire que la determina es mayor en toda la altura del cubo; luego el cubo propuesto está empujado realmente de abajo á arriba por una fuerza que le hace perder una parte de su peso, precisamente igual al peso del volumen de aire que desaloja.

Si por un medio cualquiera se lograra sustraer el cuerpo á la presión de la atmósfera por una de sus caras, tendría que sufrir toda esta presión la cara opuesta: esto se observa exactamente en una campana donde se hace el vacío (*figuras 152 y 153*), pues desde las primeras emboladas se ve que la

campana adhiere fuertemente al plano que la sostiene, y su adherencia es tanto mas fuerte cuanto mas perfecto va siendo el vacío.

Tambien se hace este experimento por medio de dos hemisferios huecos de metal (*fig. 155*) que se llaman *los hemisferios de Magdeburgo*, los cuales pueden reunirse en *ab* para formar una esfera hueca completa. Una llave *c* permite hacer y conservar el vacío en su interior. Hecho el vacío no es posible separarlos, á menos que no se emplee una fuerza sumamente considerable, y en el momento que se logra la separacion, se produce un ruido muy fuerte, procedente de la entrada repentina del aire. Tenemos de este fenómeno un ejemplo muy familiar, pues se sabe que al hacer una succion en una llave hueca se pega á los labios con bastante fuerza.

En vista de estos experimentos quizá podria creerse que las adherencias que hemos reconocido entre los cuerpos sólidos (116), y entre los sólidos y líquidos (301), son efectos de la presión del aire; pero para convencerse de que no es así, basta colocar los cuerpos, así juntos, bajo el recipiente neumático, y se observa que para separarlos se experimenta la misma resistencia que al aire libre.

416. *Barómetro* — Este instrumento, cuyo nombre se deriva de *βάρος peso* y *μέτρον medida* sirve para medir la presión que el aire ejerce sobre un punto cualquiera de la superficie de la tierra. Para llegar gradualmente á su construcción supondremos que *A* (*fig. 156*), es un tubo abierto por ambos extremos y sumergido en un vaso lleno de agua: este líquido se pondrá en el tubo al nivel del vaso contando siempre con el efecto de la capi-

laridad. La presion de la atmósfera no puede impedir el nivel, porque obra igualmente en lo interior y exterior del tubo; pero si se hace una succion en este, se disminuirá la elasticidad del aire encerrado en él, y desde luego se romperá el equilibrio, elevándose el líquido en el tubo hasta que su peso y la elasticidad del aire que ha quedado equilibren la presion exterior de la atmósfera.

En los tiempos en que se negaba la pesantez del aire, se atribuia á la elevacion de los líquidos en el tubo donde se hacia una succion, á una especie de horror de la naturaleza al vacío.

Si en vez de agua se pone mercurio en el vaso, se obtendrá un fenómeno análogo con la única diferencia de que siendo el mercurio 13,5 veces mas pesado que el agua, se elevará á una altura 13,5 veces menos que ésta.

Si se tomase un tubo de cierta longitud, y se lograse por la succion un vacío perfecto, es evidente que el líquido se elevaria en el tubo hasta que el peso de la columna equilibrase á la presion atmosférica, de la cual se tendria por este medio una valuacion exacta. En efecto, este experimento se hace de un modo muy sencillo con el mercurio.

Se toma un tubo de vidrio de tres á cuatro pies de longitud, cerrado por un extremo, y se llena de mercurio: despues aplicando el dedo al extremo abierto se le invierte, y sumerje en una cubeta ó vasija llena tambien de mercurio, como se representa en la *fig.* 169. Al momento que se retira el dedo se ve bajar al líquido por sí mismo hasta que no queda en el tubo mas que una columna, cuyo peso equilibra perfectamente la presion atmosférica. Este aparato es el que ha recibido el

nombre de *barómetro*. La altura de la columna se mide partiendo desde el nivel del líquido en la cubeta. Haciendo el experimento á la orilla del mar se ve que el valor medio de esta altura es de 0,763 metros (32,856 pulgadas españolas).

Este hermoso experimento que ha destruido la ridícula idea del horror al vacío fue hecho por primera vez en Italia por Torricelli, discípulo del gran Galileo, el año 1643, y repetido en Francia el de 1646 por Mersenne y Pascal. Este segundo concibió la idea de ejecutarlo en una montaña muy alta, para reconocer si el fenómeno era verdaderamente debido á la presión de la atmósfera; pues comprendió que si era así, siendo menos denso el aire de la cima de la montaña que el de las llanuras de su pie, debía ser menor la columna de mercurio arriba que abajo. Hizo efectivamente el experimento en la elevada cima del *Puy-du-Dôme*, y observó el fenómeno comprobado como lo había previsto, y en virtud de este experimento decisivo concibió la idea de aplicar el barómetro á la medición de las alturas, como despues se ha ejecutado.

417. *Elevacion de otros líquidos en virtud de la presión atmosférica.* — Conociendo la altura del mercurio en el tubo del barómetro, que es 32,856 pulgadas, y la relacion de la pesantez específica de este líquido con los demas, es facil determinar por el cálculo la altura á que un líquido cualquiera se elevaria en virtud de la misma presión; pues estas alturas están en razon inversa de los pesos específicos. Respecto del agua se sabe, por ejemplo, que su peso específico es al del mercurio, como 1 : 13,586 : luego haciendo la proporcion 1

(peso específico del agua): 13,586 (id. del mercurio): 32,856 (altura del mercurio en el barómetro); x (altura del agua). Se tendrá $x = 37,198$ pies para la altura, á que podria subir el agua en el barómetro. Esta altura es variable en los diferentes lugares y tiempos lo mismo que la del mercurio.

Bombas. — La elevacion del agua en las bombas, que antes de Torricelli se atribuia al *horror al vacio*, no es mas que un efecto muy sencillo de la presion de la atmósfera que obliga al liquido á elevarse en el vacio á una altura de 37,198 pies próximamente.

418. *En la bomba aspirante (fig. 157) el émbolo está provisto de una válvula F que se abre de abajo á arriba. La parte ABCD, donde se mueve este émbolo se llama cuerpo de bomba, y la GHIK tubo de aspiracion. Hay una válvula en E en la juntura de ambos tubos, ó mas bien en HI al nivel del agua, la cual se abre tambien de abajo á arriba.*

Cuando se levanta el émbolo, el aire contenido en la parte ABCD se enrarece, y desde luego el contenido en el tubo de aspiracion GHIK levanta la válvula E, y se esparce en el cuerpo de bomba, de suerte que el enrarecimiento se hace bien pronto igual en toda la capacidad de la bomba; pero como entonces la elasticidad del aire interior no equilibra la presion de la atmósfera, el agua debe elevarse cierta cantidad en el tubo de aspiracion.

Haciendo en seguida bajar el émbolo, el aire que está debajo se comprime y se cierra la válvula E. Pronto adquiere el aire la elasticidad suficiente, en virtud de su compresion, para levantar la válvula F, y salir por ella. Levantando de nuevo el

émbolo se cierra la válvula F, y se abre la E dilatándose de nuevo el aire, y haciendo entrar otra porcion de agua en la bomba. Repitiendo esta maniobra llega el agua hasta E para pasar al cuerpo de bomba; llega tambien á la válvula F, la levanta y pasa encima de ella. Cada embolada hace pasar siempre una cantidad de agua, de suerte que, continuando en la operacion, se podria elevar encima del émbolo una columna de agua bastante considerable, hasta que al fin su peso se opusiese á la maniobra. Debe pues concebirse que, al hacer subir el émbolo, tambien es preciso levantar con él el peso de la columna líquida que se halla encima mas el peso de la atmósfera (*). Se dispone en cualquier punto del tubo superior un desaguadero para que el líquido pueda salir por él.

Siendo NO el punto mas bajo del curso del émbolo, la distancia NH de este punto al nivel del agua no debe exceder de 37 pies, pues si fuese mayor el líquido no llegaria jamas á la válvula F, puesto que la presion atmosférica no puede sostener mas que una columna de agua de 37,198 pies, en el supuesto que el barómetro señale 32,8 pulgadas. En una montaña bastante elevada, don-

(*) La carga que sufre el émbolo es igual al peso de la columna líquida que se halla sobre él, mas el peso de la atmósfera, es decir, mas el peso de una columna de agua de 37,198 pies de altura, y cuya base seria el mismo émbolo. Pero esto supone que la columna líquida NH que está debajo de *d* equilibre perfectamente la presion atmosférica sobre la superficie MP, sin lo cual el émbolo seria tambien solicitado por una fuerza de abajo á arriba, que destruiria parte de la carga que sufre de alto á abajo. Esta fuerza seria evidentemente igual á la diferencia de peso entre las columnas líquidas $NH = 37,198$ y $NH < 37,198$ pies.

de la presión atmosférica es menor, la distancia NH debe ser aun menor para que la bomba produzca su efecto. Esta teoría está comprobada por la experiencia continua de los fontaneros.

419. *Caso que la bomba no produce efecto.* — La válvula F se coloca unas veces en la juntura del cuerpo de bomba con el tubo de aspiración, y otras veces algo mas arriba del nivel del agua: en uno y otro caso puede suceder que al llegar el agua á cierto punto v. gr. la línea *ab*, se pare repentinamente, y no pueda elevarse mas aunque la distancia AH sea menor de 37 pies. He aquí como puede esto verificarse.

Estando el émbolo en el punto mas alto de su curso, y el agua en *ab*, la fuerza elástica del aire interior mas el peso de la columna de agua, equivalen á la presión atmosférica. Si sucede por la construcción de la bomba que el enrarecimiento del aire interior sea tal que llegado el émbolo á NO, punto mas bajo de su curso, la elasticidad del aire que está debajo de él iguale á la del aire exterior, la válvula F no se levantará; luego aunque se levante de nuevo el émbolo no se dilatará mas el aire, y por consiguiente no podrá subir el agua.

Para remediar este inconveniente seria preciso que el émbolo pudiese bajar algo mas abajo de NO á fin de comprimir mas al aire ó que pudiese elevarse mas arriba de AD para que se dilatase el aire mas considerablemente.

Sometiendo esta anomalía al cálculo, se halla que para que una bomba aspirante produzca siempre efecto es preciso que $\left(\frac{AH}{2}\right)^2 < AN \times a$, siendo *a* la altura del agua calculada por la del baróme-

tro en el paraje de la observacion; es decir, que el cuadrado de la mitad de la distancia entre el punto mas alto del curso del émbolo y el nivel del agua, debe ser menor que el producto de la altura del juego del émbolo, por la altura á que podria elevarse el agua en la bomba, por la presion atmosférica, en el punto en que se hace la operacion.

420. La bomba aspirante é impelente (figura 158) no tiene válvula en el émbolo. Cuando éste se eleva, enrarece el aire y produce la ascension del agua en el tubo de aspiracion; cuando baja impele al agua delante de sí y la obliga á salir levantando la válvula F, que está en el cuerpo de bomba, y se abre de dentro á fuera.

Quando el agua ha llegado al cuerpo de bomba, es empujada del mismo modo por el émbolo y arrojada al tubo ascendente, en el cual puede subir á una altura considerable, hasta que su peso se oponga á la maniobra. Debe, pues, conocerse que cuando el émbolo baja, tiene que mover todo el peso de una columna líquida á la que sirve de base, y cuya altura está determinada por la del líquido encerrado en el tubo ascendente. Se lee en varias obras de fisica, que la elevacion del agua en la bomba aspirante é impelente no está limitada á los 37,198 pies, y que por consiguiente que esta bomba es mas ventajosa que la simplemente aspirante. Este modo de probar su ventaja no da una idea muy clara de ella; pero si se tiene presente que la fuerza necesaria para impeler al agua á que entre en el tubo ascendente, es igual al peso de la columna líquida, cuya base es el mismo émbolo, y cuya altura es la elevacion del agua en el mismo

tubo; es claro que la presión de la atmósfera no influye para nada en el efecto, porque tanto obra encima como debajo del émbolo por la disposición de los tubos. Al contrario, en la bomba simplemente aspirante hay que levantar al mismo tiempo el peso de la columna líquida que se halla encima del émbolo, mas el peso de la atmósfera que equivale á una columna de agua de la misma base y 37,198 pies de altura.

La verdadera ventaja que la bomba aspirante é impelente tiene sobre la simplemente aspirante, consiste en que por medio de la primera se puede elevar el agua á 37,198 pies mas de altura que por la segunda.

Esta tiene respecto de la bomba simplemente impelente (298) la ventaja de que si sucede una avería en el cuerpo de bomba, se puede reparar inmediatamente porque el tubo esta fuera del agua.

421. *Sifon.* — El sifon es un tubo encorvado (*fig.* 159.) de brazos desiguales, del cual se hace mucho uso para trasvasar los líquidos. El brazo mas corto se sumerge en el líquido propuesto; se hace una succión en el extremo del brazo mas largo, para enrarecer el aire del tubo y elevar el líquido hasta la altura *A*, donde se establece una corriente que no se acaba sino cuando el nivel del líquido en el vaso ha llegado á *a*, porque entonces vuelve á entrar el aire en el tubo por el brazo mas corto.

Para concebir como se verifica esta corriente, es preciso observar que la fuerza que oprime al líquido en *B*, y le solicita á elevarse hasta *C*, es igual á la presión de la atmósfera, menos el peso de la columna líquida *CB*; y que la fuerza que en *A* soli-

cita al líquido á subir hasta C, es igual á la presión atmosférica menos el peso de la columna CA; pero siendo esta columna mayor que CB, resulta que la fuerza efectiva que obra en A es menor que la que obra en B, estableciéndose la corriente en virtud de la diferencia.

Debe concebirse muy bien que para que pueda verificarse esta corriente, es preciso que la distancia del punto C al nivel del líquido no exceda de la altura á que puede elevarse el líquido por la presión de la atmósfera: es decir, 37,198 pies para el agua, y 32,856 pulgadas para el mercurio.

Se ha hallado un medio para tomar el agua en corta cantidad en la parte curva ó mas alta del sifon, de suerte que sin ningun mecanismo se puede en muchas circunstancias elevar continuamente un hilo de agua á nueve ó diez varas sobre el nivel de un rio, lago, &c. pero no se sabe que se haya establecido este aparato en grande, aunque hay muchos parages en que la disposicion del terreno es muy favorable para verificarlo.

Para el uso habitual se ha dado al sifon una disposicion mas cómoda (*fig. 160*). El que usa de este aparato, cierra el orificio A con el dedo mientras hace la succion en D, vé al líquido subir en este nuevo brazo y se retira antes que llegue á su boca.

422. *Sifon intermitente.*—Se da este nombre á un sifon dispuesto de modo que produzca su efecto por sí mismo cuando el líquido llegue á cierta altura. Se ve esta disposicion en la *fig. 161*, en la cual el brazo mas corto llega al fondo del vaso y el mas largo sale fuera.

A medida que se echa agua en el vaso este lí-

quido se eleva en el brazo del sifon: cuando el nivel ha llegado encima del punto C la presión que ejerce le obliga á correr por el brazo CA, y si se echa con bastante abundancia, le llena prontamente; desde entonces el tubo encorvado hace el efecto de sifon ordinario y continúa la corriente hasta que el nivel del líquido llega á *a*. En este punto cesa la corriente para volver á principiarse al momento que el agua llega de nuevo sobre el punto C, y así alternativamente.

El sifon intermitente ha sido por largo tiempo un mero objeto de estudio ó curiosidad. Se aplicaba en los gabinetes de física á un vaso de pie ó de asa (*fig. 162*) que se llamaba *vaso de sifon* ó *vaso de tántalo*. Pero en 1776 fue aplicado por Garipuy de un modo muy ingenioso en el gran depósito del canal de Languedoc, para desaguar la superabundancia de aguas ocasionada por las lluvias ó aguaceros, elevando el nivel sobre el punto ordinario, comprobándose de este modo que experimentos que parecen á primera vista inútiles, sirven muchas veces para aplicaciones sumamente importantes.

Manoury de Ectot acaba de aplicar el sifon intermitente á varias máquinas en las cuales no entra ninguna parte móvil, y producen efectos que se estaba muy lejos de preveer. Es de esperar que estas máquinas que aun no son mas que objeto de curiosidad, adquieran algun dia la perfeccion necesaria para serlo tambien de utilidad.

423. *Catalicores* ó *catavinos*. — Se llama así un instrumentito (*fig. 163*) del cual se usa para tomar una corta cantidad de un líquido en medio de una masa muy considerable del mismo. Para esto

se sumerje el instrumento en el líquido, que en virtud de la presión de abajo á arriba se eleva en él. Antes de sacarlo se cierra su extremo superior con el pulgar, y se observa que queda suspendida una corta porción del líquido en el tubo mientras permanece cerrado el extremo B, pero cae al momento que se quita el dedo.

Para concebir este fenómeno, supongamos desde luego que el tubo esté lleno del líquido desde A á B: cuando la abertura E esté cerrada el líquido no será solicitado de alto á bajo sino por su peso; pero como la presión de la atmósfera obra de abajo á arriba en A con una fuerza igual al peso de una columna de agua de 37 pies de altura y de una base A, no es posible que la columna líquida AB pueda caerse, á menos que su altura no sea mayor de 37 pies, y aun en este caso solo se escaparía una parte del líquido.

Cuando se destapa la abertura B, las presiones de la atmósfera se hacen iguales y se destruyen, y entonces el líquido cae por su propio peso.

Cuando el tubo no encierra mas que la columna líquida AC se verifican los mismos fenómenos. En efecto, al primer momento la elasticidad del aire que se halla desde C á B equilibra la presión de la atmósfera, y desde luego cae el líquido por su propio peso, pero apenas han salido algunas gotas, cuando queda disminuida la elasticidad del aire interior, y llega un momento en que esta mas el peso de la columna líquida equilibran la presión de la atmósfera cesando la salida.

Todo el mundo sabe que si se taladra un tonel por un costado sin dar comunicacion al líquido con el aire por la parte superior, no se vierte el lí-

quido si ocupa exactamente la cavidad del tonel; si hay algo de aire en la superficie del líquido, se vierte una corta porcion por algunos instantes, cesando en seguida, á no ser que el agujero sea bastante grande para dar entrada al aire exterior deslizándose por la vena líquida. Estos efectos se explican del mismo modo que los anteriores.

En las campanas que se emplean para recoger los gases en los laboratorios de química, permanecen suspendidos el agua y el mercurio por la presión de la atmósfera que no puede obrar de arriba á abajo, y si solo de abajo á arriba (393).

424. *Embudo mágico.* — Este instrumento (*figura 164*) está construido por los mismos principios que el anterior. Consiste en un embudo de pared doble que no está taladrado en el fondo de la cavidad aparente. Se introduce por el tubo A un líquido cualquiera que se reparte entre ambas cavidades por la abertura C. En B hay un agujerillo que se cierra á arbitrio con el dedo. Cuando el intervalo entre ambas paredes está lleno, si se tiene cerrada la abertura B no hay salida del líquido, pero principia al momento que se levanta el dedo, pudiéndose suspender arbitrariamente cerrando de nuevo la abertura.

Los jugadores de manos y charlatanes para divertir á sus expectadores introducen vino entre las dos paredes, y despues teniendo cerrada con el pulgar la abertura B echan agua en la cavidad aparente; cuando levantan el dedo se ve salir vino en vez de agua, con grande asombro de la concurrencia.

425. *Fuente intermitente.* — Este instrumento pertenece tambien á los charlatanes: está construi-

do por los mismos principios de los precedentes, y representado por la *figura 165*. AB es un vaso dividido en dos cavidades que comunican entre sí por un agujero T: un tubo CD se eleva encima de la separacion, y llega hasta lo alto de la bola F, en la cual se echa agua hasta llegar á *ab*: esta bola tiene unos cuantos cañitos *c, d, &c.* que dejan correr el agua al vaso inferior, y gastan mas agua que la que puede pasar en el mismo tiempo por el agujero T.

Esto supuesto el líquido derramado por *c, d, &c.* no pudiendo pasar al mismo tiempo por el agujero T se eleva pronto sobre la abertura C: desde luego cesa la salida por *c* y *d* &c., porque el interior de la bola no tiene comunicacion con la atmósfera. Sin embargo el líquido reunido en el vaso inferior pasa poco á poco por T dejando en descubierto el punto C. Entonces vuelve á principiar la salida por los conductos de la bola, se vuelve á parar, y así sucesivamente hasta que no queda agua en la bola.

426. *Fuente intermitente natural.*—Por este mecanismo, ó mas bien por sus principios, parece poderse explicar las fuentes naturales periódicas que existen en varios puntos: entre ellas hay unas que dan agua durante muchos dias y aun meses, y se paran despues durante otro intervalo de tiempo mas ó menos largo, para volver á correr despues, y así alternativamente. Otras corren y se paran muchas veces en un mismo dia, &c. Estas fuentes han recibido en general el nombre de *fuentes intermitentes ó periódicas*, y el pueblo las ha llamado algunas veces *fuentes milagrosas*.

Para explicar los efectos de esta clase de fuentes se concibe una cavidad que comunica por una

hendidura de las rocas ó del terreno con la superficie del mismo, pero dispuesta la hendidura en la forma de un sifon intermitente, como se ve en la *fig. 166*, de suerte que, cuando el nivel del agua esté en *ab* la fuente correrá hasta que el nivel haya llegado á *cd*, en cuyo caso se para todo el tiempo que tarde la cavidad en llenarse hasta la línea *ab*.

Tambien se pueden concebir los fenómenos que presentan las fuentes que corren y se paran alternativamente en pocas horas, como dispuestas de un modo análogo á las fuentes intermitentes artificiales de los gabinetes de física.

CAPÍTULO VIII.

Cuerpos flotantes en la atmósfera.

427. *Cuerpos flotantes por su ligereza.*—Si en un vaso que contenga agua y mercurio se echa un pedazo de hierro, se verá que atraviesa el agua hasta llegar á la superficie del mercurio, donde flotará ó nadará con suma facilidad. Del mismo modo si se introduce en el fondo de un vaso lleno de aire atmosférico una porcion de gas ácido carbónico podrá lograrse que ciertos cuerpos que atraviesan facilmente el aire se detengan y floten en la superficie del gas ácido carbónico, que es mas pesado que el aire. Este experimento se puede hacer con ampollitas de jabon.

Los cuerpos que son específicamente menos pesados que el aire atmosférico, son tambien suscep-

tibles de elevarse, y flotar en medio de él, de lo cual tenemos en el dia un ejemplo ya familiar en los globos aereostáticos, por cuyo medio se puede elevar cualquiera en los aires á una altura considerable. Estos globos se componen de una gran bola, ó mas bien elipsoide de tafetan, que se llena de gas hidrógeno. Una redecilla que envuelve al globo sostiene la navecilla ó barquilla que le acompaña, y una válvula de seguridad colocada en la parte superior deja salir el gas á medida que se dilata al pasar por las capas de aire mas y mas enrarecidas, y evita de este modo la rotura de la tela que podia ocasionar repentinamente esta dilatacion.

La primera máquina aereostática fue inventada por Montgolfier, de donde les vino el nombre de *montgolfieras*; pero estaban muy distantes de ser como las que acabamos de describir. Consistian en una ligera cubierta de papel ó tela abierta por la parte inferior, que terminaba en un aro que sostenia un hornillo encendido. El calor dilataba el aire encerrado en la cubierta, que desde luego se inflaba considerablemente, y adquiria en virtud de esto una ligereza específica, por la cual se elevaba en la atmósfera, llevando consigo el hornillo y el combustible que le alimentaba.

428. *Cuerpos flotantes por su extrema divisibilidad.*—Es preciso distinguir los cuerpos que flotan en la atmósfera por su ligereza específica, de los que solo están suspendidos momentáneamente ó por algun tiempo en el aire, lo mismo que una materia sumamente dividida está suspendida en un líquido sin disolverse. El humo, las nieblas, el polvo, &c. están en este caso.

El humo es un carbon sumamente dividido y arrebatado fuera de los conductos de las chimeneas por la corriente de aire dilatado por el calor del hogar, que lo esparce despues por la atmósfera en forma de nube. Siendo el aire dilatado por el calor menos denso que el aire ambiente, se eleva en las chimeneas con velocidad, arrastrando consigo gran parte de los productos de la combustion.

Apenas llega el humo fuera de la chimenea y de la accion de la corriente que le arrebatava, cuando se manifiesta su tendencia á precipitarse sobre la tierra; pero entonces el mas leve viento le dispersa, y ya no se ve lo que pasa con él. Sin embargo, parece evidente que al fin debe depositarse sobre la tierra, despues de estar suspendido mas ó menos tiempo. En efecto, se puede observar que despues de salir el humo de nuestros aposentos y hogares en tiempo de nevadas, la nieve que está esparcida sobre la tierra al rededor de los pueblos grandes, tiene un sabor de hollin, y aun muchas veces pardea por él.

Nubes. — Veremos en el libro V que el calor hace pasar los líquidos al estado de vapores, que despues se mezclan con el aire atmosférico del mismo modo que los gases se mezclan entre sí.

Cuando la temperatura llega á disminuir en cualquiera punto de nuestra atmósfera, el vapor acuoso que se halla en ella procura volver al estado líquido; pero como las partículas de este vapor que están alojadas entre las de aire, sufren de parte de este fluido una oposicion á su reunion en líquido, se forman globulillos sumamente finos, separados unos de otros por una pequeñísima capa

de aire. De este modo se forman las nieblas y las nubes, que no son mas que montones de estos globulillos, que nadan en la atmósfera por mas ó menos tiempo, hasta que al fin se depositan en la tierra en forma de rocío ó de neblina, ó se resuelven en lluvia.

Polvo.— Todo el mundo ha podido reparar las enormes polvaredas que levanta el viento en los caminos, esparciéndolas á alguna distancia por los campos: en el medio día de la Francia se nota sobre todo este fenómeno en grande, pues se suele oscurecer el sol durante dias enteros por nubes de polvo arrebatado por los vientos, y llevadas á distancias considerables. Se hace tambien mencion en diferentes relaciones de viages de las nubes de polvo sumamente voluminosas que flotan sobre las playas arenosas del Egipto, y á veces se pultan las caravanas enteras.

Ademas de este polvo que se presenta siempre á la vista de un modo evidente, y que no permanece mucho tiempo en suspension, porque sus partículas son muy groseras, flotan continuamente en la atmósfera una multitud de corpúsculos sumamente pequeños y sutiles, como puede notarse muy bien en un cuarto donde penetre un rayo del sol. Parece que cuanto mayor es el calor, tanto mas considerable es el número de estos corpúsculos, pues son mucho mas raros en invierno que en verano.

Se ignora absolutamente la naturaleza de este polvillo finísimo. Quizá es una mezcla de materia inerte sumamente dividida, y gérmenes sumamente finos de varias especies de seres organizados, como huevecillos de insectos, simientes de plan-

tas y semillas fecundantes de los estambres de las flores. Es sabido por las observaciones de los naturalistas que se desarrollan espontáneamente en una multitud de circunstancias animalillos y plantas pequeñísimas de diversas especies, sin que hasta entonces se hayan podido percibir sus gérmenes. Se sabe tambien que algunas plantas de flores guarnecidas únicamente de pistilos son fecundadas, y llevan fruto, aunque las plantas guarnecidas de estambres estén á distancias considerables de ellas, y aun separadas por la vasta extension de los mares. Todas las observaciones parece que apoyan la hipótesis del trasporte de los gérmenes y polvos fecundantes por intermedio del aire.

Se ha sorprendido, por decirlo así, á la naturaleza en el hecho en muchas circunstancias, pues se ven revolotear por el aire muchas veces semillas en forma de plumillas, como las de la *lechuga*, *diente de leon*, y otras con que suelen jugar los muchachos algunas veces. Se ven tambien gran número de simientes en grano, provistas de una especie de alas membranosas delgadísimas, como las de pino, olmo, &c.; de tal modo que parecen estar dispuestas á propósito para dejarse arrastrar de los vientos que deben trasportarlas en todas direcciones para servir á la propagacion de sus especies.

En cuanto á los polvos fecundantes, se debe notar como un ejemplo especial que en los bosques de pinos y abetos en la época de la florecencia, la tierra está cubierta durante muchos dias de un polvillo sumamente fino y ligero, que los vientos arrebatan y esparcen en la atmósfera en cantidad prodigiosa, trasportándole lejos por los campos donde muchas veces al depositarse ha sido tenido por la

gente rústica é ignorante por lluvia de azufre. Tambien se ve en la misma época de la florescencia de los granos, formar el polvillo fecundante una especie de neblina encima de los sembrados.

CAPITULO IX.

Construccion del barómetro para operaciones exactas, y medicion de alturas con este instrumento.

429. *Construccion del barómetro.* — Cuando se quiere construir un barómetro con cuyas indicaciones se pueda contar con seguridad, es preciso tomar diversas precauciones que se han descuidado antes (416). Estas precauciones consisten en secar bien el tubo en su interior, limpiar bien el mercurio, y privarle perfectamente del aire y humedad. La desecacion del tubo y del mercurio evitan los efectos de la capilaridad. No es menos importante la expulsion del aire, porque desprendiéndose este cuando el instrumento estuviese construido, se elevaria á la parte superior del tubo, y por su elasticidad se opondria en parte á la elevacion de la columna líquida. No se emplea mas que mercurio bien puro, el cual se cuida de calentar hasta hacerle hervir. Se le introduce entonces en un tubo bien seco; pero como siempre quedan algunas burbujillas de aire adheridas á la pared del tubo, es preciso expulsarlas, y para conseguirlo se calienta el tubo por grados hasta hacer en cierto modo hervir el mercurio introducido en él. Despues de esta operacion puede volverse el tubo en una cubeta llena de mercurio, tambien purgado

de aire por medio de la ebullicion. El espacio que queda en el tubo sobre la columna líquida despues de establecido el equilibrio, debe ser un vacío perfecto.

Tambien puede usarse de un tubo construido en forma de U (*figuras 167 y 168*), cuyo brazo mayor esté cerrado en su parte superior. La menor hace entonces oficio de cubeta.

La altura de la columna líquida de mercurio que equilibra la presion de la atmósfera debe medirse siempre desde el nivel del líquido en la cubeta ó en el brazo menor, nivel que por sí mismo es variable segun se acorta ó alarga la columna líquida. Dos medios hay para lograr la exactitud en esta medida.

1.º Valiéndose de una escala movil, cuyo cero pueda siempre ponerse al nivel del líquido en la cubeta ó en el brazo que la reemplaza.

2.º Valiéndose de una escala fija; pero entonces es necesario buscar el medio de obtener un nivel constante en la cubeta.

En los instrumentos que no deben ser trasportados, ni señalar mas que las variaciones poco considerables de la presion atmosférica en el punto donde están colocados, se adopta una cubeta muy ancha (*fig. 169*), en la cual las variaciones de nivel son casi enteramente inapreciables; pero en los instrumentos que deben servir para verificar operaciones en diferentes puntos, y en los cuales es preciso evitar los mas leves errores, no es admisible la cubeta ancha. Para conservar un nivel constante en estos instrumentos, es preciso disponer la cubeta de modo que se pueda aumentar ó disminuir su capacidad arbitrariamente. Para esto se la ha-

ce terminar por su parte inferior en un pedazo de piel de carnero, que se pueda hacer entrar mas ó menos en lo interior de la cubeta por medio de un tornillo de presion, como se ve en la *fig.* 170.

La parte superior de la cubeta tambien está cerrada con un pedazo de piel que sea bastante porosa para dejar paso al aire; pero sin dejársele al mercurio. De esta construccion resulta que, por medio de la rosca de presion se puede hacer subir el mercurio siempre hasta el remate A del tubo, y desde luego queda el instrumento cerrado y facil de trasportar; pues solo se necesita fijarle de modo que quede inmovil en el estuche doude se ponga.

El barómetro destinado á la medicion de alturas debe ir acompañado de todo lo necesario para suspenderle verticalmente: debe tambien tener un termómetro puesto en contacto inmediato con él, y otro termómetro libre; y en fin, la escala que sirve para medir la columna de mercurio debe señalar partes menores de décimas de milimetro, ó de línea por medio de un nuñez. El barómetro de Fortin presenta todas estas condiciones; pero el de Gay-Lussac, y otros muchos de sifon, son mas fáciles de trasportar, mucho mas baratos, y bastante exactos para las operaciones comunes á que se destina esta clase de instrumentos.

Principios necesarios para la medicion de alturas por el barómetro.

430. *Si la atmósfera tuviese por todas partes la misma densidad, es decir, si el aire fuese un fluido casi incompresible como el agua, nada seria mas facil que medir una altura cualquiera por*

medio del barómetro. En efecto, sabiendo que el mercurio es próximamente 10000 veces mas pesado que el aire en el grado de densidad que tiene en la superficie de la tierra (*), es claro que si el barómetro señalaba en un llano 0,76 metros (32,85 pulgadas), la altura de la columna de aire de la misma base que se extenderia hasta los limites superiores de la atmósfera seria 10000 veces mas alta, es decir, 7600 metros (9092 varas). Si despues de trasportarse el instrumento á la cima de una montaña, se viesse que el barómetro solo señalaba 0,56 metros, se concluiria que la altura atmosférica sobre este punto, era solo de 5600 metros (6699 varas), y por consiguiente la altura de la montaña sobre el nivel de la primera observacion era la diferencia entre 7600 y 5600, es decir 2000 metros ó 2393 varas.

Pero hemos visto que el aire es un fluido compresible, y por consiguiente que la densidad de la atmósfera no puede ser en todas las alturas la misma que en la superficie de la tierra. Va disminuyendo gradualmente hasta que llega á ser de todo punto imperceptible. Resulta pues, que la altura de la columna de aire que equilibra á la de mercurio no puede calcularse por la relacion de 1:10463 que solo es exacta para el aire en el grado de densidad que tiene el que nos rodea habitualmente. Por esta razon, es importante conocer la ley que rige en las variaciones de densidad que se pueden

(*) La relacion entre la pesantez especifica del aire, y la del mercurio á la temperatura 0° y bajo la presion de 0,763 metros (32,856 pulgadas), es de 1:10463, segun Biot y Arago.

verificar en la atmósfera, lo cual se logra por medio del experimento siguiente debido a Mariotte.

431. *Aparato y experimento de Mariotte para determinar la ley de compresibilidad del aire.* — La fig. 171 representa un tubo encorvado de brazos desiguales, colocado sobre una tabla graduada. En este tubo hay una cantidad de mercurio suficiente para establecer la línea de nivel BD; AB es una escala dividida en milímetros ó líneas, á contar desde el mismo nivel.

Cuando el nivel está establecido, el aire encerrado en CD equilibra á la presión atmosférica, es decir, á una columna de mercurio de 763 milímetros, ó 32,856 pulgadas. Si se echa mercurio en la rama BA hasta 763 milímetros sobre la nueva línea de nivel que se establece en la pequeña columna en *a*; es claro que el aire encerrado en esta columna sufrirá una presión doble del peso de 763 milímetros de mercurio. En este caso se verá que su volumen ha disminuido una mitad.

Si se añade todavía mas mercurio en el brazo AB, hasta la altura de 2,289 metros ó 2,738 varas (que es tres veces la primitiva 0,763) sobre la línea de nivel que se establecerá entonces en *b*; el aire encerrado en la pequeña columna sufrirá una presión igual á cuatro veces el peso de 763 milímetros de mercurio. En este caso se notará que su volumen ha disminuido $\frac{3}{4}$ partes.

Se ve pues que las presiones son en estos experimentos como 1, 2, 4, &c., y los volúmenes correspondientes del aire comprimido son 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, &c. de lo cual se infiere forzosamente, que el aire se comprime según los pesos con que se le carga.

432. *Ley de las variaciones de densidad en la*

atmósfera. — Supongamos ahora que la atmósfera está dividida en capas horizontales de espesores iguales, bastante delgadas para que la densidad pueda considerarse como constante en toda la extensión vertical de cada una de ellas, y solamente variable de una á otra, ó lo que es lo mismo en una infinidad de capas paralelas. Partiendo de la ley de Mariotte, demuestra el cálculo que las densidades de las capas sucesivas desde la superficie de la tierra decrecen en progresion geométrica.

En efecto, sea P el peso de la atmósfera en la superficie de la tierra; sea P' su peso en la superficie superior de la primera capa, P'' el mismo en la superficie superior de la segunda, &c., y se tendrá para los pesos de las diferentes capas

$$P - P', P' - P'', P'' - P''', \text{ \&c.}$$

Sean $d, d', d'', \text{ \&c.}$ las densidades de estas diferentes capas, y se tendrá para las dos primeras $d:d'::P-P':P'-P''$ porque siendo los volúmenes iguales, las densidades están en razón de los pesos. Pero segun la ley de Mariotte el aire se comprime en razón de los pesos de que está cargado; luego $d:d'::P':P'$ por consiguiente $P-P':P-P''::P':P''$ de cuya proporcion resulta $P:P'::P':P''$

Comparando la 2.^a capa con la 3.^a se llegará á la proporcion $P':P''::P'':P'''$

La comparacion entre la 3.^a y 4.^a dará

$$P'':P'''::P''':P''''$$

de todas estas proporciones sale

$$\frac{P}{P'} = \frac{P'}{P''} = \frac{P''}{P'''} = \frac{P'''}{P''''}, \text{ \&c.}$$

es decir, que los pesos comprimentes forman una progresion geométrica; pero como las densidades

son proporcionales á ellos, resulta que siguen la misma ley.

433. *Método que se deduce de estas leyes para la medicion de alturas.* — Si las densidades de las diferentes capas de la atmósfera forman una progresion geométrica, las alturas de la atmósfera sobre cada una de ellas forma una progresion aritmética; pero como los logaritmos son números en progresion aritmética que corresponden á otros que están en progresion geométrica, es claro que la altura atmosférica de cada capa puede ser mirada como el logaritmo de su densidad. Por otra parte, como la densidad de una capa depende de la presion, está indicada por la altura del mercurio en el barómetro; luego la altura de la atmósfera en el punto de la observacion, puede mirarse como el logaritmo de la columna barométrica.

Esto supuesto, despues de calcular una tabla para este sistema de logaritmos, se podrá facilmente saber la altura de una montaña por medio de dos estaciones ú operaciones, una hecha en el llano donde se medirá exactamente la altura de la columna barométrica, y la otra en la cima de la montaña en donde se hará lo mismo. Se buscarán en seguida en la tabla los logaritmos correspondientes á los números hallados, y su diferencia ($\log. A - \log. a$) expresará la altura de la montaña.

Para evitar el trabajo de construir nuevas tablas de logaritmos, bastaria hallar un número constante, tal que su producto por los logaritmos de las tablas comunes diese medidas conformes á las que podian hallarse por las operaciones trigonométricas. Deluc, á quien deben las ciencias físicas muchas observaciones importantes, comparó escrupulosa-

mente gran número de medidas trigonométricas con las de los mismos parages indicadas por el barómetro, y halló que para hacerlas sensiblemente iguales, empleando los logaritmos de las tablas comunes, bastaba multiplicar estos por el número 10000, resultado de una sencillez felicísima, puesto que esta multiplicacion se efectúa con solo hacer retroceder cuatro guarismos la coma que sigue á la característica del logaritmo.

Segun esto siendo x la altura buscada, A la de la columna de mercurio en la estacion mas baja, y a la de la misma en la estacion mas alta, se tendrá $x = 10000 (\log. A - \log. a)$.

434. *Correcciones necesarias en esta fórmula.* — La aplicacion que acabamos de hacer de la ley de Mariotte supone que la temperatura sea la misma en todas las alturas; pero la experiencia prueba que la temperatura disminuye á medida que se eleva la altura de la atmósfera, por consiguiente la fórmula que acabamos de dar no es enteramente exacta. En efecto, la baja de la temperatura disminuye la elasticidad de las capas sucesivas, y por consiguiente la altura de la columna de mercurio. Además, el mismo mercurio se contrae por la disminucion de la temperatura, de suerte que por esta nueva causa la columna barométrica se disminuye en otra nueva cantidad aunque muy corta. Es pues necesario introducir en la fórmula varias correcciones para reducir las alturas calculadas á sus verdaderas dimensiones en el caso de una temperatura uniforme.

70 *Correcciones de Deluc.* — Descubiertos por Deluc estos dos motivos de error trató de corregirlos. Las correcciones que obtuvo partian de cierta tempera-

tura constante, que llamó *temperatura normal*, á la cual halló que no era necesario hacer correccion alguna, valiéndose de operaciones particulares. Pero cualesquiera que sean los trabajos que este sabio hiciese para corregir estos defectos, su fórmula da resultados poco satisfactorios aun con las modificaciones que despues hizo en ella Trembley.

435. *Correcciones de Laplace.* — Tratando Laplace del asunto presente (*Mecánica celeste*, tom. IV), hizo partir todas las correcciones del término del hielo derretido, y procurando corregir todas las causas de error elevó la fórmula al mayor grado de exactitud.

Coefficiente constante. En esta fórmula el coeficiente constante, por el cual es preciso multiplicar la diferencia entre los logaritmos tabulares hallados, depende de la relacion de la pesantez específica del aire seco con la del mercurio; pero no siendo en la época en que apareció la fórmula suficientemente exactos los experimentos que establecian esta relacion, fue determinado el coeficiente por Ramond, valiéndose de la comparacion de las observaciones barométricas con las nivelaciones mas exactas, ejecutada con la mayor escrupulosidad. Este sabio observador creyó en virtud de esta escrupulosa comparacion, que el coeficiente constante debia ser el número 18336. Despues Biot y Arago tuvieron ocasion de establecer rigorosamente la relacion del peso específico del aire seco con el mercurio á la temperatura de 0°, y bajo la pression de 0,763 metros (32,856 pulgadas), y han concluido *à priori*, que el coeficiente de la fórmula debia ser el número 18334, concordancia admirable que prueba de un modo concluyen-

te la exactitud del cálculo hecho por Ramond.

Las variaciones de temperatura han sido corregidas por Laplace siguiendo los experimentos de Gay-Lussac. Estos experimentos prueban que por cada grado de calor indicado por el termómetro, se dilata el aire 0,00375, de suerte que si la densidad del fluido en el *cero* del termómetro está representada por la unidad, su densidad en la temperatura t será $d = (1 + 0,00375 t)$. Laplace ha modificado aun mas este resultado, de modo que quede incluida en él la dilatacion por la humedad, y esta correccion aumenta el coeficiente de t hasta llegar á ser 0,004.

Pero estas correcciones debian estar hechas sobre cada una de las capas de la atmósfera; y para que tuviesen toda la correspondiente exactitud seria preciso conocer la ley del decrecimiento de temperatura, á medida que se elevan estas capas sobre la tierra. Esta ley está sujeta á muchas irregularidades; pero sin embargo influye muy poco sobre los resultados, y por lo mismo se la mira como una progresion aritmética sumamente lenta; desde luego se considera la operacion como si se ejecutase en una temperatura media entre las temperaturas observadas en las dos estaciones. Sea pues T la temperatura de la estacion inferior, y t la de la estacion superior; el medio aritmético será $\frac{T+t}{2}$ de suerte que la correccion introducida en la fórmula respecto á la temperatura será el factor $(1 + 0,004 \frac{T+t}{2})$, ó reduciéndole á una expresion mas acomodada para el cálculo $(1 + 2 \frac{T+t}{1000})$.

La disminucion de la columna barométrica causada por la contraccion del mercurio se corrige por otros experimentos de Gay-Lussac, que prueban que la dilatacion del mercurio se verifica uniformemente desde la temperatura 0° hasta la de 100° , y tambien por otros experimentos de Laplace y Lavoisier, que prueban que esta dilatacion es de $\frac{1}{5412}$ para cada grado del termómetro.

Sean pues T' la temperatura del mercurio en la estacion inferior que ordinariamente es la de mayor calor, y t' la de la estacion superior: sea a la altura de la columna del mercurio que da la observacion en esta última estacion: esta altura deberá aumentarse tantos $\frac{1}{5412}$ cuantos grados de diferencia haya entre T' y t' : de consiguiente la altura del mercurio en la estacion superior reducida á lo que seria en el caso de la temperatura uniforme será $a + a \frac{T' - t'}{5412} = a \left(1 + \frac{T' - t'}{5412}\right)$.

Tambien hay que corregir la fórmula por las variaciones de la pesantez de los cuerpos en diferentes grados de latitud.—Esta correccion introduce el factor $(1 + 0,002837 \cos. 2. \ast)$; siendo \ast la latitud del lugar de la observacion.

Ultimamente se corrige por la disminucion de la pesantez en línea vertical, lo cual introduce los factores $\left(1 + \frac{2a'}{R}\right)$; $2 \log. \left(1 + \frac{x}{R}\right)$; $\left(1 + \frac{x}{R}\right)$ representando a' la altura de la estacion inferior sobre el nivel del mar, R el radio del globo terrestre, que es 6366198 metros (7615945 varas españolas), y X la diferencia de nivel ó altura que se busca.

La fórmula exacta de la medición de alturas por el barómetro, con todas las correcciones indicadas es

$$X = 18334 \left(1 + 0,002837 \cos. 2 \psi \right) \left[\left(1 + \frac{2 a'}{R} \right) \left(1 + 2 \frac{T+t}{1000} \right) \left(1 + \frac{X}{R} \right) \left(\log. A - \log. a \left(1 + \frac{T'-t'}{5412} \right) + 2 \log. \left(1 + \frac{X}{R} \right) \right) \right].$$

Esta fórmula es rigorosa; sin embargo, como contiene á X en ambos miembros, parece no estar completamente resuelta la cuestión: pero si se tiene presente que X en el segundo miembro está dividido por R, que es el radio del globo terrestre que está representado por un guarismo de siete cifras, ó lo que es lo mismo, si se compara la pequeñez de las alturas que se miden con la enorme dimensión del radio terrestre, se verá que puede considerarse á $\frac{X}{R} = 0$ lo que produce X, que sustituido después en el segundo miembro de la ecuación, da un valor de la altura buscada X tal, que no difiere del verdadero sino en una cantidad enteramente inapreciable.

456. *Reduccion de la fórmula á tablas.*—La fórmula rigorosa que acabamos de indicar puede reducirse á $X = 18393 \left(1 + 0,002837 \cos. 2 \psi \right)$

$$\left(1 + 2 \cdot \frac{T+t}{1000} \right) \left[\log. A - \log. a \left(1 + \frac{T'-t'}{5412} \right) \right],$$

comprendiendo la corrección relativa al decrecimiento de la pesantez en línea vertical, en el coeficiente constante. Esta fórmula conserva todavía toda la exactitud que puede esperarse conseguir por medio de las observaciones barométricas. Esta es la que se ha reducido á tablas sumamente cómodas

que dan la diferencia de nivel por medio de simples operaciones de adición y sustracción.

437. *Para usar de esta fórmula se trasportan dos observadores uno al punto en que ha de hacerse la estacion superior y otro al de la inferior, provistos ambos de sus competentes instrumentos. Observan la altura de la columna barométrica, la temperatura del mercurio por medio del termómetro puesto en contacto inmediato con el barómetro, y la temperatura del aire ambiente por el termómetro libre. Los instrumentos que ambos observadores emplean en la operacion deben compararse con sumo cuidado antes y despues de hechas las observaciones para ver si concuerdan perfectamente. Siempre que sea posible se harán las observaciones en un tiempo sereno y á la hora en que la atmósfera esté mas tranquila, á fin de evitar todo lo posible el mas mínimo motivo de error. Se deben tomar tantas mayores precauciones, quanto mas distantes estén respectivamente los puntos en que se hacen las correspondientes observaciones.*

Se acostumbra generalmente despreciar la correccion relativa á la latitud porque el factor que depende de ella es siempre sumamente pequeño; sin embargo, quando hay algunos grados de diferencia entre los lugares de la observacion, es bueno tener presente la correccion á que dan origen.

En quanto á los ejemplos, remitimos á nuestros lectores á las tablas barométricas, advirtiendole que las mas sencillas y exactas son las que ha publicado Mr. Oltmans en el anuario de la oficina de longitudes.

Solamente determinaremos aquí la altura á que seria preciso elevarse para hallar la densidad del

aire tan pequeña como lo es en nuestras máquinas neumáticas, es decir, á la presión de un milímetro ó media línea española.

Para esto se hará $A = 0,76$, y $a = 0,001$. Y como se trata nada mas que de una aproximación, se dejará la corrección de temperatura, lo que dará $T + t = 0$. De consiguiente se tendrá $X = 18393$ ($\log. 0,760. - \log. 0,001$) ó $X = 52986$ metros (63280 varas ó cerca de 10 leguas comunes). Este valor es sumamente grande, pues no hay duda que á esta altura $T + t$ será negativo á causa del frío excesivo que reina en ella.

SECCION TERCERA.

Movimiento de los fluidos aeriformes.

CAPÍTULO XV.

Causas del movimiento de los fluidos aeriformes.

438. Para que una masa fluida aeriforme este en equilibrio es menester que las densidades de las diferentes capas horizontales en que puede considerarse dividida, para raciocinar mas facilmente, decrezcan en progresion aritmética partiendo de la capa mas baja (432). Si por una causa cualquiera se separa la densidad de una de ellas de esta ley, ya sea por mas ó por menos, se rompe el equilibrio que no puede restablecerse sino despues de varios movimientos.

439. *Movimientos producidos por la variacion de temperatura.* — Entre las causas que pueden hacer variar la densidad de las capas aeriformes, la mas importante y aun la única que puede producir grandes efectos, á lo menos respecto del aire, es la mudanza de temperatura, como veremos en el libro V. El aumento de calor aumenta la elasticidad de los fluidos aeriformes, de suerte que si una porcion cualquiera de una masa fluida se calienta antes que las otras, se dilata haciéndose mas ligera y se dirige ácia las regiones mas elevadas; entonces es réemplazada por las partes mas frias

que concurren de todas partes. Si la acción del calor es continua en el mismo punto, se establece una corriente tambien continua afluyente por debajo de la parte calentada, y refluyente por encima.

Si al contrario el calor disminuye, la porción sobre que se verifica este efecto se contrae y se hace específicamente mas pesada, dirigiéndose á las partes mas bajas; entonces las partes adyacentes se precipitan unas despues de otras en el vacío que dejan sucesivamente.

Las corrientes de aire que se establecen en nuestros hornillos, la mayor parte de los vientos que se notan en la superficie de la tierra, y otra multitud de efectos análogos son producidos por el aumento ó disminucion de calor en alguna porción de nuestra atmósfera. Los movimientos que resultan de ellos pueden combinarse en seguida con movimientos producidos por otras causas, y formar corrientes constantes ó momentáneas. Así es, por ejemplo, como se producen los *vientos alisios* que soplan regularmente bajo el ecuador hasta el 30° paralelo. Su direccion es contraria al movimiento de la tierra, es decir, que soplan de oriente á occidente ó si se quiere del este al oeste: de aquí procede tambien el nombre de *vientos del este* que se les ha dado.

Para formar idea de este viento constante, es preciso observar que el calor dilata habitualmente la masa de aire situada en el ecuador; mientras que el frio condensa la que se halla en los polos. Resulta de aquí que del norte y sur afluye ácia el ecuador de la superficie de la tierra una corriente de aire frio para reemplazar el aire ecuatorial que se eleva en virtud de su dilatacion, y que forma en

las partes superiores una corriente dirigida al contrario, es decir, del ecuador á los polos.

Esto supuesto, observemos que la atmósfera es arrastrada por la tierra en su movimiento de rotacion, y que la velocidad de rotacion que adquieren las moléculas de aire es tanto menor quanto mas cerca de los polos estan situadas, porque se hallan en los extremos de un radio menor. Pero cuando una molécula es trasportada de un paralelo polar al ecuador, no tiene tiempo suficiente para adquirir la velocidad del nuevo paralelo en donde afluye y se halla necesariamente retrasada; de suerte que o pone á los otros cuerpos que tienen ya toda la velocidad de los paralelos, una resistencia que parece venir del oriente. Esto es lo que hace parecer en el ecuador que la atmósfera tiene un movimiento del este al oeste.

En virtud de la fuerza que determina en la atmósfera la corriente del este, y de la que determina la corriente del norte en el ecuador, resulta en el hemisferio boreal una corriente de nordeste. Del mismo modo la corriente del sur combinada con la del este, determina en el hemisferio austral una corriente constante de sudeste.

440. *Expansion de los gases en el vacio ó en otro gas menos condensado.*— Si un vaso lleno de un fluido aeriforme de cierta densidad comunica por medio de un orificio con un espacio vacío indefinido, es evidente que se vacia enteramente. Por medio del cálculo se demuestra que la velocidad del fluido es uniforme durante la salida.

Si el vaso se vacia en un espacio lleno del mismo fluido, pero menos condensado, la velocidad de la salida no será ya uniforme, sino que sucesi-

vamente irá disminuyendo hasta que el fluido del vaso haya llegado al grado de densidad del exterior con lo cual se restablece el equilibrio.

441. *Movimientos producidos por acciones puramente mecánicas.* — Cuando una máquina capaz de tocar á la vez un volumen muy considerable de aire se halla en movimiento en medio de una masa de este fluido que esté en reposo, la determina necesariamente á moverse. Asi es que, agitando un pañuelo en medio de un aposento, producimos en el aire que contiene un movimiento que se hace sentir como un viento ligero. Cuando alguno se pasea rápidamente por una sala, determina una perturbacion en el aire ambiente que produce la impresion de un viento fresco en todas las demas personas que estan en la misma pieza. Esta circunstancia es mas notable en el invierno, pues en esta ocasion desagrada á los mas la impresion que reciben, y acostumbran decir al causante *estése vsd. quieto; no haga vsd. aire.*

En general todos los cuerpos que se mueven en nuestra atmósfera determinan en esta masa de aire ciertos movimientos. Asi es que un rio que corre con cierta velocidad, arrastra en su movimiento la capa de aire que está en contacto con el agua. Todo el mundo puede observar sobre la corriente del agua cierto vientecillo que sigue la direccion de esta misma corriente.

En virtud de las observaciones precedentes se han construido diversas especies de ventiladores, que se usan ya para procurar á una masa de aire condensado en un sitio cerrado cierto movimiento que produzca frescura, ó ya para renovar enteramente el aire en el mismo sitio. Los ventiladores

son sumamente útiles en los hospitales, cárceles y galerías de minas. El abanico es un ventilador demasiado conocido para que nos detengamos á hablar de él. Ciertos ventiladores están compuestos de una rueda de paletas que gira sobre un eje horizontal ó vertical. En varios casos se han empleado corrientes de agua que arrastran consigo porciones de aire llevándolas hasta el punto donde hace falta renovar este fluido. De este modo se renueva el aire en muchas galerías de minas. En varios puntos, el ventilador es un verdadero fuelle, y en otros se determinan corrientes de aire dilatando el fluido por el calor en un punto mientras que el aire fresco entra por otro, lo cual se practica tambien algunas veces en las minas. (*Véase el libro V, cap. IV.*)

CAPÍTULO XI.

Choque y resistencia de los fluidos aeriformes.

442. Todo lo que hemos dicho del choque y resistencia de los líquidos puede aplicarse á los fluidos aeriformes, con algunas cortas diferencias procedentes de la compresibilidad y elasticidad de que están dotados. En teoria puede decirse que el efecto del choque del aire es proporcional á la densidad de este fluido, al cuadrado de su velocidad, y á la superficie del cuerpo chocado. La resistencia que el aire opone al movimiento de los cuerpos que le atraviesan es proporcional á su densidad, á la superficie del cuerpo puesto en movimiento y al cuadrado de su velocidad.

443. *Choque del aire en movimiento.* — Aunque el aire sea un fluido muy raro, sentimos frecuentemente de un modo muy enérgico los efectos de su percusión, cuando tiene un movimiento algo rápido. Todo el mundo ha oído hablar de los desastrosos efectos que produce el viento en muchas circunstancias, y aun algunas veces se nos presentan ejemplos bien patentes. Vemos tronchados ó arrancados de raíz los mas recios árboles, derribadas las paredes y destruidas las casas; y sin embargo tenemos la fortuna de no conocer en nuestros países los vientos impetuosos que reinan en algunas islas del mar del sur, y producen lo que se llama *huracanes*, que arruinan, rompen y destruyen todo cuanto hallan en la direccion que siguen.

La impetuosidad de los vientos es la que produce en la superficie de los mares la agitacion violenta de las aguas que derrama á menudo el espanto y desaliento en los mas intrépidos navegantes, y de la cual han sido víctimas innumerables familias.

Por fortuna los vientos no estan siempre animados de esta velocidad tan destructora, y entonces vemos su influencia benéfica sobre la salubridad de las comarcas en que reinan periódicamente, y usamos de su moderado impulso para diferentes objetos. Todos saben que esta fuerza impulsiva del aire es la que nos conduce al traves de la dilatada extension de los mares, y tambien la que comunica el movimiento á varias máquinas. Entre estas merecen particular atencion los *molinos de viento* que se usan para moler granos y se adaptan á otros muchos usos, como dar movimiento á bombas, ruedas, &c. La teoria de la construccion de

estas máquinas es muy complicada. Se demuestra por consideraciones matemáticas, y se ha hallado prácticamente á fuerza de tanteos, que para producir un molino de viento el máximo de efecto debe tener el plano de las alas inclinado bajo cierto ángulo al horizonte: este ángulo cerca del eje de rotacion debe ser de 55° , y debe aumentar desde este punto hasta los extremos de las alas donde debe ser de cerca de 80° : asi es que en los molinos bien contruidos presentan las alas una superficie de doble curvatura. El arbol que sirve de eje de rotacion, y comunica el movimiento al rodaje, tambien debe estar inclinado al horizonte bajo cierto ángulo. En algunos parages se dispone este arbol verticalmente, de suerte que las alas se hallan horizontales, disposicion que parece tener algunas ventajas sobre la otra, pero está muy poco en uso. La construccion de las alas de un molino de viento es tambien bastante variable. Unas veces forman una especie de enrejado ó zarzo cubierto con la tela; otras es una verdadera celosia, cuyas diferentes tablillas pueden abrirse mas ó menos para presentar mayor ó menor superficie al viento: otras tienen la forma de una vela de navío, &c.

Los molinos de viento están contruidos comunmente sobre un eje para poder girar á todos lados, y presentar de este modo siempre las alas al viento cualquiera que sea la direccion de este. En los molinos pequeños que se usan para elevar el agua, se dispone de tal modo el aparato que el aire mismo le hace girar sobre su eje, y ponerse en la posicion conveniente.

444. *Resistencia que opond el aire á los cuerpos que se mueven en él.*—Como en los cuerpos

líquidos la densidad es uniforme en todos sus puntos, la resistencia que oponen al movimiento de los cuerpos es constante; pero no es así en los fluidos aeriformes, pues la densidad varia desde la parte mas baja, en donde es el *maximo*, hasta la parte mas elevada, donde es nula. Resulta de aqui que un proyectil lanzado al aire, ó un cuerpo grave que cae de una altura cualquiera, corren sucesivamente capas de diversas densidades, y por consiguiente la resistencia que experimentan en los varios puntos de su curso es muy variable. Sin embargo, como la altura á que puede lanzarse un proyectil, ó puede elevarse un cuerpo para que caiga, no es jamas muy considerable comparada con la altura total de la atmósfera, resulta que se puede sin recelo de error sensible suponer constante la densidad del fluido en toda la extension del espacio corrido.

Hemos visto (88) que un cuerpo solicitado por la gravedad, debe moverse de alto á bajo con movimiento uniforme acelerado; pero esto no puede verificarse sino en el caso en que el cuerpo se mueva en el vacío; pues si se mueve en un medio resistente, la aceleracion debe decrecer á cada momento. Si el medio tiene la misma densidad en todos sus puntos, su resistencia hará perder al movil una parte de la velocidad que le comunica la accion constante de la gravedad; pero como la resistencia crece entonces como el cuadrado de la velocidad, llegará necesariamente un momento pasado el cual el movil perderá en cada instante precisamente tanta velocidad como le comunica la gravedad, y entonces su movimiento se convierte en uniforme. Si en el momento en que la veloci-

dad se hace uniforme, y el cuerpo se mueve únicamente en virtud de la velocidad adquirida, como sino tuviese peso alguno, creciese la resistencia del medio sucesivamente; la velocidad disminuiría, y concluiría por ser nula. Esto es lo que podría suceder en una masa de aire, cuya altura fuese sumamente considerable: la capa de aire en que se detuviese el movil tendría la misma densidad que este cuerpo.

No sucede esto así en nuestra atmósfera, porque su espesor es poco considerable; pero es fácil observar que los cuerpos cuyo volumen es muy grande respecto de su masa, al caer de una altura considerable, adquieren un movimiento uniforme, ó mas bien uniformemente retardado. Esto se ve de un modo patente en el descenso de los *paracaidas*, cuya idea es debida á Montgolfier, y ahora usan frecuentemente los aereonautas. Cuando un globo, de resultas de la pérdida de parte de su gas hidrógeno, llega á caer sobre la superficie de la tierra, su movimiento es muy lento y conocidamente retardado.

La resistencia del aire es la que disminuye la velocidad de la nieve, lluvia, granizo, &c., y hace que estos cuerpos nos sacudan con mucho menor fuerza que lo harian si cayesen en el vacío, ó en un medio mas ralo. Se emplea á menudo esta misma resistencia para moderar y arreglar el movimiento de las máquinas, de lo cual se tiene un ejemplo en el volante que tienen los asadores, que presenta al aire cierta superficie, y experimentando por este medio cierta resistencia, retarda y regulariza el movimiento del asador. Si este se mueve demasiado vivo, basta para detenerle aumen-

tar un poco la superficie del volante, á cuyo efecto ponen los cocineros una pluma en el mismo volante. Esta especie de moderador universal se emplea en una multitud de máquinas, dándolas diversas formas para que presenten mayor ó menor superficie segun se necesite.

CAPÍTULO XII.

Movimientos vibratorios de los fluidos aeriformes.

ARTÍCULO PRIMERO.

Vibraciones del aire en los instrumentos de viento.

445. *Produccion del sonido.*—El aire y todos los fluidos aeriformes son susceptibles de ponerse en vibracion, y producir sonidos mas ó menos agudos. El aire vibra por varias causas, como son un latigazo, ó cualquiera otra especie de choque, una explosion ó el paso por la inmediacion de un cuerpo, ó por una hendidura con velocidad, y en todos casos se obtiene ruido, silbido ó sonido. Si el aire al pasar por una hendidura estrecha obliga á un cuerpo delgado á vibrar con él, el sonido que se obtiene se hace mas duro ó intenso; esto es lo que sucede cuando se tiene un naipe entre los dedos, y se sopla de modo que el aire pase por ambos lados, pues el sonido es entonces bastante perceptible. El aire puesto en vibracion es quien produce el sonido en los instrumentos de viento, y en los órganos vocales del hombre y de los animales.

Cuando se sopla sencillamente en un tubo no

se produce sonido, porque entonces solo se da al aire un movimiento progresivo, y no vibratorio. Para que se produzcan sonidos es menester, valiéndose de cualquier arbitrio, obligar al aire en un punto cualquiera del tubo á hacer vibraciones rápidas, análogas á las que se determinan en los cuerpos sólidos, y á que estas se propaguen en seguida por toda la longitud de la columna.

Para que el aire pueda ponerse en vibracion, es preciso que pase por entre láminas delgadas rígidas y susceptibles de vibrar, como son las lenguetas del clarinete y del bajon ó fagot, ó que se rompa contra un batiente en declive como en el silbato, ó que los labios cerrándose mas ó menos le pongan en movimiento, como se hace en la flauta, trompa y trompeta.

Las vibraciones del aire en un tubo son análogas á las vibraciones tangenciales de los cuerpos rígidos. El fluido experimenta en ellas los movimientos alternativos de condensacion y dilatacion, cuyos detalles se pueden seguir rigurosamente por medio de la analisis matemática. La columna de aire puede vibrar entera ó dividida por uno ó muchos nodos de vibracion, resultando de ellos diferentes sonidos, como en las vibraciones tangenciales de los cuerpos rígidos.

446. *Leyes de los sonidos en los tubos.* — Los sonidos producidos por un tubo no dependen mas que de la longitud de la columna de aire, de su grado de elasticidad, y del modo de soplar, pues la naturaleza del tubo, el espesor de sus paredes, su diámetro y el modo de que está sostenido no influyen en nada sobre ellos. La diferencia de tono, segun el tubo es de madera, metal, cobre, &c. pare-

ce depender del rozamiento del aire contra las paredes del tubo, ó quizá de una corta *resonancia* de las mismas paredes.

El sonido que se obtiene de un tubo está en razon inversa de su longitud, siendo iguales todas las demas circunstancias. Asi es que, variando un tubo de longitud se pueden obtener sonidos de diferentes géneros. Hay instrumentos cuya columna vibrante varía alargando ó acortando el tubo arbitrariamente, y otros en los que se acorta ó alarga por medio de agujeros laterales tapando ó destapando estos mismos.

En un tubo abierto por un extremo y cerrado por el otro, están sujetos los diversos géneros de vibraciones regulares que puede tomar la columna de aire á dos condiciones: primera, que el extremo cerrado sea un nodo de vibracion: segunda, que el extremo abierto sea el punto medio de una undulacion sonora, es decir, un punto en que el fluido no experimente ninguna variacion de densidad. Estas condiciones pueden llenarse de varios modos, ya sea sin nodo de vibracion, ya con uno ó muchos nodos. El primer caso se verifica cuando la longitud del tubo es precisamente la mitad de la extension de una undulacion sonora. El segundo caso, que es el de un solo nodo, se verifica siempre que el tubo tiene por longitud la extension de una undulacion entera, mas su mitad, ó, lo que es lo mismo, cuando las vibraciones son tres veces mas rápidas que en el primer caso. Dos nodos se manifiestan cuando las vibraciones son cinco veces mas rápidas, y asi sucesivamente. La experiencia demuestra esto mismo, pues los sonidos que se obtienen eran entre sí como los núme-

ros 1, 3, 5, 7, &c. precisamente lo mismo que en en las varillas fijas por uno de sus extremos (280).

En un tubo abierto por ambos extremos el sonido que se obtiene es al que produce un tubo de igual longitud cerrado por un extremo como 2 : 1, lo que indica que hay un nodo en medio del tubo. Los sonidos sucesivos que se pueden obtener del mismo tubo forman la serie, 1, 2, 3, 4, 5, &c. lo que proviene de la existencia de 1, 2, 3, 4, &c. nodos de vibracion. Se demuestra la existencia de tales nodos haciendo agujeros en los puntos donde deben estar, es decir, de tal modo que la distancia entre dos agujeros, sea doble de la que hay de un agujero á uno de los extremos libres. Se nota que dejando estos agujeros abiertos no se alteran en nada los sonidos.

Todos estos resultados de la experiencia están completamente indicados de antemano por las consideraciones matemáticas.

Un tubo cuyo extremo esté en parte tapado mientras el otro esté abierto, debe colocarse en cuanto á los efectos entre los tubos cerrados, y los abiertos en ambos extremos, de suerte que, cerrando mas ó menos la abertura, se podrán obtener todos los sonidos entre el mas bajo de un tubo cerrado, y el mas alto de un tubo abierto. Por esta razon los profesores de trompa introducen mas ó menos el puño en la boca de sus instrumentos, segun los sonidos que necesitan obtener.

Los tubos pueden ser rectos ó curvos, sin que esto mude en nada la serie de los sonidos que puede producir, por la razon de que el aire es igualmente elástico en todos sentidos.

En un tubo cónico cerrado por la punta, ó

truncado puede tambien vibrar la masa del aire entera, ó dividida por nodos. La progresion de los sonidos que resultan es la misma que en uno cilindrico abierto por ambos extremos, y cuya longitud fuese igual á la del cono entero ó truncado.

Variacion de los sonidos por la temperatura.—

Los instrumentos de viento dan diferentes sonidos segun los diversos grados de calor que aumentan ó disminuyen la elasticidad del aire. Por esto no puede permanecer acorde mucho tiempo un instrumento de cuerda con otro de viento, pues las mudanzas de temperatura influyen en ambos de un modo inverso.

447. *Escala música de la trompeta.*— Soplando en un tubo abierto por ambos extremos, y aumentando el impulso sucesivamente, los sonidos que se obtienen siguen la serie de los números naturales 1, 2, 3, 4, 5, &c. cuando no se tienen en cuenta los sonidos de los tubos cerrados por un extremo. Si se representa el sonido principal

Do por $\frac{8}{8}$ los sonidos comprendidos en la octava se-

rán $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{8}$, $\frac{11}{8}$, $\frac{12}{8}$, $\frac{13}{8}$, $\frac{14}{8}$, $\frac{15}{8}$, $\frac{16}{8}$ los cuales forman la escala música de la trompeta que, como se ve, no es la misma que la diatónica, y tiene un sonido mas.

Con el instrumento llamado *trompa marina*, que no tiene mas que una sola cuerda, se producen, por divisiones sucesivas de esta cuerda en partes alicuotas, sonidos semejantes á los de los instrumentos de viento que no tienen mas que dos aberturas.

Algunos sabios han querido sustituir esta esca-

la á la diatónica, como mas natural, considerando la sensacion desagradable que experimenta el oido por la entonacion de los sonidos *fa* y *la*, como una preocupacion adquirida ya por el organo, y motivada por la mala costumbre que le habia ya echado á perder.

ARTÍCULO II.

Propagacion del sonido.

448. *El aire es el vehiculo ordinario del sonido.* — Un cuerpo vibrante comunica sus vibraciones al aire que le rodea, como hemos visto las comunica á los cuerpos sólidos y líquidos con quienes está en contacto. Por el intermedio del aire es por donde nos llegan ordinariamente los sonidos, como se prueba por medio de la experiencia, pues interponiendo un espacio vacío entre el cuerpo sonoro y el oido, no se oye nada. Para hacer este experimento se usa una campanilla de reloj, sobre la cual golpea un martillito de resorte. Colocando este aparato sobre una almodilla de lana, en el recipiente de la máquina neumática, y haciendo el vacío, se nota que á cada embolada se debilita la intensidad del sonido hasta que se llega al vacío lo mas perfecto posible, en cuyo caso no se oye nada, aunque el martillo golpea sin cesar á la campanilla. Si al contrario se aumenta la elasticidad del aire bajo el recipiente, ya sea por el calor, ó ya por la condensacion, se ve que la intensidad del sonido se hace mayor. Todo el mundo ha podido observar que un pistoletazo causa mas ruido en las partes bajas de la atmósfera que en la cima de una

montaña donde el aire es mucho menos denso.

449. *Undulaciones sonoras.* — Suponiendo que el cuerpo vibrante está sumerjido en un medio aeriforme indefinido como es nuestra atmósfera, el sonido que produce se propaga por todo su alrededor en una esfera cuyo radio es mas ó menos considerable. Si se supone que la masa fluida está dividida por tabiques, de modo que la undulacion sonora no pueda propagarse libremente, se forman en todos los puntos donde haya soluciones de continuidad nuevas undulaciones que se extenderán en el espacio situado detras, poco mas ó menos como hemos visto en las olas de agua, que se propagan en los estanques ó depósitos afluentes (388). De este modo es como se propagan en nuestros aposentos los sonidos producidos en un patio ó jardín, y tambien como se oyen al pie de un cerro los sonidos producidos en la parte opuesta.

450. *Disminucion de la intensidad del sonido segun la distancia en una masa indefinida de aire.* — Aunque el sonido puede propagarse en una masa indefinida de aire, y á una distancia sumamente considerable, su intensidad disminuye á medida que el observador se aleja del punto en que se produce. La teoría matemática indica, y la experiencia confirma de un modo visible, que, suponiendo todas las demas circunstancias iguales, la intensidad del sonido está en razon inversa del cuadrado de la distancia del observador al lugar en donde está el cuerpo sonoro.

La distancia á la cual es perceptible el sonido transmitido por el aire depende de la intensidad del sonido, de la direccion del viento y de las circunstancias locales. Todo el mundo sabe que cuan-

do el viento es favorable se oyen los cañonazos, el campaneo, &c. á distancias muy considerables, al paso que cuando el viento es contrario no se oye nada aun muy cerca del parage donde se produce el ruido ó sonido. Se citan ejemplos de haberse oido los cañonazos á 30 leguas del punto en que se disparaban.

451. *Disminucion del sonido en una masa de aire limitada lateralmente.*— Cuando la masa de aire por cuyo intermedio se propaga el sonido esta limitada lateralmente, como sucede en un tubo cilindrico, la teoria indica que el sonido debe propagarse indefinidamente con la misma intensidad. Sin embargo, parece que el rozamiento del aire en las paredes del tubo debe al fin hacer parar el movimiento, y por consiguiente disminuir la intensidad del sonido; pero este efecto es muy lento, pues Biot ha reconocido en los acueductos de Paris que la voz mas baja posible se sostenia á una distancia de 951 metros (1097 varas) de suerte que se podia seguir una conversacion. El sonido, al salir del tubo por donde se comunicaba, se trasmitia á una distancia del extremo por donde salia, igual á la que hubiera sido propagado desde el centro de conmocion si se hubiese esparcido inmediatamente en el aire libre, lo cual procede de la constancia de su intensidad en toda la extension del tubo.

El mismo sistema de propagacion se nota en ciertos edificios en los cuales los ángulos de las paredes continúan por la vóveda. Dos personas colocadas en dos ángulos diagonalmente opuestos pueden seguir en voz baja una conversacion sin ser oidos de los demas circunstantes. El ángulo hace aquí el oficio de tubo por donde se propaga el sonido.

La *bocina* (fig. 162) ofrece tambien un modo de propagacion análogo. Consiste este instrumento en un tubo de cobre ú hoja de lata de cerca de una vara de longitud, terminado por un extremo en una boca muy ancha. Se colocan los labios en el extremo *a* y se tiene cuidado de articular bien las palabras. Por medio de este aparato se trasmite el sonido á distancias sumamente grandes, y el efecto depende de la longitud del tubo y anchura de la boca.

Para explicar estos efectos es preciso notar que, en un instrumento de esta clase, la distribucion de la fuerza impulsiva determinada por la conmocion, esta limitada por las paredes del tubo. Resulta de aquí que las partículas de aire comprendidas en la capacidad de la bocina, reciben á una distancia dada del centro de movimiento todo el impulso que al aire libre se comunicaría á toda una undulacion esférica, y por consiguiente son conmovidas mas fuertemente. Por esto á la salida del tubo comunican al aire ambiente un impulso mas fuerte que si el movimiento se hubiese propagado desde el primer instante en el espacio. El aumento de fuerza será tanto mayor cuanto mejor dispuesto esté el tubo para transmitir el sonido paralelamente á su eje: esto se logra dando á la bocina la forma de una rama de hipérbola cuya asímptota sea el eje del tubo.

Se ha repetido muchas veces en las obras de física que era necesario que la bocina fuese de metal sonoro; pero parece que la naturaleza de este instrumento no tiene ninguna influencia en sus efectos, porque forrándole con tela son absolutamente los mismos.

La *trompetilla* ó *corneta acustica*, de que se

sirven las personas que tienen el oído tardo, es en cierto modo una bocina invertida, pero no produce otro efecto sino concentrar las undulaciones aéreas, por medio de las cuales se propaga el sonido hasta el tímpano del oído. Parece que aunque se dé á las trompetillas la forma parabólica que tanto se ha ponderado, no se consigue mejor efecto, y que la forma mas ventajosa es la cónica, que siempre se las ha dado.

452. *Comunicacion de las vibraciones del aire á los cuerpos que están en contacto con él.*—El aire puede comunicar como los cuerpos sólidos sus vibraciones á los cuerpos con quienes está en contacto. Para convencerse de ello basta hacer vibrar un cuerpo sonoro y aproximarle mas ó menos á una membrana tirante polvoreada con arena fina: se ve en algunos instantes moverse la arenilla sobre la membrana y colocarse de diversos modos formando líneas nodales de diferentes géneros, segun la naturaleza del sonido producido y los puntos de comunicacion. Si se hace vibrar una cuerda al aire libre en presencia de otra cuerda de la misma especie de igual diámetro, y que tenga la misma tension, se verá á esta última ponerse en vibracion al momento y producir un sonido de todo punto semejante al de la primera ó *unísono*; lo cual no puede proceder de otra causa sino de la comunicacion del movimiento por el aire. No hay persona que no haya notado que cuando pasa un tambor por la calle los vidrios de los aposentos se ponen en vibracion.

Quando la undulacion sonora encuentra un cuerpo que puede vibrar al unísono con ella, se aumenta la intensidad del sonido, pero cuando en-

cuentra cuerpos flexibles que no pueden vibrar sino irregularmente se disminuye notablemente esta intensidad. Todo el mundo sabe que en un cuarto vacío la voz tiene mas cuerpo que en otro adornado de tapices, colgaduras, &c. Cuando hay tabiques que nos separan del cuerpo sonoro, la intensidad del sonido que percibimos es tanto mas débil, quanto mas espeso es el tabique y menos susceptible de vibrar la materia que le compone. El aire exterior puesto en movimiento viene á apoyarse en el tabique, le comunica sus vibraciones y la materia sólida que le compone las comunica al aire que se halla detras de él. De este modo es como desde el interior de nuestros cuartos oímos el ruido de fuera, y principalmente por las vidrieras es por donde penetra, por cuya razon oímos menos cuando las puerta-ventanas estan cerradas, ó cuando las crugías estan guarnecidas de cortinas, colgaduras, &c. Se sabe que muchas personas hacen cubrir las puerta-ventanas con tapices para evitar que el ruido de fuera perturbe su sueño.

453. *Los sonidos se propagan á la vez en el aire, sin perturbarse mutuamente.* — Del mismo modo que hemos visto á las olas cruzarse en la superficie del agua, sin alterar su movimiento de modo alguno, se cruzan los sonidos sin perturbarse unos á otros. Lo que únicamente sucede es que los sonidos mas fuertes absorven los mas débiles en cierto modo, de suerte que no es posible percibirlos. Todos sabemos que el ruido de los coches, tambores, caballos, &c. absorve de tal modo la voz humana, que no es posible oirse ni entenderse cuando pasan aquellos, por cerca que esten las personas unas de otras.

454. *Velocidad del sonido en el aire.* — La experiencia nos enseña que todos los sonidos graves ó agudos se propagan con la misma velocidad. Para determinar esta velocidad es preciso que dos observadores colocados á una distancia conocida, y bastante considerable uno de otro, prevenidos con relojes de segundos perfectamente acordes, se preparen para el experimento, conviniéndose en una señal para principiar la operacion simultáneamente. Desde luego uno de ellos señala la hora en que produce un sonido cualquiera, y el otro la hora en que le oye, y comunicándose sus observaciones pueden determinar el tiempo que ha empleado el sonido para recorrer el espacio que los separaba. Por medio de observaciones de esta especie se ha averiguado que á la temperatura de 6° la velocidad del sonido en el aire es de cerca de 337 metros (1209 pies españoles) por segundo. Se ha notado que ni la lluvia, ni la niebla influyen nada sobre esta velocidad; que el viento podía acelerarla ó retardarla segun su direccion; y en fin, que variaba segun la temperatura, de suerte que en el verano es mayor que en el invierno.

Los géometras han buscado tambien por las leyes conocidas del movimiento cual debia ser la velocidad del sonido, y han llegado todos al resultado de que *la velocidad del sonido es igual á la raiz cuadrada de la relacion de la elasticidad del aire con su densidad.* Estas fórmulas no dan mas que 282 metros (1012 pies) por segundo, lo que no esta conforme con la experiencia. Se han hecho muchas hipótesis para explicar esta anomalía, pero Laplace ha hallado su verdadera causa. Este sabio ha concebido la idea de que en la propagacion del

sonido por los fluidos expansibles, las pequeñas compresiones producidas por las vibraciones del cuerpo sonoro causaban un desarrollo de calor que aumentaba la elasticidad del fluido, y por consiguiente la velocidad del sonido: introduciendo efectivamente esta correccion en el cálculo, se han obtenido resultados que coinciden sensiblemente con los de la experiencia. Los datos han sido suministrados por los experimentos hechos por Delaroche y Berard.

ARTÍCULO III.

Sonidos reflejados.

455. Mientras la masa de aire por la cual se propaga el sonido es indefinida, las undulaciones sonoras se extienden indefinidamente; pero cuando algun obstáculo detiene la undulacion, se refleja en la superficie del mismo obstáculo retrocediendo, sobre poco mas ó menos, como las olas circulares producidas en la superficie de un líquido hacen en igual caso. Entonces se forma un *eco* si el sonido se repite distintamente, ó una *resonancia* si no resulta mas que un ruido confuso.

Segun las indagaciones matemáticas acerca de la reflexion del sonido sobre un plano indefinido, resulta: 1.º Que cada radio de la undulacion es reflejado haciendo el ángulo de reflexion igual al de incidencia.

2.º Que la velocidad del sonido reflejado es la misma que la del sonido directo.

3.º Que la intensidad del sonido en el extre-

mo del radio reflejado se presenta la misma que seria al extremo del radio directo igual en longitud al reflejado, si este sonido en vez de reflejarse se hubiera propagado mas allá del plano fijo.

Segun esto es facil ver que si la masa de aire está comprendida entre dos planos indefinidos paralelos, el sonido reflejado en la superficie de uno de los planos se dirigirá ácia el otro, de donde será reflejado sobre el primero, &c. De este modo habrá un número infinito de reflexiones. Si los planos no son paralelos, habrá un número mayor ó menor de reflexiones, segun el ángulo que estos planos hacen entre sí.

Es tambien facil el determinar las circunstancias de la reflexion del sonido en las superficies elípticas, parabólicas, &c.

456. *Casos en que hay eco ó resonancia.* — Es facil observar que no es posible distinguir los sonidos á menos que no pase $\frac{1}{10}$ de segundo de uno á otro; de suerte que, para que haya un eco, es preciso que el sonido reflejado no llegue mas pronto al oido que á 0,1'', es decir, que la distancia de ida y vuelta debe ser á lo menos de 33,8 metros (121 pies), lo que da para la colocacion de la superficie reflectante 16,9 metros (60,5 pies) del lugar donde se produce el sonido. Siempre que se halle mas cercana, los sonidos directos y los reflejados se confundirán en parte y no habrá mas que una resonancia.

Las resonancias se perciben en lugares cerrados y poco espaciosos; y se hacen incómodas algunas veces para los que oyen á un orador; pero pueden

ser favorables al mismo orador, sosteniendo su voz, y dándole brillantez: he tenido algunas veces ocasion de notar que en una sala resonante se fatiga menos el que habla, que al aire libre, ó en una sala en donde la voz se halle sofocada por los muebles, colgaduras, &c. Las resonancias son ventajosas en los puntos donde se quieren ejecutar piezas concertantes, y no siempre son el resultado de la reflexion de los sonidos, sino que tambien son debidas muchas veces á las vibraciones de las paredes sobre que se apoyan las undulaciones sonoras. Esto se verifica, por ejemplo, cuando se habla dentro de un sombrero; si se aplican las manos á la copa se percibirán las vibraciones de un modo muy enérgico.

457. *Ecos monosílabos y polisílabos.*—Todo el mundo puede observar que no es posible pronunciar mas de diez sílabas por segundo, es decir, que de una sílaba á otra se pasa $\frac{1}{10}$ de segundo. Segun esta observacion es facil reconocer como puede ser monosílabo ó polisílabo un eco: si el observador se halla á 60,5 pies de la superficie reflectante no oirá mas que la última sílaba de la palabra que pronuncie, porque cada sílaba reflejada se confundirá con la siguiente pronunciada. Si la superficie reflectante se halla á dos veces 60,5 pies serán repetidas distintamente las dos últimas sílabas; en general se repetirán tantas sílabas cuantas veces contenga al número 60,5 pies, la distancia de la superficie reflectante al punto donde se produce el sonido.

458. *Ecos notables.*—Se hallan ecos á cada paso, y sobre todo en los bosques y paises montañosos. En varios puntos de Europa hay ecos suma-

mente notables; pero los que han sido visitados por hombres menos entusiastas se han hallado ser muy exagerados. No obstante, se hallan ecos que repiten cierto número de sílabas, tal como el del parque de Woodstock en Inglaterra, que repite 17 sílabas por el día, y 20 por la noche, diferencia que puede provenir de que durante la noche el aire es mas frío, y tiene menos elasticidad, y por consiguiente la velocidad del sonido es menor.

Hay ecos que repiten el sonido muchas veces, tal como el que se citaba en el castillo de Simona en Italia, que repetía el sonido hasta cuarenta veces. Era producido por dos paredes paralelas, en una de las cuales había una ventana desde donde el que hablaba oía todos los ecos. En Verdun se cita otro eco análogo producido por dos torres que distan entre sí cerca de 50 metros (177 pies), y colocándose entre ellas, se oye repetir una docena de veces lo que se pronuncia con voz fuerte. En Genelay cerca de Ruan hay un eco en que la voz se repite de diferentes modos muchas veces. En fin, hay ecos que repiten los sonidos con estrepito, otros con mofa, otros con acento dolorido, &c. Todo esto es debido puramente á circunstancias locales que es difícil señalar.

Hay otros ecos que no es fácil explicar, tal es v. gr. el observado por Biot en los acueductos de Paris, donde hablando en el extremo de un tubo de 951 metros (1097 varas), la voz se repite hasta seis veces, guardando intervalos iguales entre sí y sobre poco mas ó menos de medio segundo; de suerte que el último llegaba al oído al cabo de 3'', es decir, al tiempo necesario para recorrer la lon-

gitud del tubo, segun da la ley de la velocidad. Se observan ecos análogos en las galerías de minas de bastante longitud.

Se podria suponer por los experimentos de Biot, que los tubos no estaban exactamente en línea recta, ó que quizá no tendrían por todas partes la misma altura: del mismo modo en las galerías de minas se puede suponer que las paredes no eran paralelas.

459. *Construccion de las salas acústicas.*— Las leyes de la propagacion y reflexion del sonido son las que han de servir de guia para construir una sala en donde los sonidos puedan ser oídos desde todos puntos. Desde luego es preciso saber de antemano si la sala se destina á oír la voz de un orador, ó á ejecutar piezas músicas. En el primer caso será preciso evitar muchas veces las resonancias, mientras que al contrario en el segundo será preciso proycocarlas, haciendo las paredes mas ó menos sonoras, para lo cual será util enmaderarlas.

De todas las formas posibles que se pueden dar á una sala, no la hay peor que la elíptica, porque la elipse tiene la propiedad de reflexar al segundo foco todo lo que viene del primero: lo mismo sucede con el sonido, de suerte que un orador puesto en uno de los focos seria oído con claridad y aun vehemencia en el otro, mientras solo lo seria confusamente por las personas colocadas en los demas puntos. Dos personas puestas en ambos focos de una elipse podrian seguir una conversacion entre sí en voz baja sin ser oídas de las demas circunstantes.

La forma parabólica debe ser la más conveniente que puede darse á una sala. Chladni propone dar á una sala destinada á conciertos la forma de un cono ó pirámide. La orquesta se coloca en la parte superior, y el sonido es reflejado ácia todos lados distintamente. Cita una iglesia en la cual la orquesta está oculta, y colocada de modo que los sonidos no llegan al auditorio, sino despues de reflejados por las paredes de la bóveda.

FIN DEL TOMO I.°

TABLA ANALÍTICA

ó

ÍNDICE

de las materias contenidas en este tomo.

INTRODUCCION.	PAG. VII
-----------------------	-------------

LIBRO PRIMERO.

NOCIONES PRELIMINARES Y FENÓMENOS GENERALES.

CAPITULO I. *Caracteres generales de los cuerpos , y sus diferentes estados.*

PARRAFO 1. Espacio absoluto y relativo.	2
2. Definicion de los cuerpos.	ib.
4. Caracteres de los cuerpos sólidos.	3
6. Caracteres de los cuerpos líquidos.	4
7. Caracteres de los cuerpos fluidos aeriformes. . .	ib.
10. Caracteres de los fluidos incoercibles.	6

CAP. II. *Nociones generales sobre el equilibrio y movimiento.*

11. Definicion del reposo y del movimiento.	7
13. Reposo absoluto y relativo.	8
14. Inercia de la materia.	ib.
15. Idea de la resistencia y de la fuerza.	9
17. Reposo y equilibrio.	10

CAP. III. *Estática.*

20. Resultante de muchas fuerzas.	12
---	----

ART. I. *Composicion de las fuerzas aplicadas en un punto.*

21. Resultante de las fuerzas dirigidas en una mis-	
---	--

ma línea.	13
22. Resultante de las fuerzas convergentes.—Paralelógramo de las fuerzas.	ib.
ART. II. Composicion de las fuerzas aplicadas á un sistema de puntos.	
24. Primer caso.—Composicion de las fuerzas paralelas.—Resultante de un número cualquiera de fuerzas.	14
29. Segundo caso.—Composicion de las fuerzas situadas en un mismo plano.—Resultante de dos fuerzas.—Momentos de las fuerzas.—Resultante final.	16
31. Tercer caso.—Composicion de las fuerzas que obran de un modo cualquiera en el espacio.—Trasformacion de las fuerzas y sus casos.	17
ART. III. Condiciones de equilibrio de un cuerpo sólido entre las fuerzas que le solicitan.	
34. Primer caso.—Equilibrio de un cuerpo libre.	19
38. Segundo caso.—Equilibrio de un cuerpo sujeto por uno ó muchos puntos fijos.	21
44. Aplicacion á las tres máquinas simples, palanca, torno y plano inclinado.	23
CAP. IV. Dinámica.	
ART. I. Movimiento uniforme.	
43. Definicion.	26
44. Medida de la velocidad de un cuerpo.	27
ART. II. Movimiento uniformemente acelerado.	
45. Definicion.	27
46. Aplicacion del cálculo y sus resultados.	28
ART. III. Movimiento uniformemente retardado.	
ART. IV. Movimiento simplemente variado.	
ART. V. Movimientos curvilíneos	
51. Modo de concebir este movimiento.	ib.
54. Ejemplo del movimiento parabólico.	32
55. Caso en que la fuerza aceleratriz se dirige á un punto fijo.—Fuerza centripeta.—Resultados.	ib.

ART. VI. *Movimiento de un cuerpo material sobre una curva dada.*

57. Ejemplo del movimiento circular. — Fuerza centrífuga. 35

60. Movimiento curvilíneo cualquiera. 37

ART. VII. *Medida de las fuerzas.*

63. Medida de las fuerzas según el volumen y naturaleza de los cuerpos. 38

66. Cantidad de movimiento. 41

67. Valuación de las masas. ib.

CAP. V. *Gravitación.*

ART. I. *Definiciones.*

68. Figura de la tierra. — Hipótesis de la atracción terrestre. 43

ART. II. *Del centro de gravedad.*

71. Definición. — Determinación del centro de gravedad. — Aplicaciones. 45

75. Equilibrio permanente é instantáneo. 49

ART. III. *Peso de los cuerpos.*

76. Definición. — Determinación del peso de un cuerpo. ib.

79. Unidad de peso. — Peso absoluto. 50

ART. IV. *Pesantez ó peso específico.*

80. Definición — Determinación del peso específico. 52

82. Unidad de peso específico. 53

83. Peso específico de los líquidos. — De los sólidos. 54

86. Tabla de varios pesos específicos. 56

ART. V. *Aceleración de los graves en su caída.*

88. Experimento que demuestra esta aceleración. . 59

89. Principio de la máquina de Atwood. 60

ART. VI. *Movimiento de un cuerpo pesado sobre un plano inclinado.*

94. Principios teóricos. 65

95. Uso del plano inclinado. 66

ART. VII. <i>Movimiento de los proyectiles.</i>	68
ART. VIII. <i>Movimiento oscilatorio del péndulo.</i>	
99. Definición. — Péndulo simple y compuesto.	69
100. Aplicación y resultados del cálculo.	71
102. Péndulo de segundos.	72
104. Consecuencia de la variación de la gravedad á diversas latitudes. — Movimiento rotatorio y figura de la tierra.	74
105. Variaciones de la gravedad según la altura.	76
ART. IX. <i>Gravitación universal.</i>	
107. Conjeturas y cálculos de Newton sobre los mo- vimientos de los cuerpos celestes. — Leyes de Ke- pler y sus consecuencias.	ib.
111. Propiedad atractiva de la materia. — Consecuen- cias.	81
113. Balanza de torsión. — Densidad media de la tierra	83
CAP. VI. <i>Atracción de cohesión.</i>	
116. Atracción molecular — Experimento.	85
122. Efecto de la cohesión — Modificaciones.	88
CAP. VIII. <i>Atracción de combinación.</i>	
125. Cuerpos simples y compuestos. — Afinidad qui- mica.	91
126. Especies diferentes de combinaciones.	92
128. Medida de la intensidad de la atracción. — Mo- dificaciones.	93
LIBRO SEGUNDO.	
CUERPOS SÓLIDOS.	
<i>SECCION PRIMERA. — Propiedades de los sólidos.</i>	
CAP. I. <i>Figura.</i>	
132. Formas que presentan los sólidos. — Formas re- gulares ó cristales. — Formas irregulares.	96
136. Variaciones de las formas regulares.	99
139. Núcleo ó sólido central de un cristal. — Formas primitivas y secundarias.	102
143. Modificaciones de la cristalización primordial.	107

144. Causa de las variedades de formas cristalinas de una misma sustancia.	108
CAP. II. Porosidad.	
145. Poros de los cuerpos.—Pruebas de la porosidad.	110
147. Fenómenos particulares por el empapamiento de los líquidos.	112
CAP. III. Impenetrabilidad.	
148. Definicion y pruebas.	115
CAP. IV. Divisibilidad.	
149. Divisibilidad geométrica y física. — Ejemplos. .	119
CAP. V. Ductilidad.	
152. Definicion. — Cuerpos muy ductiles. — Cuerpos poco ductiles.	123
157. Ductilidad de varios metales.	126
CAP. VI. Extensibilidad.	
159 La extensibilidad es propiedad de los cuerpos no ductiles.	129
CAP. VII. Flexibilidad.	
162. Definicion.	131
166. Causas que influyen en la flexibilidad.	132
CAP. VIII. Compresibilidad.	
169. Compresibilidad. — Condensacion.	137
173. Compresibilidad de los metales.	138
175. Cuerpos aparentemente incompresibles.	140
176. Razones para admitir la compresibilidad.	141
CAP. IX. Elasticidad.	
178. Hipótesis sobre la elasticidad de los cuerpos porosos.	143
180. Caso en que falla. — Nueva hipótesis general .	144
181. Elasticidad producida por el choque	146
185. Elasticidad de primera y segunda especie.	150
187. Elasticidad por tension. — Lágrima batávica.	ib.
CAP. X. Dureza.	
190. Equívoco de esta expresion en el lenguaje comun	155
191. Definicion de la dureza en Física.	156

194. La dureza depende de la cohesión.	157
CAP. XI. Tenacidad.	
ART. I. Resistencia al choque.	
197. Modo de concebir el efecto del choque.	161
198 y siguientes. Causas que influyen en la resistencia al choque.—Masa y disposición de los cuerpos.—Forma y estructura de los mismos.—Temperatura.	162
203. Figura de la rotura.—Cónica.—Conchoidea.	167
ART. II. Resistencia á un esfuerzo perpendicular.	
204. Modo de disponer el cuerpo.	168
207 y siguientes. Causas que influyen en la resistencia.—Dimensiones del cuerpo.—Colocacion y forma.	169
210. Casos en que un cuerpo puede romperse por su propio peso:	173
213. Grados de resistencia de las maderas.	174
ART. III. Resistencia de los cuerpos á una presión que procura troncharlos.	
217. Influencia de las dimensiones, y forma del cuerpo.	177
221. Casos en que un cuerpo se troncha por su propio peso.	179
ART. IV. Resistencia que oponen los cuerpos á las fuerzas que tiran de ellos en sentidos opuestos.	
225. Modo de determinar esta resistencia.	182
228. Resistencia de los metales.	183
SECCION SEGUNDA. Movimientos de los sólidos.	
CAP. XII. Movimiento de los cuerpos sólidos al rededor de sus centros de inercia.	
230. Movimiento de rotacion.	186
231. Eje permanente de rotacion.—Ejes principales.	187
234. Movimiento de traslacion del eje.	189
CAP. XIII. Choque de los cuerpos sólidos.	
—Definicion del choque central y excéntrico.	191
ART. I. Choque central de los cuerpos ductiles.	
237. Moviéndose los cuerpos con cantidades iguales	

	de movimiento en sentido contrario. — Con cantidades desiguales. — Velocidad despues del choque.	192
239.	Moviéndose los cuerpos en el mismo sentido.	194
ART. II. Choque central de los cuerpos elásticos.		
240.	Primer caso. — Cuerpos perfectamente elásticos.	195
244.	Segundo caso. — Cuerpos imperfectamente elásticos.	199
245.	Explicacion de diversas circunstancias habituales.	201
ART. III. Choque excéntrico.		
247.	Descomposicion de la velocidad. — Ángulo de reflexion y de incidencia. — Choque sobre una esfera movil.	204
ART. IV. Choque de los cuerpos de forma cualquiera.		
ART. V. Choque simultáneo.		
ART. VI. Observaciones sobre el choque.		
CAP. XIV. Rozamiento.		
256.	Definicion, ejemplos y ventajas del rozamiento. — Sus inconvenientes. — Sus especies.	211
260.	Valuacion del rozamiento. — Ángulo de idem.	214
CAP. XV. Movimientos vibratorios de los cuerpos sólidos.		
ART. I. Consideraciones generales.		
261.	Definicion del movimiento vibratorio.	217
263.	Sonido y ruido. — Intensidad del sonido.	219
265.	Clases diversas de vibraciones.	221
ART. II. Vibraciones normales.		
A. Vibraciones normales de las cuerdas tirantes.		
266.	Consideraciones geométricas. — Experimentos. Sonómetro.	222
268.	Nodos de vibraciones.	223
B. Vibraciones normales de las varas rígidas.		
270.	Ley de estas vibraciones.	225
271.	Nodos de vibraciones.	226
273.	Varas curvas. — Diapason.	228

<i>C. Vibraciones normales de las placas, y membranas tirantes.</i>	
275. Resultados de los experimentos.	229
ART. III. <i>Vibraciones normales secundarias.</i>	
277. Experimentos de Savart.	232
278. Movimiento rotatorio de las partes vibrantes.	233
ART. IV. <i>Vibraciones tangenciales.</i>	
279. Vibraciones en sentido de la mayor dimension.	234
280. Ley de estas vibraciones.	235
ART. V. <i>Comunicacion de los movimientos vibratorios.</i>	
284. Comunicacion por varillas colocadas perpendicularmente entre si.	237
ART. VI. <i>Propagacion de las vibraciones de los cuerpos sólidos.</i>	
284. Como se hace esta propagacion.—Undulaciones sonoras.	239
287. Medida de la velocidad del sonido.	241
ART. VII. <i>Comparacion de los sonidos.</i>	
289. Sonidos graves y agudos.—Intérvalos.—Acordes.	242
290. Escala música.—Diatónica.—Cromática.—Enarmónica,	244
291. Sonidos concomitantes.	247
294. Temperamentos.	250

LIBRO TERCERO.

CUERPOS LÍQUIDOS.

SECCION PRIMERA. *Propiedades de los líquidos.*

CAP. I. <i>Figura de estos cuerpos.</i>	
295. Forma globulosa.—Sus causas.—Sus modificaciones.	251
296. Forma de las partes integrantes.	253
CAP. II. <i>Porosidad.</i>	855
CAP. III. <i>Impenetrabilidad.</i>	
298. Los líquidos son impenetrables á si mismos, á	

los sólidos y á los fluidos.	256
302. Bomba impelente.	258
CAP. IV. Compresibilidad.	259
CAP. V. Elasticidad.	
304. La elasticidad de los líquidos se verifica por cambio de forma.	261
CAP. VI. Adhesion de los líquidos á los diferentes cuerpos.	
305. Accion de los líquidos sobre los sólidos.	263
306. Accion de los líquidos unos sobre otros.	266
SECCION SEGUNDA. Equilibrio de los líquidos.	
CAP. VII. Presion de los líquidos sobre las paredes de vasos que las contienen.	
307. Consideraciones generales.	269
ART. I. Presion sobre la pared horizontal inferior.	
309. EN un vaso inferior vertical.	271
310. EN un vaso inclinado.	272
ART. II. Presion sobre la pared horizontal superior.	
ART. III. Presion sobre las paredes laterales.	
315. y siguientes. Paredes verticales — inclinadas de dentro á fuera — id. de fuera á dentro.	275
ART. IV. Presion en todas direcciones.	
320. Los líquidos comprimen en todas direcciones.	276
321. Conduccion de aguas.	277
322. Manantiales y pozos.	278
CAP. VIII. Efectos de la presion de los líquidos sobre los cuerpos que se sumerjen en ellos.	
325. Los cuerpos sólidos pierden parte de su peso por su inmersion en un líquido.	281
327. Aplicacion á la determinacion del peso específi- co de los sólidos.	283
CAP. IX. Cuerpos flotantes.	
329. Todo cuerpo flotante desaloja un volumen de li-	

- quido cuyo peso es igual al suyo. 284
 331. Arte de nadar. 287
 332. Influencia de la forma de los cuerpos en su flotación.—Usos de los cuerpos flotantes.—Aerómetros. 287
 339. Gravímetro de Nickolson. 294

CAP. X. Ascenso y depresión de los líquidos al rededor de los sólidos sumergidos en ellos, ó capilaridad.

341. Fenómenos de la inmersión de un sólido en un líquido. 295
 347. Causa del ascenso y depresión de los líquidos. . 297

SECCION TERCERA. — Movimiento de los líquidos.

CAP. XI. Experimentos y consideraciones fundamentales.

352. Movimientos que se verifican á la salida de un vaso. 301
 354. Contracción de la vena líquida. 302
 355. Consideraciones matemáticas. 304

CAP. XII. Salida de un líquido por un orificio hecho en pared delgada.

356. Relación de los gastos entre sí. 306
 357. Cantidad de líquido suministrada en un tiempo dado. 307

CAP. XIII. Salida por tubos adicionales ó caños.

361. Cantidad de este aumento. 310
 362. Efecto de los caños largos. 311

CAP. XIV. Presión de los líquidos en movimiento sobre las paredes de los tubos.

364. Casos que se verifican cuando un líquido está en movimiento según su velocidad. 313
 365. Ariete hidráulico. 315

CAP. XV. Surtidores.

366. Altura teórica del surtidor ó chorro. 317
 367. Obstáculos que se oponen á la elevación del chorro. — Modo de elevarle á mayor altura. . . 318

CAP. XVI. Salida por canales.

370. Un canal no influye nada en el gasto. 320

371 y siguientes. Variaciones de la velocidad del líquido en un canal — segun su longitud — segun su profundidad — segun su latitud. 321

CAP. XVII. Accion erosiva de las aguas sobre el fondo y orillas de los canales y rios.

374. Erosion sobre el fondo. — Resistencia del suelo. 324

376. Erosion sobre las paredes. — Curso de los rios. 327

CAP. XVIII. Choque y resistencia de los líquidos.

378. Consideraciones teóricas. — Resultados. 331

380 y siguientes. Experimentos sobre este asunto. 333

384. Observaciones. 336

385. Movimiento refractado. 337

CAP. XIX. Movimientos oscilatorios y vibratorios de los líquidos.

386. Oscilaciones de un líquido en un tubo recurvo ó sifon. — Su analogía con las del péndulo. 339

387. Movimiento undulatorio. — Reflexion de las olas. 340

389. Movimientos vibratorios. — Velocidad del sonido. 342

LIBRO CUARTO.

FLUIDOS AERIFORMES Ó GASES.

SECCION PRIMERA. Propiedades de los fluidos aeriformes.

Definicion de los gases y vapores. 344

CAP. I. Figura y porosidad.

390. Figura de los gases. — Porosidad. 345

CAP. II. Impenetrabilidad.

392. Experimentos que comprueban la impenetrabilidad del aire. — Campana del buzo. 346

393. Impenetrabilidad de los fluidos aeriformes y vapores 348

CAP. III. *Compresibilidad.*

395. Experimentos sobre los gases permanentes.—
Id. sobre los vapores. 350

CAP. IV. *Elasticidad.*

397. La elasticidad de los gases se manifiesta por mudanzas de volumen. 352
398. Instrumentos fundados en la elasticidad del aire.—Escopeta de viento.—Fuente de compression.—Fuente de Heron.—Ludion.—Fuelles. 353
404. Elasticidad habitual del aire.—Máquina neumática. 358

CAP. V. *Pesantez de los fluidos aeriformes.*

408. Prueba del peso del aire por Galileo. 363
409. Peso específico del aire, y demás fluidos aeriformes. 364

SECCION SEGUNDA. *Equilibrio de los fluidos aeriformes.*CAP. VI. *Accion de los fluidos aeriformes sobre las paredes de los vasos que los contienen.*

411. Consideraciones teóricas.—Experimentos. . . 367
413. Presion de las paredes de los vasos de cortas dimensiones. 369

CAP. VII. *Presion de la atmósfera en la superficie de la tierra y sus efectos.*

415. Pruebas de la presion atmosférica—Hemisferios de Magdeburgo. 371
416. Barómetro.—Experimento de Torricelli. . . . 372
417. Elevacion de los líquidos en virtud de la presion atmosférica.—Bombas. 374
418. Bomba aspirante.—Caso en que no produce efecto.—Bomba aspirante é impelente. 375
421. Sifon.—Sifon intermitente. 379
423. Catalicores.—Embudo mágico. 381
425. Fuente intermitente artificial y natural. . . . 383

CAP. VIII. *Cuerpos flotantes en la atmósfera.*

427. Cuerpos flotantes por su ligereza. 385
428. Cuerpos flotantes por su extrema divisibilidad.—Humo.—Nubes.—Polvo. 386

CAP. IX. Construcción del barómetro para operaciones exactas, y medición de alturas con este instrumento.

429. Construcción del barómetro. 390
 430. Principios necesarios para la medición de alturas por el barómetro. 392
 431. Aparato y experimento de Mariotte sobre la compresibilidad del aire.—Ley de las variaciones de densidad de este fluido. 394
 433. Método para la medición de las alturas, y fórmula simple.—Correcciones.—Fórmula general. 396
 436. Reducción de la fórmula á tablas. 401

SECCION III. Movimiento de los fluidos aeriformes.

CAP. X. Causas del movimiento de los fluidos aeriformes.

439. Movimientos producidos por la variación de temperatura. 404
 441. Movimientos producidos por acciones puramente mecánicas. 407

CAP. XI. Choque y resistencia de los fluidos aeriformes.

442. Consideraciones teóricas. 408
 443. Choque del aire en movimiento.—Huracanes.—Molinos de viento. 409
 444. Resistencia que opone el aire á los cuerpos que se mueven en él. 410

CAP. XII. Movimientos vibratorios de los fluidos aeriformes.

ART. I. Vibraciones del aire en los instrumentos de viento.

445. Producción del sonido. 413
 446. Leyes del sonido en los tubos. 414
 447. Escala música de la trompeta.—Trompeta marina. 417

ART. II. Propagación del sonido.

448. El aire es el vehiculo ordinario del sonido. . . 418
 450. Disminución de la intensidad del sonido según la distancia.—Bocina.—Trompetilla. 419

452. Comunicacion de las vibraciones del aire á los
cuerpos que están en contacto con él. 422
454. Velocidad del sonido en el aire. 424

ART. III. *Sonidos reflejados.*

455. Consideraciones matemáticas. 425
456. Casos en que hay eco ó resonancia. — Ecos no-
tables. 426
459. Construccion de las salas acústicas. 429

430. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

431. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

432. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

433. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

434. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

435. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

436. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

437. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

438. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

439. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

440. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

441. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

442. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

443. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

444. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

445. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

446. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

447. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

448. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

449. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

450. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

451. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

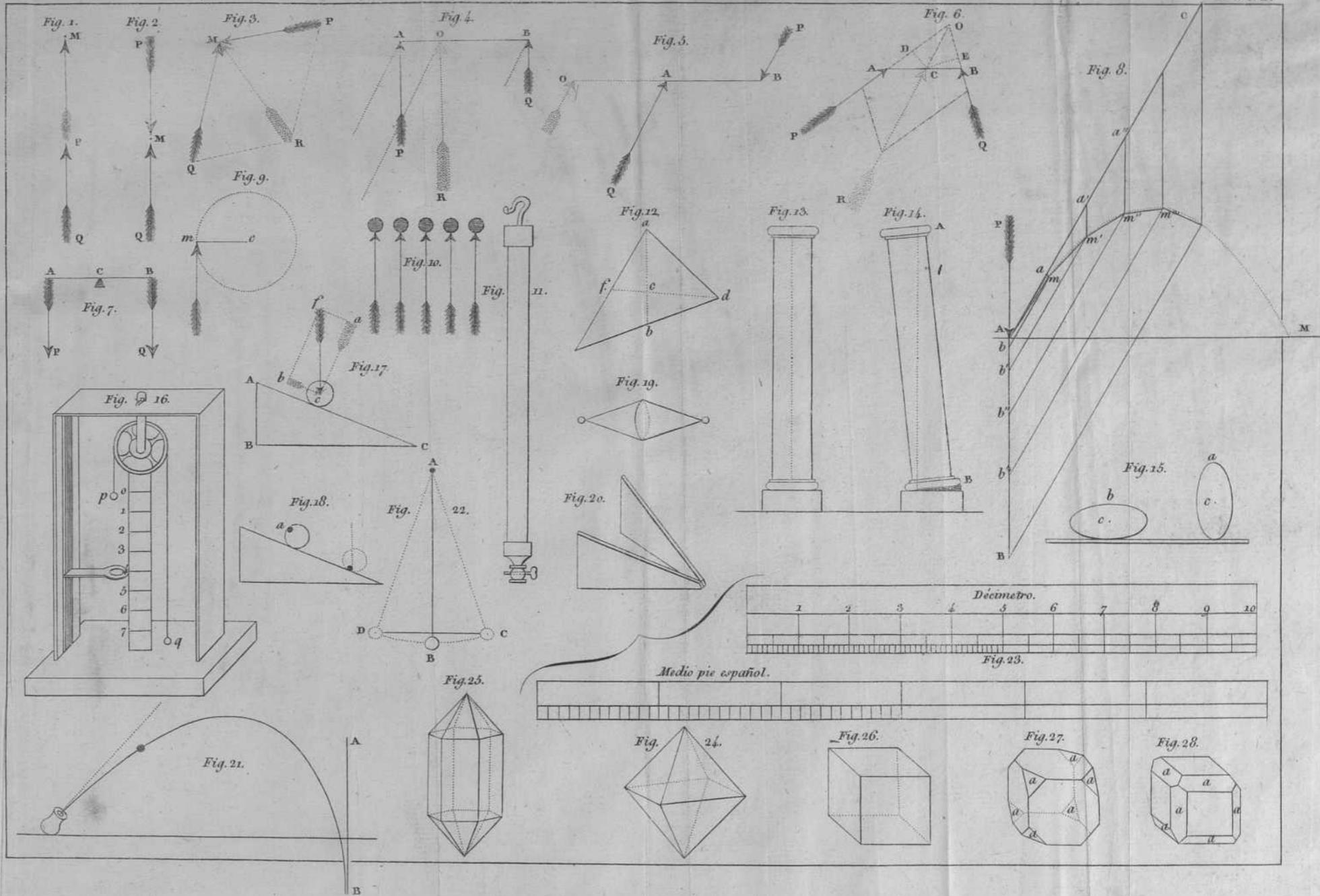
452. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

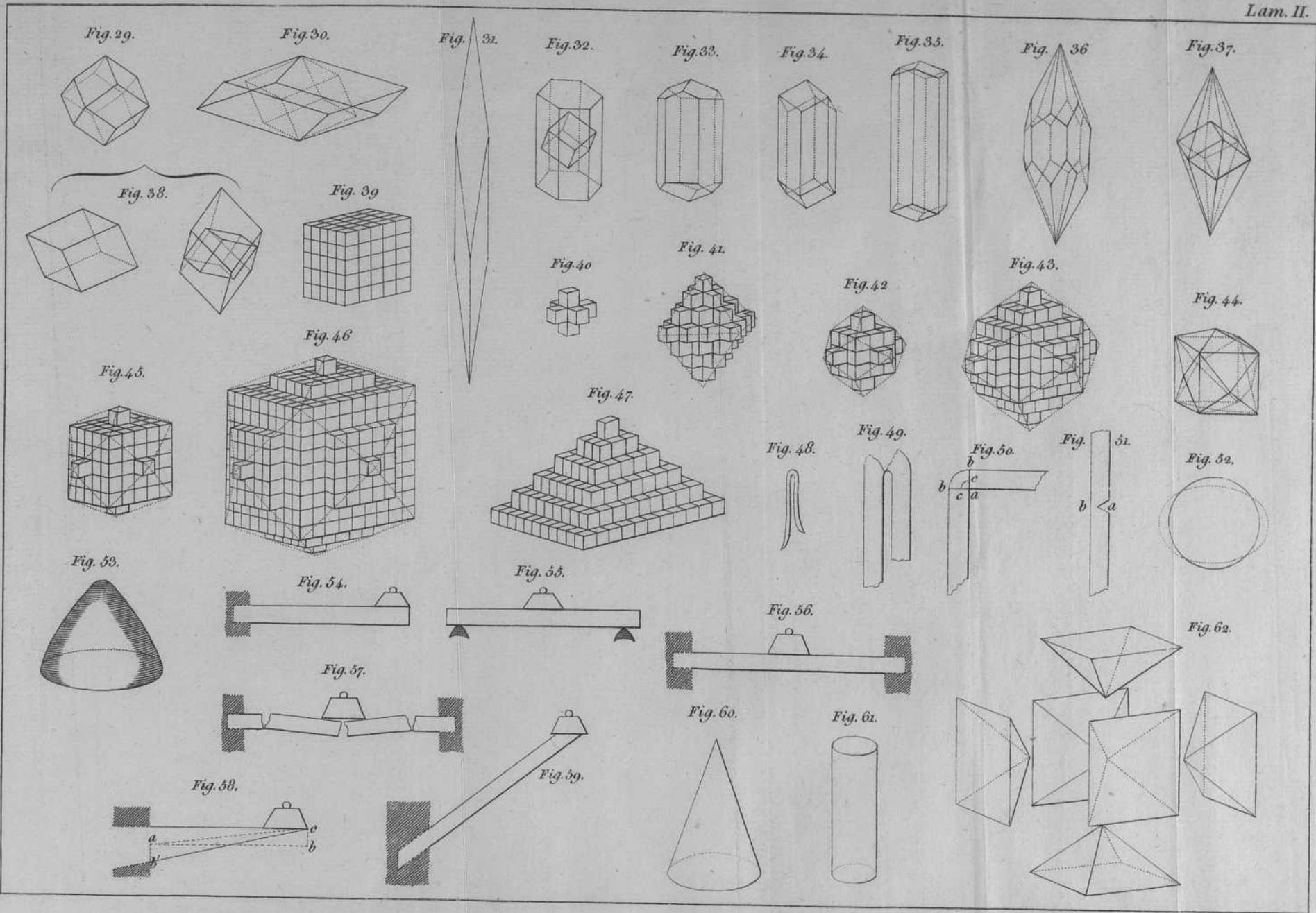
453. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

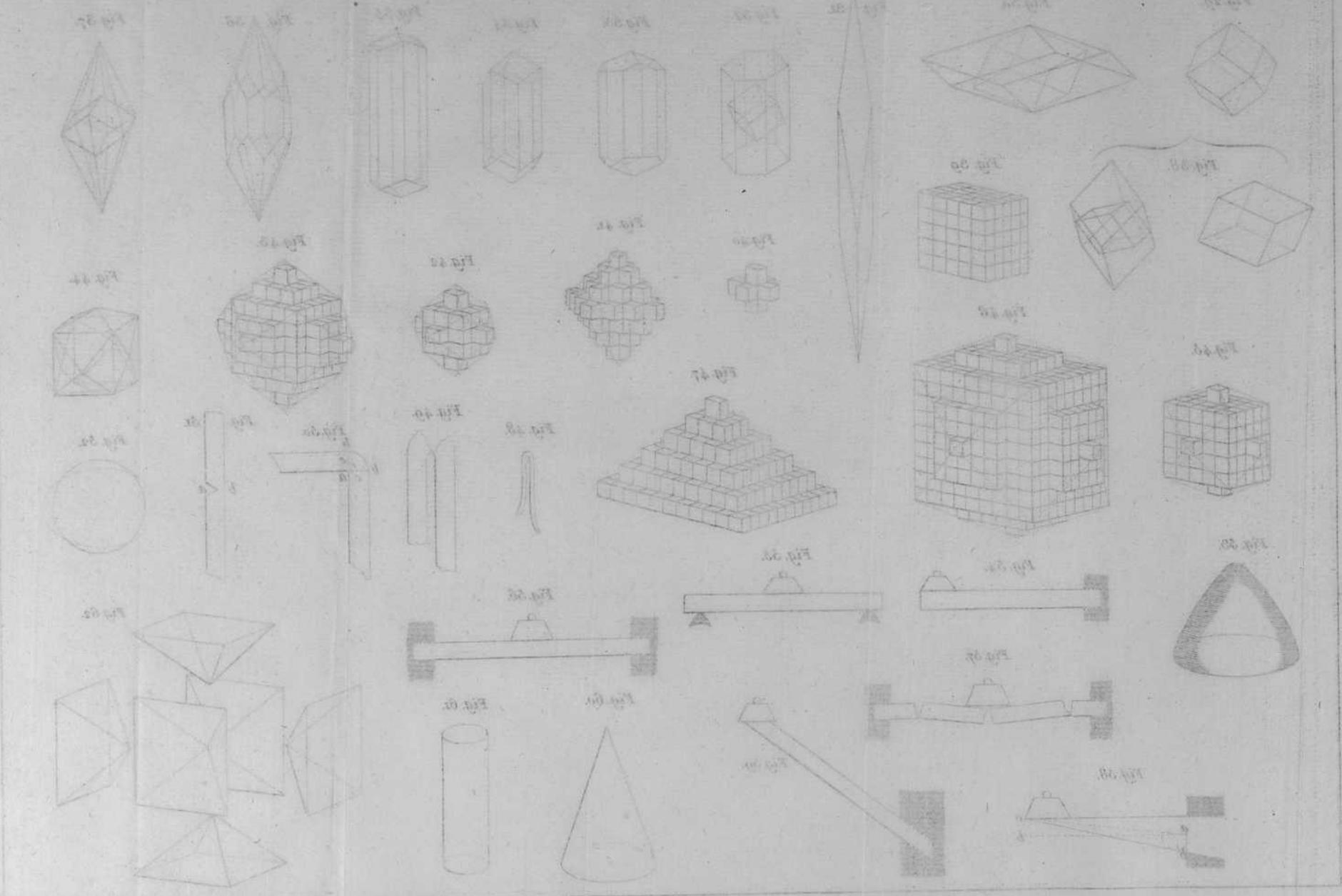
454. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

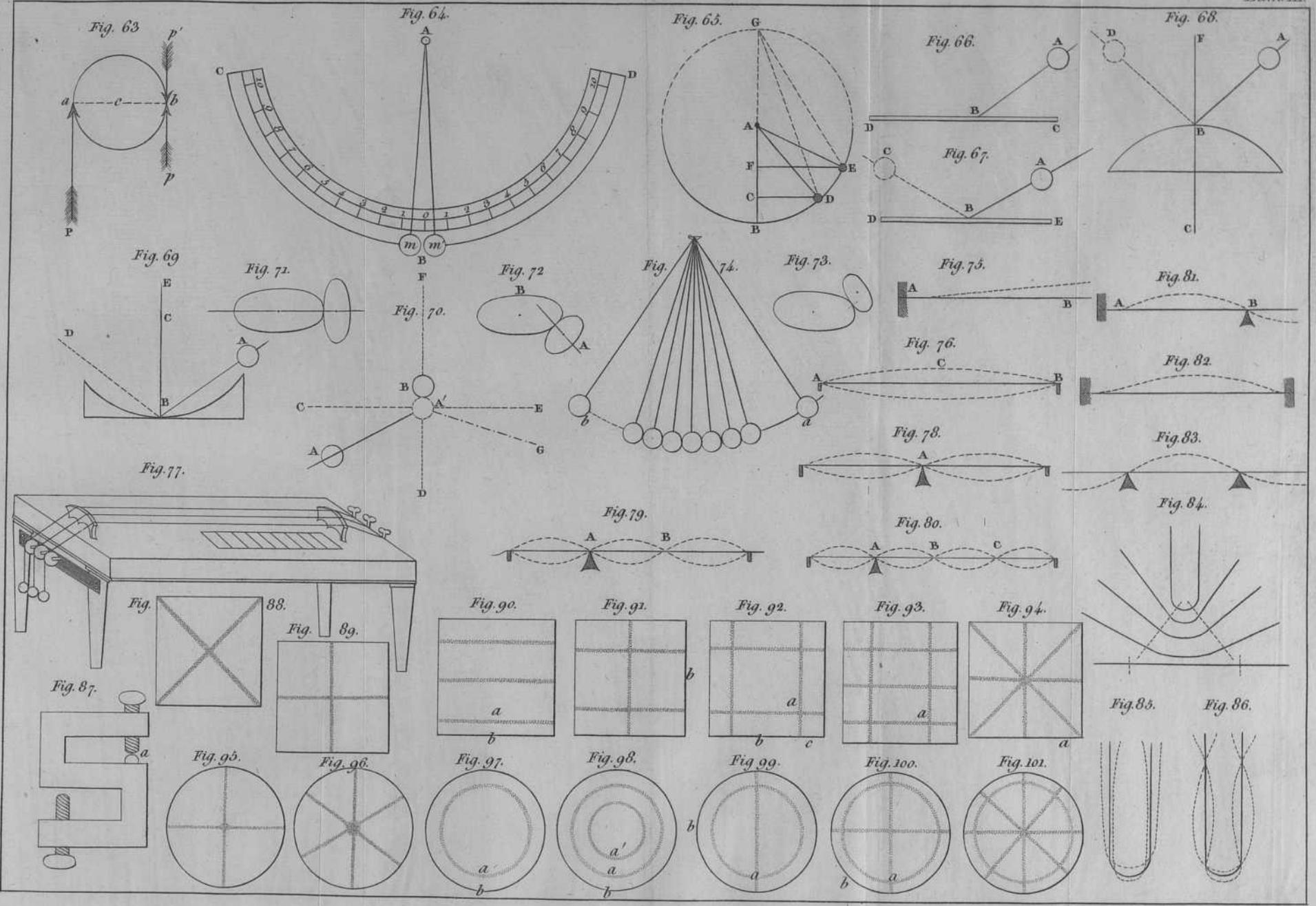
455. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

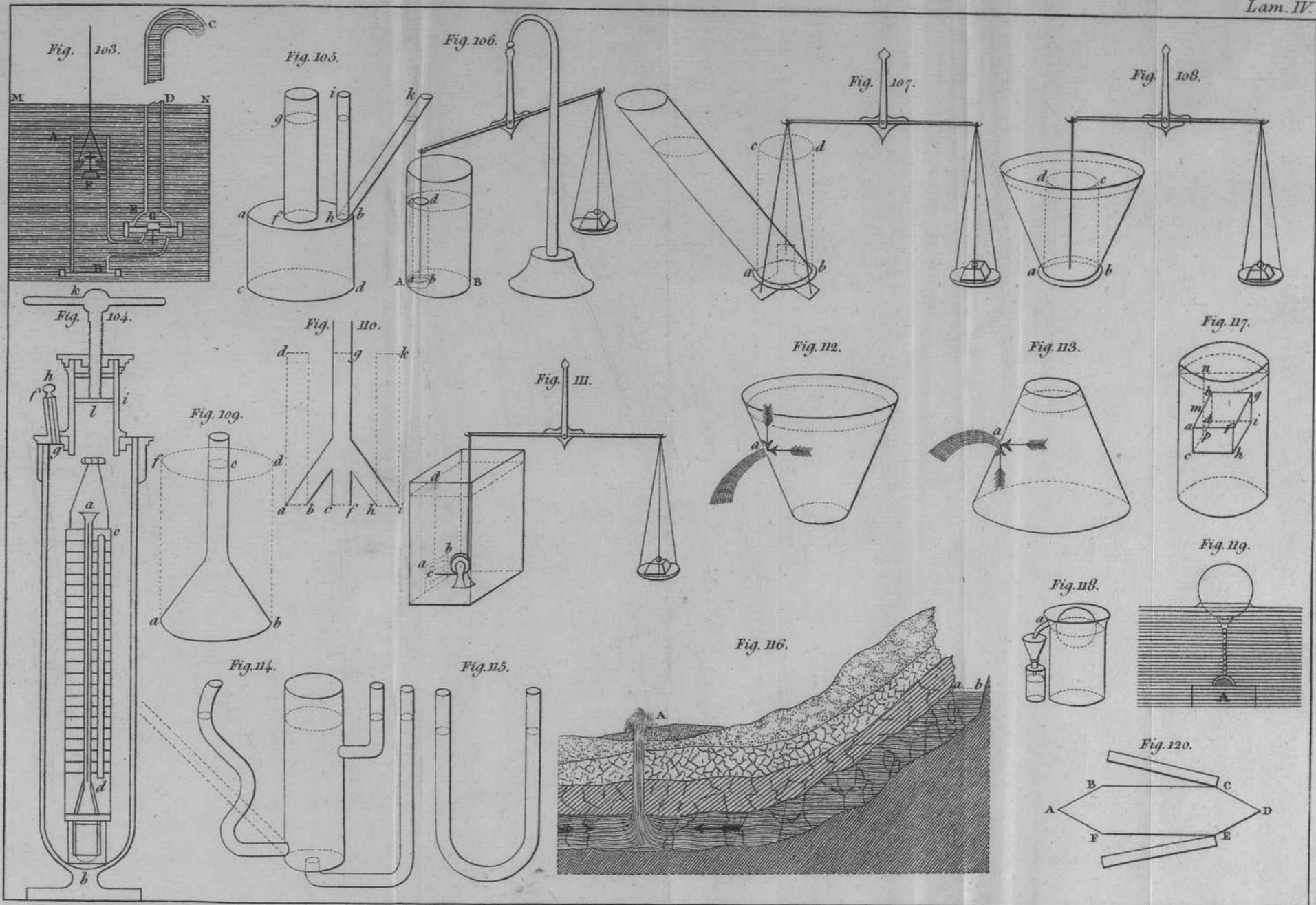
456. Reflexion de la columna de aire en los tubos 407

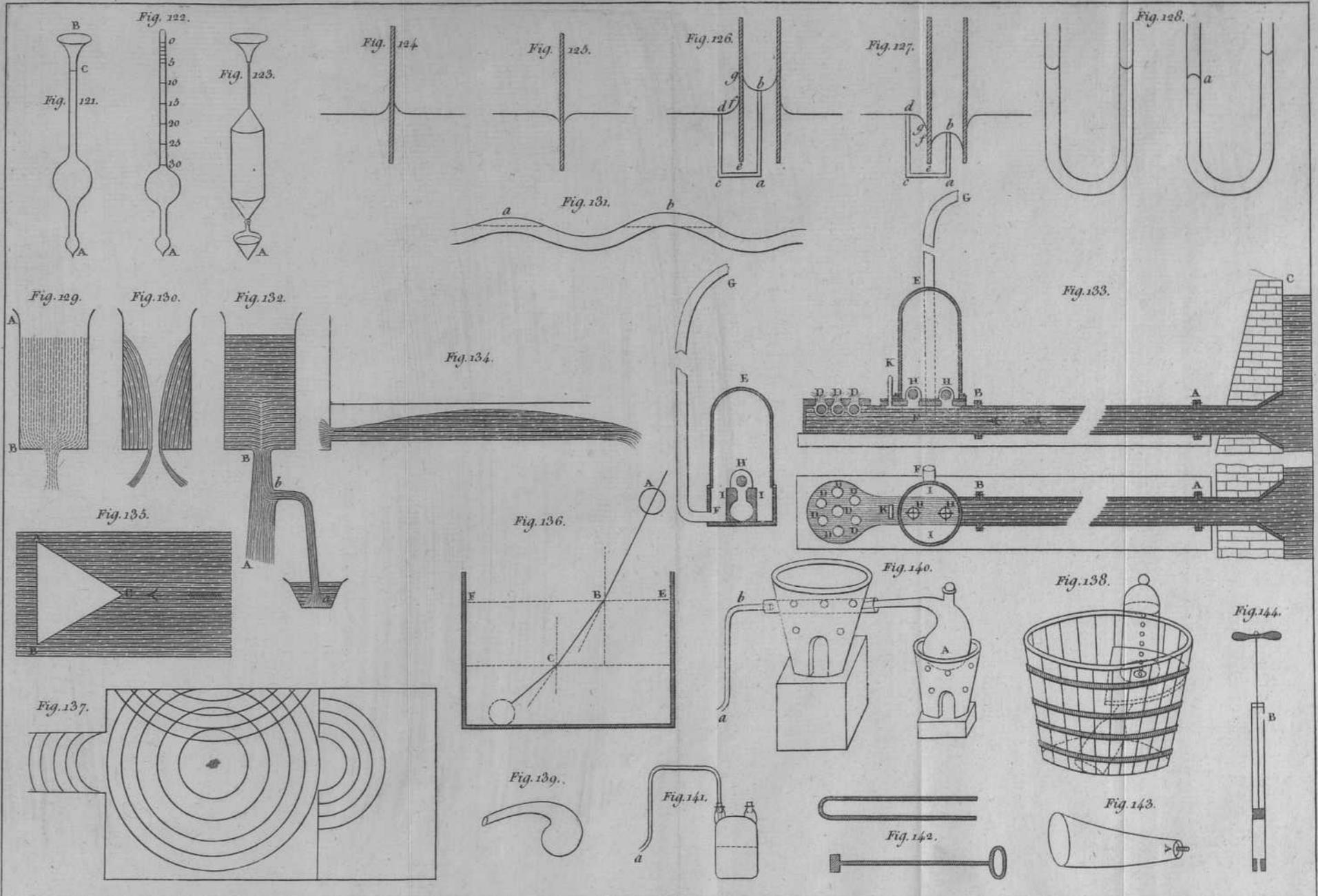


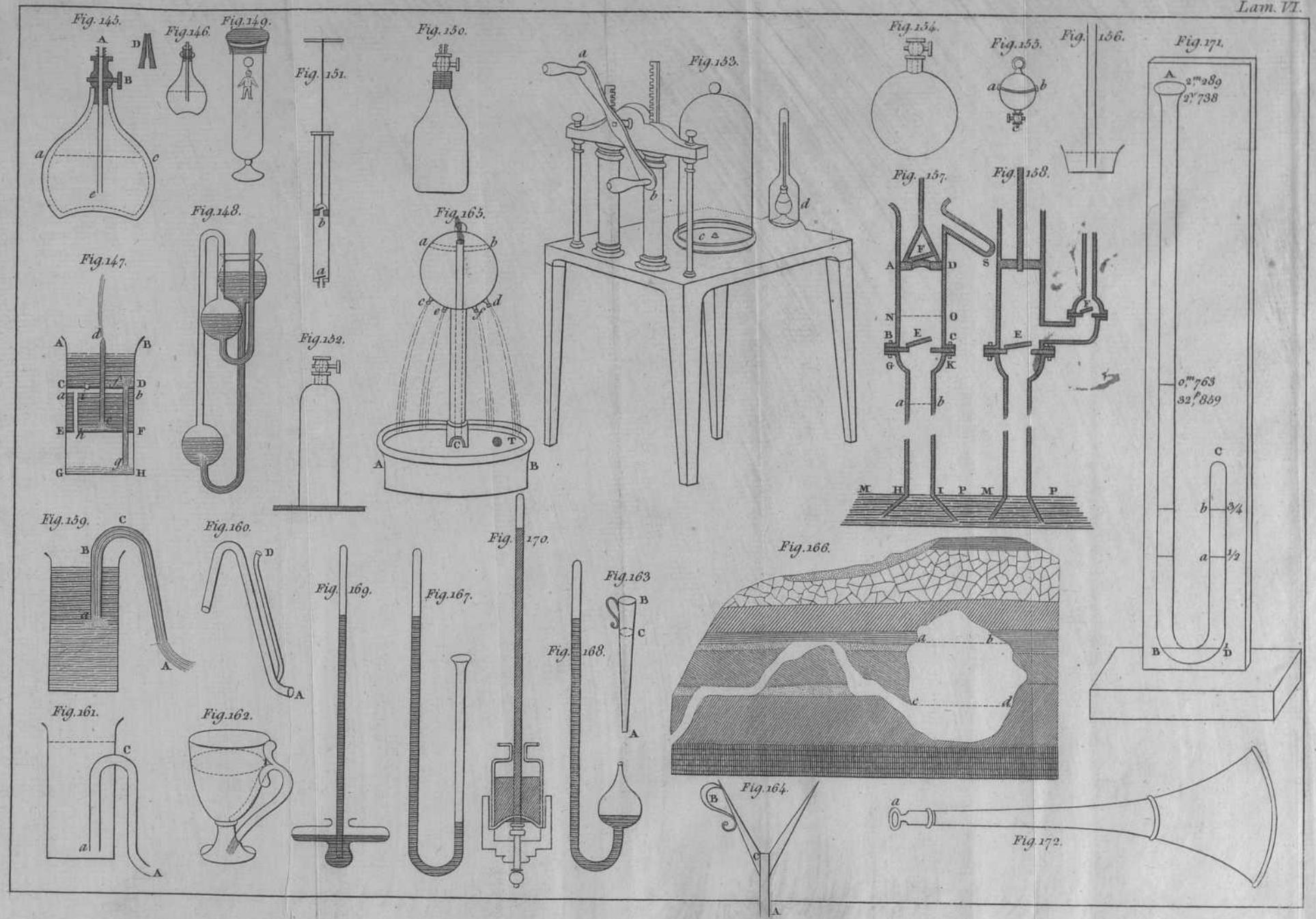


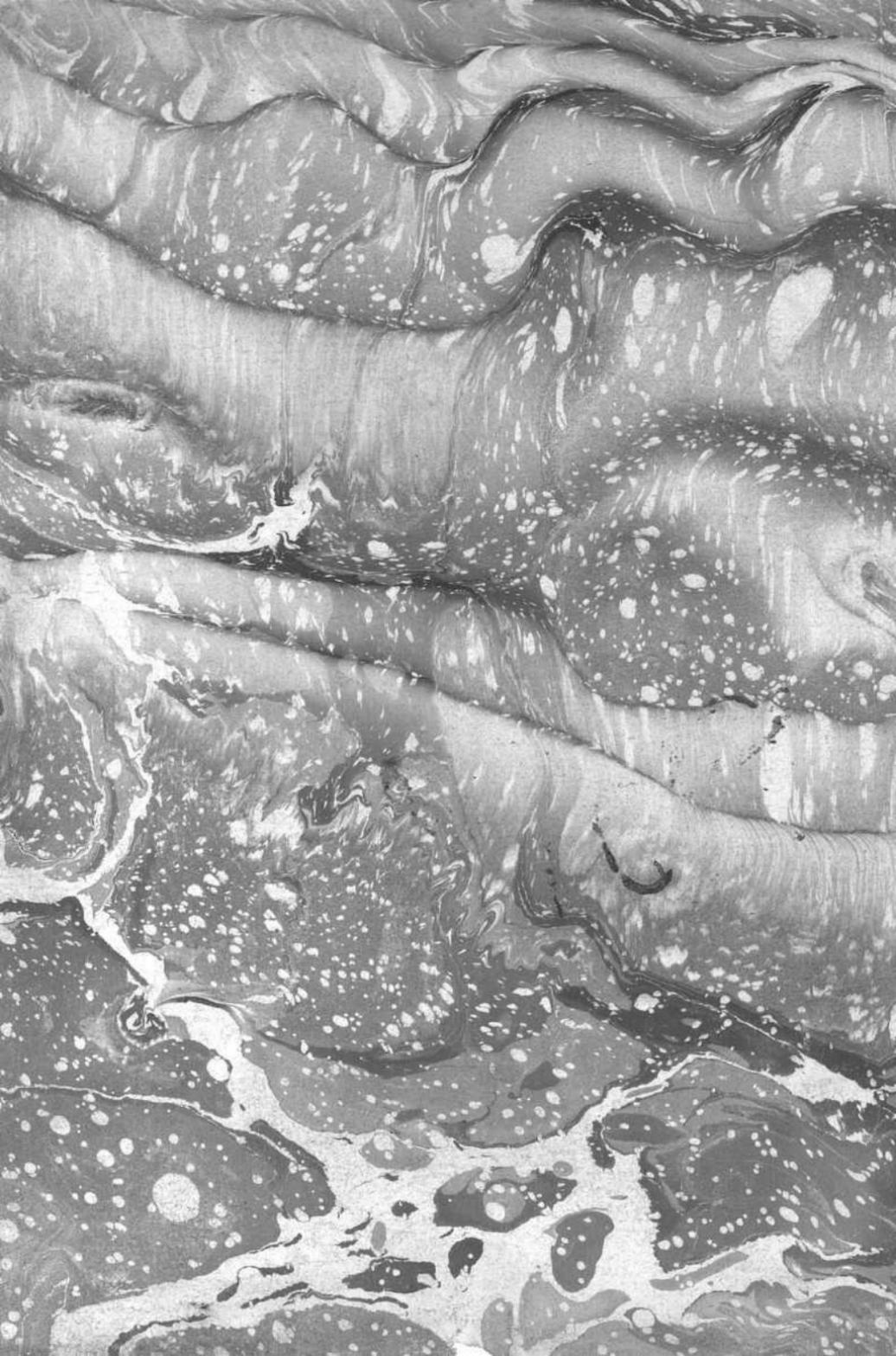




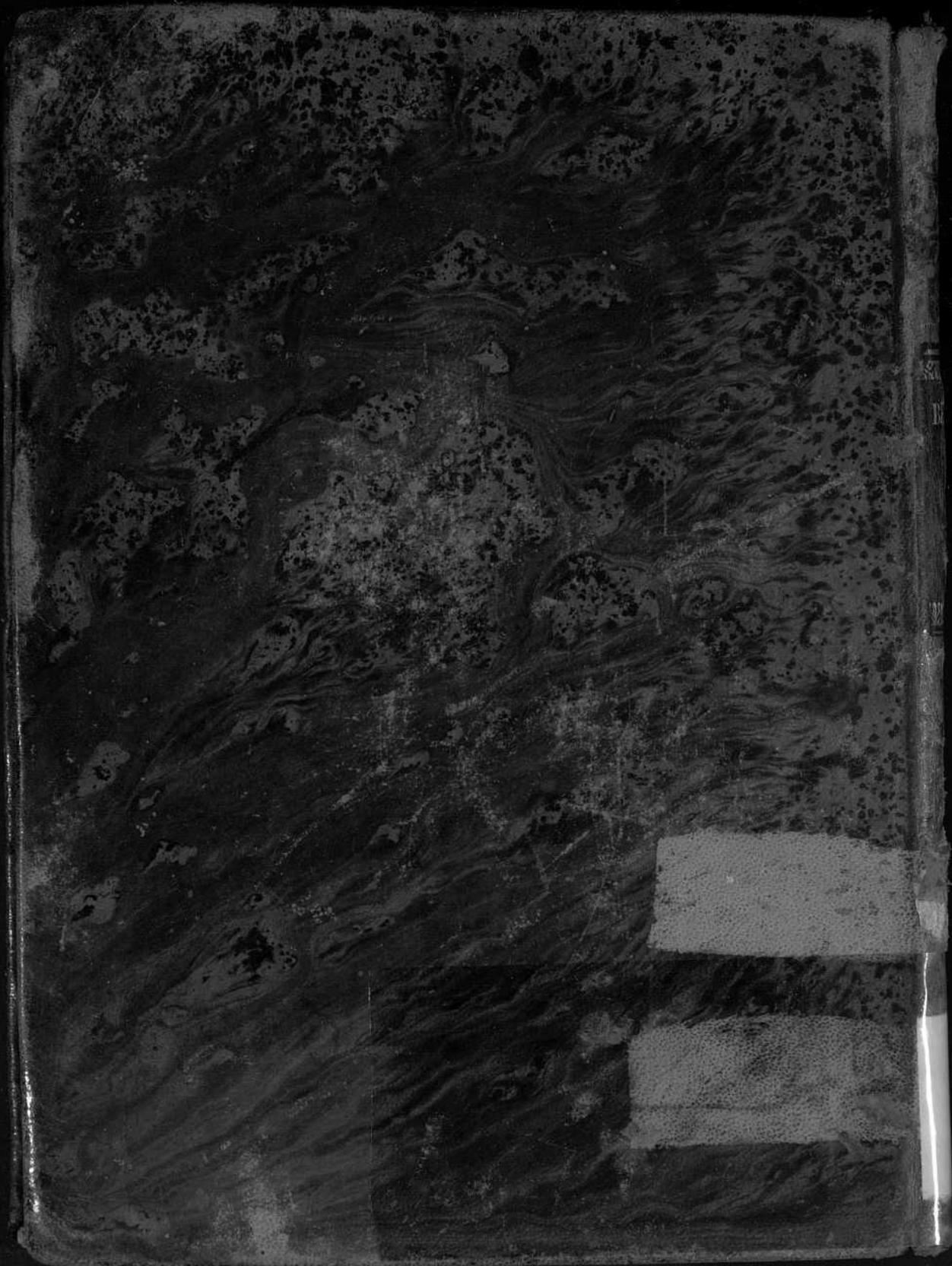












BEUDANT

DE
FÍSICA

1

D-1

1258