

G. Prades.

MUSICA

1885

GAVIRIA

VALLADOLID

G 43483

DG
A

Mr. Fernando Sender

+ 170826

CB 1221686

COMPENDIO DE FÍSICA ELEMENTAL.

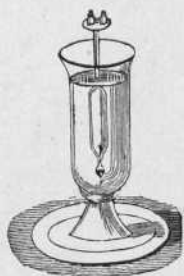
UNIVERSITY OF CHICAGO

COMPENDIO
DE
FÍSICA ELEMENTAL

POR

Don Luis Gonzalez Frades,

DOCTOR EN CIENCIAS, CATEDRÁTICO POR OPOSICIÓN DE FÍSICA Y QUÍMICA DEL INSTITUTO DE OVIEDO,
COMENDADOR DE LA REAL Y DISTINGUIDA ORDEN DE ISABEL LA CATÓLICA,



VALLADOLID:

Imprenta, Heliografía, Foto-grabado y Librería

DE LUIS N. DE GAVIRIA,

IMPRESOR DEL ILUSTRE COLEGIO DE ABOGADOS,
Angustias 1 y San Blas 7.

1885



R. 136111

PRÓLOGO.

CUANDO en 1880 publiqué mi PRONTUARIO DE FÍSICA Y QUÍMICA, decía lo siguiente:

«Sintetizar las principales teorías de la Física y de la Química, y reducir al menor número posible de páginas la contestación á las diferentes preguntas del *Programa* de esta asignatura con el carácter que imprime la enseñanza secundaria, ha sido el objeto que me ha impulsado á la publicación del presente PRONTUARIO.— Convencido, por otra parte, de las dificultades que se presentan á todo aquel que se propone escribir un tratado completo elemental de estas ciencias, teniendo muy en cuenta el período tan crítico de organización en que se hallan, conceptué siempre esta empresa muy superior á mis fuerzas —Tan sólo aspiro á suministrar á los alumnos, que concurren á nuestras clases, un librito en donde tengan condensadas las conferencias del curso en el mismo orden con que han sido expuestas.

La atención que presten los mismos jóvenes á los experimentos comprobantes, servirá de complemento al estudio de una ciencia que, como la que es objeto de la

presente obra, encierra una gran importancia y suministra, al propio tiempo, elementos imprescindibles de vida á los pueblos civilizados.»

Justifican estas ideas los frutos alcanzados en la enseñanza y, teniendo presente el carácter que revelan los estudios propios de nuestros Institutos, no he titubeado un momento en presentar este COMPENDIO DE FÍSICA ELEMENTAL con las mismas condiciones científicas que la anterior publicación.

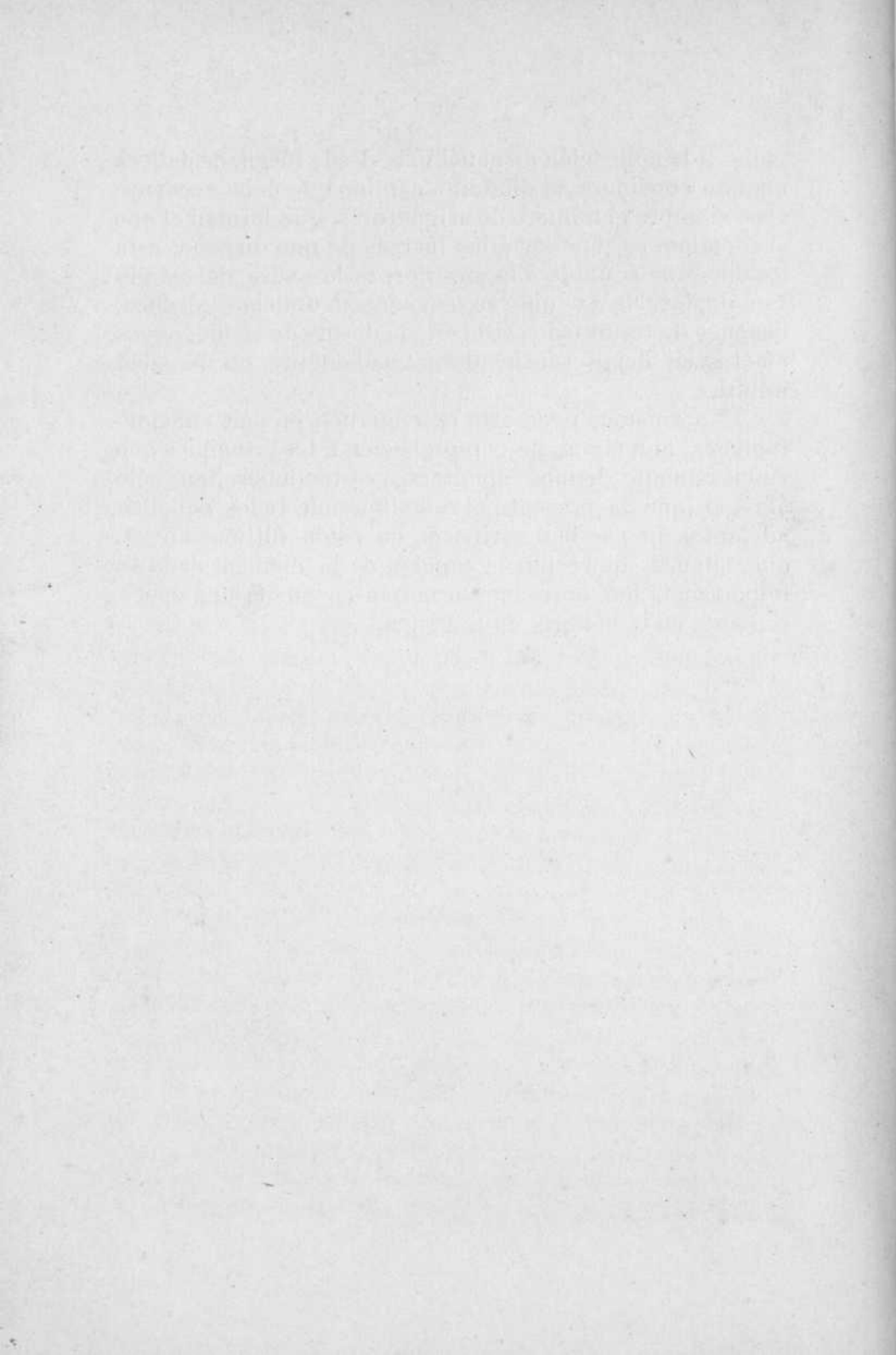
Efectivamente, si la Segunda Enseñanza se propone, como principal objeto, según nuestra humilde opinión, propagar aquel orden de conocimientos que el hombre necesita en sus múltiples relaciones sociales y que forman los elementos de toda cultura general, desde luego se comprende que las ciencias, objeto de su estudio, no han de presentarse con aquella extensión y detalles propios de otra categoría educativa. Los reglamentos vigentes en nuestro país y que, dicho sea de paso, reclaman una trascendental reforma, apoyan este principio.

Hay más: ¿es posible exigir á un joven de 14 ó 15 años el dominio completo de conocimientos tan heterogéneos, pero no por esto menos dificultosos, como son los comprendidos en la Literatura, Filosofía, Historia y Geografía, Matemáticas y Ciencias naturales, no olvidando otros ramos del saber, que forman el cuadro de nuestra enseñanza?

De aquí se deduce la necesidad de utilizar para la consecución de los verdaderos y útiles fines, libros que comprendan el desarrollo científico en armonía con el carácter de este orden de educación, huyendo de muchos detalles que, en su día, serán buenos para estudios superiores y que, dada la relación existente entre todas las ciencias, no es posible comprender debidamente sin conocimientos previos. Además, los efectos que produce en el ánimo del alumno una obra voluminosa, que ostenta todo el aparato científico y que, además, debe ser ampliada con las explicaciones del Profesor, son siempre perjudi-

ciales á la aplicación de aquél que, desde luego, desfallece cuando considera el dilatado camino que debe recorrer. Casi siempre el número de asignaturas, que forman el año académico, es superior á las fuerzas de que dispone; esta circunstancia, unida á la anterior, es la causa del estado tan deplorable en que se encuentran muchos jóvenes, después de terminado este período de su educación, cuyos efectos se dejan sentir, desgraciadamente, en la edad adulta.

No creemos necesario extendernos en más consideraciones, que sirvan de comprobación á los principios que sumariamente hemos apuntado, restándonos tan sólo agregar que la presente obra comprende todos aquellos adelantos que se han verificado en estos últimos años y que, además de recibir la sanción de la ciencia, dada la importancia que entrañan, formarán en su día una época brillante en la historia de la Física.



PRELIMINARES.

~~~~~

### I.

#### LA CIENCIA EN GENERAL.

1. **Significación de la palabra CIENCIA:** opiniones de Bory y Kuhne.—La palabra *ciencia* (*scio=saber—conocer*) comprende dos significaciones: 1.<sup>a</sup> conocimiento de las cosas por sus principios y causas; 2.<sup>a</sup> cuerpo de doctrina metódicamente formado y ordenado, constituyendo un ramo del saber.

Es muy común en nuestros tiempos atribuir á la voz *ciencia* conceptos que no gozan tal privilegio y, por más que los sabios rechazan esta costumbre, la práctica se abre paso y con ella aumenta considerablemente el número de errores, que en la mayoría de los casos no reconocen otra causa, sino la mala aplicación que hacemos de las palabras.

La ciencia es necesariamente sólida, real y positiva, es el fruto de la experiencia y nunca progresa sin la verdad. (Bory).

Según Kuhne la ciencia es la investigación de la verdad, de lo eternamente inmutable.

Esta suma de conocimientos expuestos con método y verdad dá lugar al producto del saber intelectual que ha llegado al término de sus trabajos.

2 **Definición universalmente admitida.**—La ciencia es toda serie de verdades dependientes unas de otras y subordinadas á un principio fundamental y eterno.

Este principio debe ser considerado como base segura é invariable de todos los órdenes de verdades.

En la actualidad no han llegado las ciencias á tan fecundo grado de perfección, por cuyo motivo se consideran de dos clases los principios científicos, unos llamados *fundamentales* ó *especiales* para cada ciencia y otros que reciben el calificativo de *formales* por ser comunes á todos.

3. **Distintivos de toda ciencia, según Tait y Giner.**—El carácter distintivo de la ciencia, según Tait, es el continuo desenvolvimiento: á cada resultado logrado directamente lo denomina *progreso científico*.

Asegura Giner que «lo característico de la ciencia es demostrar la verdad del conocimiento. Contiene la ciencia verdad, pero verdad probada, segura y cierta que como tal autenticamente nos consta, pudiendo dar de ella testimonio continuo y sistemático, es decir, que vá confirmándose de grado en grado, sin interrupción, hasta el primer principio de toda prueba, en el cual queda por siempre firme y valedero.»

La certidumbre ó la conciencia de la verdad es otro de los caracteres distintivos de la ciencia, produciendo de este modo la armonía subjetiva de la inteligencia y la realidad objetiva del mundo.

En la ciencia hay que observar como caracteres fundamentales la *unidad* expresada por la definición de su principio base, la *variedad* que comprende la de su objeto y la *armonía* que funda la relación de su desarrollo.

4. **Necesidad de clasificar las ciencias: clasificaciones de Heber-Spencer y Zebrowski.**—Siendo la ciencia el estudio del universo humano, según Clifford comprende el conocimiento de cuanto ha existido, existe, ó puede estar en relación con el hombre; por lo tanto la extensión que abarca el esfuerzo intelectual es inmensa, imposible de dominar y necesaria la ordenación de sus partes separables.

El deseo de saber que nació con el hombre sirvió de fundamento á la necesidad de clasificar aquel cúmulo de ideas almacenado durante el trascurso de los siglos.

Es muy común comparar la ciencia humana á un gran árbol cuyas frondosas ramas se subdividen estremadamente, de tal modo que las últimas partes son susceptibles de formar nuevos individuos que adquieren poco á poco las propiedades del germen primitivo.

Muchas son las clasificaciones de las ciencias desde los trabajos de Sócrates hasta nuestros días: entre estas merecen conocerse las de Heber-Spencer y Zebrowski. El primero de estos filósofos agrupa las ciencias del modo siguiente:

|                               |                                                                     |                               |                |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|
| La ciencia puede dividirse en | { La que trata de las formas con las cuales aparecen los fenómenos. | Ciencias abstractas.          | { Lógica.      |
|                               |                                                                     |                               | { Matemáticas. |
|                               | { La que trata de los mismos fenómenos estudiados.                  | Ciencias abstracto-concretas. | { Mecánica.    |
|                               |                                                                     |                               | { Física.      |
|                               |                                                                     |                               | { Química.     |
|                               |                                                                     |                               | { Astronomía.  |
|                               |                                                                     | Ciencias concretas.           | { Teología.    |
|                               |                                                                     |                               | { Biología.    |
|                               |                                                                     |                               | { Psicología.  |
|                               |                                                                     |                               | { Sociología.  |

Zebrowski con su denominada *Arquitectónica universal* clasifica



las ciencias, estableciendo una armónica relación entre el origen y lugar gerárquico de todas las realidades y las leyes á que obedecen las cosas efectivas.

| SER.                                                |                                        | SABER.                                                                   |                            |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| CONSTITUYENDO EL CONJUNTO DE<br>LAS COSAS EFECTIVAS |                                        | DANDO Á CONOCER LAS LEYES SOBRE LA<br>EXISTENCIA DE LAS COSAS EFECTIVAS. |                            |
| ~~~~~                                               |                                        |                                                                          |                            |
| Realidades absolutas.                               | Existencia de las realidades.          | Saber.<br>Ser.                                                           | Filosofía.<br>Metafísica.  |
|                                                     | Modos con que aparecen las realidades. | Corporalidad.<br>Espiritualidad.                                         | Matemáticas.<br>Estética.  |
| Realidades creadas.                                 | Manera de ser corporal.                | Cuerpos inanimados.<br>Seres vivientes.                                  | Cosmología.<br>Biología.   |
|                                                     | Manera de ser espiritual.              | Personalidad del (yo).<br>Potencialidad del (yo).                        | Psicología.<br>Sociología. |
|                                                     |                                        |                                                                          |                            |

} Ciencias  
autológicas  
} Ciencias  
especulativas.  
} Ciencias  
autogénicas

} Ciencias  
físicas.  
} Ciencias  
empíricas.  
} Ciencias  
mentales.

Las llamadas ciencias *especulativas* se refieren á cosas efectivas ó absolutas y las *empíricas* á las *creadas*. Las ciencias *autológicas* forman el estudio de las leyes primarias y las *autogénicas* la forma y el contenido de las cosas reales y efectivas.—Las *físicas* se hacen cargo de la manera del sér corporal y las *mentales* de las cosas espirituales.

NOTA. Los anteriores conceptos proceden en su mayor parte del *Cronicón científico* de E. Huelin, obra notabilísima que no debe desconocer ningún amante de las ciencias, pues en ella se indica con extraordinaria erudición, cuantos progresos han visto los tiempos presentes, en todos los ramos del saber.

## II.

### CIENCIAS COSMOLÓGICAS É IDEAS FUNDAMENTALES.

5. **Ciencias cosmológicas en general.** El *Cosmos* de los griegos ó el *mundus* de los latinos explicaba en la antigüedad armonía, belleza, ornamento, hoy nos referimos frecuentemente á la impresión que en nosotros produce el sorprendente espectáculo del Universo en sus diversas manifestaciones. El hombre procura conocer estas, y entonces, engendra las ciencias *cosmológicas*, llamadas también *naturales* cuando aplicamos la voz *Naturaleza* como representante del conjunto armónico que ofrece á nuestra vista el Universo.

Las ciencias cosmológicas proceden de la observación; sus verdades son dependientes de los objetos á que se refieren; estudian los hechos, pero no les definen, las verdades alcanzadas no llegan á una certeza absoluta y por último están sujetas á la ley del progreso, porque representan el trabajo sucesivo de las generaciones.

El vasto campo que comprenden estas ciencias ha sido causa de que con el trascurso de los tiempos haya tomado una extensión considerable y con el objeto de llegar al fin apetecido, fué necesaria la división para establecer un sólido método que facilitase el conocimiento de las verdades alcanzadas predisponiéndolas despues con facilidad á ulteriores progresos. Las partes obtenidas como resultado de la division dieron origen á ciencias independientes, apesar de conservar la relación de origen.

Se convino en agrupar aquellos conocimientos que se relacionaban con los cuerpos de la Naturaleza y existían separados de nosotros como los llamados celestes, examinando las leyes que presiden en sus movimientos para originar la denominada *Astronomía*. Hecha esta exclusión se reunieron los conocimientos de carácter descriptivo referentes á cuantos objetos se hallaban en el interior ó en la superficie de nuestro planeta formando la *Historia Natural* subdividida en las secciones de *Mineralogía* y *Geología* para el estudio de los seres inertes en pequeñas ó grandes masas, *Zoología* destinada al estudio de los seres animados ó poseedores de vida, es decir, los animales, y la *Botánica* que comprenden esta misma cuestión en los vegetales. Faltaba aun reunir aquellas verdades relacionadas entre los hechos observados en nuestro planeta y los demás, de carácter general y filosófico, y en efecto se formaron las ciencias *Físico-Químicas* que entrañan desde luego el verdadero concepto de la *Filosofía natural* en todas sus manifestaciones.

Inclúyense también en este grupo de conocimientos otras ciencias especiales como la Geografía, la Medicina, Farmacia, Agricultura etc. y algunas más de carácter de aplicación.

6. **Naturaleza.** Sinónima esta palabra de *Cosmos* expresa frecuentemente el conjunto de las cosas, y de los seres, de los hechos que nos ofrece el universo entero y de sus leyes reguladoras.

Schelling dice: «La naturaleza no es una masa inerte; para el que sabe comprender su sublime grandeza es la fuerza creadora del Universo, fuerza siempre eficiente, primitiva, eterna, que engendra en su propio seno todo cuanto existe, perece y renace alternativamente.»

La voz *Naturaleza* tiene otras acepciones además: unas veces se refiere al Ser Supremo, autor de todo lo creado: otras á la tierra y por último se aplica para dar á conocer las propiedades características de un cuerpo.

7. **Espacio y tiempo: materia y fuerzas:** Todo lo que es objeto de observación en el Universo ocupa un *lugar* ó *parte* del mismo, comprende un carácter de *sucesión* ó de continuidad en su producción; afecta á nuestros medios de conocer, es un *algo* como nosotros y es el resultado ó efecto, dadas las variaciones que este constantemente sufre, que revela la existencia de ciertas *causas*. Estas causas, lo que nos afecta, la sucesión y lugar á que nos referimos ó encontramos en la naturaleza expresan cada una de por sí las nociones de *fuerzas, materia, tiempo y espacio*.

Sí, todo lo que existe en el Universo ocupa un lugar determinado y aquel es infinito, pues el hombre no encuentra sus límites, también el lugar á que aludimos es infinito. La llamada en Geometría extensión considerada infinita, en cuanto se refiere á las dimensiones, forma el *espacio*—Respecto al carácter de sucesión ó continuidad en su producción que revelan los hechos naturales para engendrar la noción del *tiempo* encontramos infinidad de ejemplos como puede observarse en los movimientos de los astros en general, la formación de las estaciones, de los días, el flujo y reflujo de mar etc.—Lo que afecta á nuestros medios de conocer determina la existencia de una entidad que ocupa el espacio, con el que no se confunde y que existe allí donde el espacio se manifiesta: esta es la *materia*.

Admitida la existencia de la materia al tomar parte en los hechos todos del Universo se hace preciso admitir una causa, ó serie de causas que expliquen las continuadas trasformaciones en ella observadas, dando lugar á las *fuerzas*.

La idea de materia incluye la de fuerza y ambas la de espacio y tiempo en todos los hechos naturales.

8. **Fenómeno físico, ley y teoría.**—Toda modificación observada en la materia sin alterar la composición es un fenómeno físico: por ejemplo, la producción de un *sonido*, el movimiento de *agua*, el enrojecimiento del *hierro por el calor*, la imanación de hierro ó del acero.

En el lenguaje vulgar con la palabra fenómeno representamos objetos ó hechos que ofrecen condiciones excepcionales ó extraordinarias; en la ciencia tiene otro significado, es decir, la representación de cualquier hecho observado en la materia.

Los fenómenos físicos se suponen engendrados por las fuerzas físicas, la ciencia tiende á considerar á estas referidas á una sola, mediante la intervención del *éter*, materia utilísima que existe en todas partes universalmente repartida y dotada de un movimiento especial, con el cual se explican hoy todos los fenómenos.

La relación entre un hecho natural y su causa forma la *ley*. El conjunto de leyes que se refieren á un orden de fenómenos relacionados entre sí forma la *teoría*.

Las leyes se expresan en Física de un modo muy concreto y en ocasiones por medio de *fórmulas* cuando en ellas se aprecia la relación matemáticamente. Dar unidad á todas las teorías es el fin supremo á que aspira la ciencia, deduciendo como simples corolarios muchas de las leyes descubiertas.

---

---

---

# INTRODUCCIÓN.

---

---

## LECCIÓN 1.<sup>a</sup>

### DEFINICIÓN DE LA FÍSICA: SU CONCEPTO.

9. Objeto de la Física general.—Una de las ciencias cosmológicas que ofrece más interés su estudio es la Física, que como su mismo nombre lo indica, (*physis-naturaleza*) tiene por objeto el estudio de esta, pero como semejante interpretación se refiere también á todas las otras *ciencias naturales* de aquí la necesidad de referirla á las leyes que rigen las relaciones de los cuerpos y demás mutaciones que estos presentan sin alterar su constitución íntima.

Considerada la Física en sentido más general abraza cuando se refiere á las fuerzas y á la materia y, bajo otro punto de vista más particular, el estudio de los fenómenos que los cuerpos presentan, sin cambiar de composición ó naturaleza.

Algunos fijan el objeto de la Física en el conocimiento de los fenómenos á que dan lugar los agentes y fuerzas naturales y otros al conjunto de los principios generales que rigen la materia.

10. Definición de la Física propiamente tal.—La Física es una ciencia que comprende el estudio de la materia, de la fuerza ó fuerzas naturales y de la acción de éstas sobre aquella, siempre que permanezca inalterable en su composición.

Varios autores aseguran que no es posible definir una ciencia que como la Física es el estudio de las propiedades de los cuerpos y de las acciones que se ejercen á grandes distancias, pues todo esto no es más que la enunciación de un carácter notable como el que pudiera satisfacer completamente á un objeto material, pero nunca cumple las condiciones exigidas por el rigorismo de la Lógica á una verdadera definición.

El distinguido físico alemán Hagenbach define nuestra ciencia diciendo que «explica los fenómenos de la naturaleza inorgánica, siguiendo el enlace de las causas por las cuales aquellos son producidos.»

La materia puede cambiar de composición cuando sufre la acción de las fuerzas físicas, en este caso el fenómeno producido pertenece al dominio de otra ciencia, ó sea á la *Química*. De aquí el carácter diferencial de ambas ciencias.

11. **Concepto que abraza la ciencia.**—La misma definición de la Física expresa los fines hacia los cuales camina la ciencia y determina con mucha precisión los conceptos que envuelve 1.º Estudio de la *materia* por el estado en que se presenta y por las propiedades generales y particulares que nos ofrece. 2.º Conocimiento de la *fuerza* ó *fuerzas naturales*, examinando, no solamente las ideas fundamentales de representación gráfica con sus manifestaciones y las circunstancias especiales de una de ellas, que, como la *Gravedad* goza de una gran generalidad en el Universo, sino también los caracteres esenciales que podemos asignar á todas ellas en el modo de producirse: y 3.º El examen de la *acción de la fuerza sobre la materia* en las tres manifestaciones que nos presentan los fenómenos térmicos, ópticos y eléctricos.

Pueden también figurar con el carácter de *apéndice* los fenómenos meteorológicos, para cuyo estudio se hace preciso la posesión de todos los anteriores conocimientos, formando una ciencia conocida con el nombre de *Meteorología*.

12. **Métodos de estudio.**—Estos, lo mismo que en todas las ciencias, serán de dos clases, unos que se refieren á la organización y constitución de los conocimientos, y otros á su exposición ó propagación. Entre los primeros se citan las fuentes del conocer como son: la *observación* que inspecciona deliberadamente un hecho; el *experimento* que perfecciona la anterior, modificando la apariencia del fenómeno para rectificar el juicio alcanzado; la *hipótesis* que, fundada en ciertos hechos, expone principios y teorías; el *análisis* descomponiendo; la *síntesis* componiendo; el *raciocinio* por medio del *cálculo* matemático da certeza y exactitud á los resultados alcanzados y hasta en ocasiones el *instinto*, la *casualidad*, la *analogía* y la *comparación* han servido de sólidos cimientos, contribuyendo aisladamente, ó en metódica agrupación, al descubrimiento de alguna verdad. Entre los últimos figuran los verdaderamente didácticos que no excluyen el concurso de los anteriores para determinados hechos.

De todas estas partes de conocimiento, el experimento unido al cálculo matemático es, á no dudar, uno de los más importantes, así lo asegura el notable profesor de la Universidad de Cambridge. J. Clerk Maxwell.

---

---

---

# PRIMERA PARTE.—MATERIA.

---

## SECCION PRIMERA.—Antecedentes.

---

### LECCIÓN 2.<sup>a</sup>

#### LOS CUERPOS Y SUS ESTADOS.

13. **Materia y Cuerpo: átomos y moléculas.**—Constitución de la materia.—Todo aquello que afecta á nuestros sentidos es lo que comunmente recibe el nombre de *materia*, todo lo que constituye al cuerpo, aquello que es susceptible de recibir toda clase de formas.

La materia limitada engendra al cuerpo y se supone ser una, que reducida al menor grado posible de representación, ó al límite mínimo de impresión y casi confundida con la nada, se designa con el nombre de *éter* que comprende la perfecta sutileza y que por otra parte existe en la totalidad del espacio.

En el cuerpo se admite la existencia de elementos indivisibles é invisibles que, unidos por la acción de ciertas fuerzas, han recibido el calificativo de *átomos*. Estas partículas infinitamente pequeñas pueden agruparse entre sí y formar las *moléculas*, elementos de los cuerpos que gozan también de estas mismas cualidades. Las fuerzas que operan sobre estos elementos de los cuerpos son las llamadas *atracción* y *repulsión* moleculares que respectivamente mantienen unidos ó con tendencia á la separación los átomos de los cuerpos.

El cuerpo es toda sustancia dotada de propiedades capaces de poderla diferenciar del espacio: es por lo tanto todo aquello que ocupa un lugar en el espacio, imposibilitando al propio tiempo que haga lo propio otra entidad de la misma naturaleza. Asegura Biot que «cuerpo material es todo lo que produce en los

órganos cierto conjunto de sensaciones determinadas.—Bajo este punto de vista se comprende que el éter sea materia al impresionar directamente el sistema nervioso.

La constitución íntima de la materia nos es desconocida en su esencia, ignorando también la forma y tamaño de los átomos y moléculas, la distancia que los separa y las leyes que los rigen. No se sabe tampoco á cuánto asciende su número en un volumen dado. Las modernas teorías admiten un rapidísimo movimiento en los átomos y según las circunstancias en que este se efectúa y la mayor ó menor condensación del *éter*, que engendra á aquellos, así da lugar á la diversidad de la materia que presentan los cuerpos.

Según los estudios de Gaudin la distancia máxima de dos átomos que constituyen una molécula es de una diezmillonésima de milímetro. Por otra parte asegura Dupré que un milésimo de milímetro cúbico de agua contiene doscientas veinte y cinco mil millones de moléculas y Dumas, en sus trabajos sobre los fermentos encontró dos millones, setecientos setenta y dos mil células en un milímetro cúbico de cerveza.

14. Estado de los cuerpos, solidez, liquidez, y gaseidad: caracteres diferenciales.—El estado de los cuerpos no es otra cosa más que la disposición especial que ofrece la materia con relación á las fuerzas moleculares.

Los cuerpos se presentan en tres estados. 1.º El de *solidez* que es aquel que nos ofrecen las piedras, maderas, metales, etc., por el cual su forma es constante y su volumen también, interin no vengan fuerzas extrañas á variarles: se necesita para separar sus partículas una fuerza más ó menos grande, así es que se hallan unidas por cierta adhesión que manifiesta el dominio de la atracción molecular sobre la repulsión. 2.º El de *liquidez* que es aquel que nos presenta el agua, el aceite y otros, por el cual permanece constante su volumen, mientras la forma es dependiente de la que tengan los vasos empleados para contenerles: las moléculas en estos cuerpos ruedan con facilidad las unas sobre las otras y apenas se observa en ellas adhesión alguna, antes por el contrario, pueden ser separadas desde luego, cuya circunstancia explica la igualdad de las fuerzas moleculares en cuanto se relaciona con su modo de obrar. 3.º El de *gaseidad* que se observa en ciertos cuerpos como el aire, el gas del alumbrado y otros varios, en todos los cuales el volumen y la forma son siempre variables, sus moléculas están dotadas de la propiedad de ocupar cada vez espacios mayores separándose las unas de las otras, cuyo hecho justifica el dominio de la repulsión sobre la atracción.

Estos tres estados no son exclusivos para cada cuerpo, así por ejemplo observamos el agua que puede ocupar los tres estados, según las circunstancias que se manifiestan en ella y lo mismo sucede con otros muchos cuerpos.

## SECCIÓN SEGUNDA.—Propiedades generales.

LECCIÓN 3.<sup>a</sup>

## EXTENSIÓN É IMPENETRABILIDAD.

15. **Propiedades generales.**—Con este nombre se designan todos aquellos diferentes signos ó caracteres con que se presentan los cuerpos á nuestros medios de conocer, prescindiendo del estado que afectan.

Se denominan tambien estas propiedades *esenciales*, porque no es posible sin ellas comprender la existencia de los cuerpos. Además de estas se estudian en Física las propiedades *particulares* que se refieren á los cuerpos en su estado molecular. Reciben el nombre de *potencias* atendiendo á su estabilidad y permanencia en los cuerpos como la misma materia.

16. **Extensión: modo de apreciarla: nonius: rosca micrométrica y catetómetro.**—La *extensión* considerada físicamente es la propiedad general que poseen los cuerpos de ocupar un lugar en el espacio.

Si la materia no tuviese extensión se confundiría con el mismo espacio y dejaría por lo tanto de ser materia: admitido el espacio, es forzoso admitir la extensión con materia ó la nada.

El geómetra aprecia toda clase de extensiones, el físico acude á las reglas que aquel le pueda suministrar y con ellas establece ciertos procedimientos para apreciarla reducida á dimensiones muy pequeñas. Estos procedimientos sirven de base á la construcción de varios instrumentos entre los cuales conviene conocer los siguientes:

El *Nonius* es un instrumento destinado á determinar exactamente longitudes: está formado por una pequeña regla de madera ó metal que recorre todo lo largo de otra que contiene las unidades que se utilizan en las medidas lineales, bien sean estas métricas ó antiguas: la reglita movable se halla dividida en tantas partes cuantas sean las unidades inferiores que forman una superior de las trazadas en la regla grande y además tiene una longitud total con respecto á esta, igual á  $n-1$  de las mismas divisiones.

Para apreciar longitudes con este instrumento basta contar las unidades enteras en la regla grande ó fija que ocupa el cuerpo dispuesto de modo que se acomode perfectamente por uno de sus extremos al 0 de las mismas divisiones, correr á continuación del mismo la reglita movable y la parte de esta que coincida con alguna de las de la regla fija expresará la fracción que completa la longitud exacta que tratamos de hallar.

La *Rosca micrométrica* está formada por un tornillo, cuyo filete comprende una medida determinada, por lo tanto al dar una vuelta en la tuerca correspondiente, avanzará una de esas medidas,



de la misma manera que al dar una milésima parte avanzará una milésima de la misma medida, pudiendo por lo tanto apreciar el avance del filete por la vuelta que dé el tornillo.

El *Catétmetro* es una regla metálica dividida en partes iguales y colocada verticalmente en su correspondiente base: un anteojo puede correr á lo largo de la misma acompañado de un nonius que aprecia las partes alcuotas de las divisiones trazadas en la regla, de modo que al dirigir dos visuales á los puntos extremos de la distancia ó altura que se trata de medir ocupará el anteojo dos posiciones diferentes en la regla, cuyos números restados entre sí suministrarán el dato que se trata de apreciar.

17. **Impenetrabilidad: su concepto en la ciencia.**—Esta propiedad se manifiesta por la imposibilidad que tienen dos ó más elementos materiales de ocupar simultáneamente un mismo lugar en el espacio.

Si al admitir la existencia del espacio y la materia fué necesario comprender en ella la extensión, una vez conocida esta, es forzoso también admitir la impenetrabilidad, ó deducir el absurdo de que un mismo lugar esté ocupado en su totalidad por dos cuerpos, confundándose sus materias lo que no puede explicarse no siendo por la absoluta eliminación de las mismas.

La impenetrabilidad se manifiesta en los tres estados de los cuerpos por sencillas experiencias. Entre dos cuerpos sólidos es verdaderamente axiomático que cada uno ocupe su lugar correspondiente en el espacio á no intervenir una completa penetración lo que es imposible. Entre un sólido y un líquido se patentiza por la elevación del nivel ó aparente aumento del volumen que adquiere este, cuando en su interior penetra aquel. Entre un sólido y un gas por el obstáculo que este presenta para reducirse de volumen cuando, hallándose encerrado en una bomba, pugnamos por hacer penetrar á frote fuerte el sólido en el mismo espacio. La impenetrabilidad entre dos líquidos se hace sensible por el volumen que toman después de mezclados y que es siempre igual á la suma de cada uno de ellos. Para evidenciar esta misma propiedad entre un líquido y un gas basta introducir una campana de cristal en una masa de agua y observar que el nivel ocupado por esta ha bajado hasta el sitio donde descendió la campana por impedir la elevación el aire que ocupaba el interior de la misma, en el cual puede arder una cerilla encendida que previamente se hubiera colocado flotante en el líquido. Por último, trasvasando ácido carbónico y aire entre dos campanas de cristal ó iguales se comprueba la impenetrabilidad entre dos gases.

18. **Aplicaciones importantes deducidas de esta propiedad.**—Muchas son las aplicaciones que pudieran citarse dependientes de esta propiedad, entre ellas merecen darse á conocer algunas de las que se refieren á los trabajos submarinos. Hoy puede penetrar impunemente el hombre en el fondo de los mares para examinar cuantos objetos allí existen y merezcan conocerse.

Para conseguirlo se hace uso de grandes campanas de hierro, en donde el buzo (nombre que toma el hombre encargado de hacer el descenso) se coloca, respirando el aire encerrado en este gran receptáculo: la luz penetra por ventanas recubiertas en estos aparatos con fuertes cristales: un mecanismo especial se utiliza para hacer descender las campanas al fondo de las aguas por medio de robustos cables. Otras veces el hombre recubre su cuerpo con vestido impermeable y la cabeza con una gran celada denominada *escafandra* que en la parte anterior está formada por cristal de roca. La renovación del aire de la campana ó de la es-

cafandra para los efectos de la respiración se efectúa por medio de tubos que comunican al exterior en la cubierta de las embarcaciones destinadas á esta clase de trabajos.

## LECCIÓN 4.<sup>a</sup>

### POROSIDAD Y COMPRESIBILIDAD.

19. Porosidad: poros: sus clases: como se manifiesta en los estados de los cuerpos.—La porosidad es otra de las propiedades generales que nos manifiestan los cuerpos, por la cual la materia que les constituye no ofrece continuidad. Los espacios no ocupados por la materia y existentes en el mismo cuerpo reciben el nombre de *poros*.

Los poros son de dos clases, físicos y sensibles; los primeros se llaman así, porque comprendemos ineludiblemente su existencia al comprender la de la porosidad; no se aprecian por los sentidos, pues si esto se consiguiese, también podríamos apreciar la forma de los elementos materiales. Los llamados sensibles, son espacios ocupados por otra materia diferente de la que constituye el mismo cuerpo y estos desde luego los podemos apreciar directamente con la vista ó en su defecto con aparatos ópticos.

La porosidad manifiesta su existencia en los cuerpos, sea cualquiera el estado en que se presenten, sin más que tener presente la propiedad que absolutamente poseen de reducirse de volumen cuando se hallan sometidos á presiones considerables.

20. Volumen real y aparente.—La porosidad determina estos dos volúmenes en los cuerpos: en efecto, si suponemos colocados los elementos materiales en completa y total superposición, admitiendo la desaparición de los poros, el espacio ocupado por el cuerpo en este supuesto será el *volumen real*; pero si apreciamos este volumen incluyendo el espacio correspondiente á sus poros, obtendremos un volumen mayor que el real y es el que en Física se denomina *aparente*.

21. Notables experimentos.—1.º Para comprobar la porosidad de los sólidos se pueden verificar dos experimentos uno de ellos es conocido con el nombre de *lluvia de Plata* y se realiza haciendo uso de un tubo de cristal provisto en sus extremos de dos armaduras metálicas, la superior en forma de vaso con un fondo constituido por una materia porosa, como por ejemplo la madera cortada transversalmente y la inferior dispuesta en llave para poderla atornillar á la máquina neumática para enrarecer notablemente el aire del interior del mismo tubo. Si echamos mercurio en el vaso de la parte superior, después que ha funcionado la referida máquina, se observa la caída en el interior del tubo de este líquido metálico en forma de gotas diminutas que han atravesado el espesor del fondo correspondiente al vaso superior. 2.º Los Académicos de Florencia al tratar de comprimir el agua comprobaron la porosidad de los metales: hicieron uso de una esfera de oro en cuyo in-

terior colocaron agua, sometida esta esfera á la acción de fuertes martillazos, notaron que su superficie se cubría de infinidad de gotitas líquidas que formaban una especie de rocío que no era más, sino la salida del agua por los poros del metal.

Daquin manifiesta la porosidad en los líquidos introduciendo agua en un frasco, vertiendo encima alcohol por medio de un embudo estrecho y de punta curva que impide la mezcla de ambos líquidos y cuando el frasco está lleno de este último, se cubre con un tapón atravesado por un tubo de cristal, por donde se eleva el alcohol hasta cierta altura: agitando despues los líquidos se produce la mezcla y la altura que tiene aquel líquido en el tubo se hace menor debido á la penetración aparente de ambos líquidos.

## 22. Compresibilidad en los diversos estados de los cuerpos.

—La compresibilidad es otra de las propiedades generales de la materia por la cual puede disminuir de volumen cuando se la sujeta á presiones más ó ménos considerables.

La compresibilidad es una consecuencia inmediata de la porosidad.

Esta propiedad varía mucho de unos cuerpos á otros: los gases son los más compresibles, toda vez que pueden reducir su volumen por la influencia de la presión hasta la décima, vigésima ó centésima parte, pero siempre encuentra un límite, pasado el cual se transforman en líquido.—Los sólidos son menos compresibles, pues afectan la reducción de tamaño en muy diferentes grados.—Respecto á los líquidos la compresibilidad es muy pequeña y cuesta trabajo ponerla de manifiesto.

## 23. Aplicaciones de estas propiedades.

—Muchas y muy importantes son las aplicaciones que podrian darse á conocer de estas dos propiedades. Entre ellas las que se refieren á la porosidad figuran la construcción de los filtros, que son todos aquellos aparatos que tienen por objeto hacer pasar los líquidos al través de cuerpos muy porosos con el fin de quedar en ellos aquellas materias que alteran su transparencia ó que les impurifican.

Estos filtros son de tres clases, de pequeña, mediana y gran escala: los primeros llamados de Laboratorio les forma el papel: los segundos son los destinados á la filtración del agua de las fuentes y en gran escala formando edificaciones especiales, en las cuales por medio de la arena, carbón ú otras materias se consigue la purificación de las aguas de los ríos para hacerlos útiles en el abastecimiento de las grandes poblaciones.

La acuñación de las monedas y medallas forma una de las aplicaciones de la compresibilidad de los sólidos.

## LECCIÓN 5.<sup>a</sup>

ELASTICIDAD.—DIVISIBILIDAD.—MOVILIDAD É INERCIA.

## 24. Elasticidad: observación.

—La vuelta de los cuerpos comprimidos al volumen primitivo en el momento que cesa la acción comprimente determina la propiedad general llamada *elasticidad*.

Los sólidos presentan caracteres propios bajo el punto de vista de su elasticidad y su estudio determina la elasticidad particular. De todos modos podemos considerar esta propiedad como consecuencia necesaria de la compresibilidad.

25. **Divisibilidad: ejemplos notables que nos presentan la Naturaleza y las artes.**—Con el nombre de *divisibilidad* se designa aquella propiedad general de la materia, por la cual puede fraccionarse en partes.

Los cuerpos gaseosos no presentan ninguna resistencia á la separación de sus partículas, antes por el contrario, tienden naturalmente á la subdivisión, los líquidos, si bien ofrecen alguna resistencia, esta es insignificante y los sólidos, algunos, presentan obstáculos más ó menos considerables. Como los medios materiales la división tiene su límite pasado el cual no es posible llegar mas allá, sin embargo la imaginación comprende una subdivisión en partes mucho más pequeñas hasta el infinito, encontrando aislados ó separados los elementos materiales.

La Naturaleza nos presenta ejemplos notables de divisibilidad, entre otros los siguientes: todas las sustancias olorosas, el tamaño de los órganos de los infusorios, el filamento del tejido que elabora la araña, que pesa un grano 400 metros.—Entre los ejemplos de divisibilidad artificial podemos citar los siguientes: una pulgada de galón de oro no pesa mas que  $\frac{1}{72000}$  grano, la cantidad de este metal que contiene; el cristal hilado y por último los procedimientos químicos permiten llevar la divisibilidad de la materia á partes verdaderamente infinitesimales.

26. **Movilidad: movimiento y reposo.**—Todos los cuerpos, sea cualquiera el estado que afecten, pueden cambiar de posición ó variar de lugar, siempre que sobre ellos operen ciertas fuerzas, cuya propiedad recibe el nombre de *Movilidad*.—El resultado de la movilidad es el *movimiento*, verdadera traslación del cuerpo desde un sitio á otro. La carencia de movilidad, en el supuesto de que esta pudiera comprenderse, determina un estado opuesto al movimiento, conocido dicho estado con el nombre de *reposo*.

El movimiento y el reposo pueden ser considerados de una manera absoluta ó relativa. El movimiento absoluto sería aquel que presentase un cuerpo que en su traslación guardase relaciones invariables con un punto completamente inmóvil, pero como este no existe materialmente, todos los demás movimientos son relativos. El reposo absoluto estaría caracterizado en un punto incapaz de cambiar de posición en ningún concepto; el reposo relativo es el que apreciamos en los cuerpos que permanecen fijos con respecto á los cuerpos que le rodean, pero que en realidad se mueve con ellos. No es posible comprender en la naturaleza el movimiento y el reposo absoluto.

27. **Inercia: aplicaciones.**—Aquella ineptitud que nos presenta la materia para pasar por sí misma del reposo al movimiento ó vice-versa da lugar á la propiedad negativa conocida con el nombre de Inercia.

En la ciencia tiene dos acepciones esta palabra, representante de propiedad y de fuerza: bajo el primer concepto se formula la inercia, diciendo: que no puede verificarse un cambio en cualquiera condición de un cuerpo sin que haya una causa: como fuerza se resumen sus manifestaciones en la siguiente ley: dos cuerpos en reposo continuarán en él, interin no haya una causa que les ponga en movimiento.

dos cuerpos en movimiento continuarán moviéndose siempre que no haya una causa que los detenga.

Pueden explicarse por la Inercia muchos fenómenos por vía de aplicación: en efecto, los volantes de las máquinas y las ruedas los carruajes cuando giran por la acción de un impulso cuesta trabajo detenerlos de repente, los choques más ó ménos fuertes de los trenes en los descarrilamientos, así como los esfuerzos musculares que realizan los seres animados al tratar de saltar, son verdaderas aplicaciones de la inercia.

## SECCION TERCERA.—Propiedades particulares.

### LECCIÓN 6.<sup>a</sup>

#### EXTRUCTURA: DUREZA.—MALEABILIDAD Y DUCTILIDAD.

28. **Extructura: regular ó irregular.**—**Fractura.**—Una de las propiedades particulares estudiada en los sólidos es la *extructura*, es decir, la disposición particular que presentan los cuerpos en el interior de su masa: esta disposición puede ser *regular*, cuando la agrupación molecular es tal, que despues de rotos aparecen todos los fragmentos de la misma forma: por el contrario es *irregular* cuando no cumplen esta circunstancia.

Los cuerpos de extructura regular son conocidos en la Mineralogía con el nombre de *crisales*. Los cuerpos de extructura irregular ofrecen variaciones especiales en su disposición molecular que dá lugar á los nombres con que se conoce la extructura escamosa, fibrosa, granular y compacta por los objetos á quienes imita.

La Fractura representa modificaciones propias de la extructura compacta, es decir, de aquella que ofrece una disposición molecular uniforme.

29. **Dureza: su apreciación.**—Los cuerpos presentan una resistencia más ó menos grande á dejarse rayar ó ser rayados por otros, lo cual determina la propiedad particular llamada *dureza*. Se aprecia la dureza por el procedimiento mineralógico, es decir, formando una escala con diez cuerpos sólidos que sensiblemente presentan una graduación de dureza y, según que el cuerpo sea rayado ó raye á cualquiera de los de la escala, así toma el número que corresponde.

Esta propiedad se aprecia siempre de un modo relativo, porque un cuerpo duro con relación á una sustancia, es blando con respecto á otra. Las aleaciones dan lugar á cuerpos mucho mas duros que los cuerpos empleados en la mezcla que forman.

30. **Maleabilidad y ductilidad: experimento de Wollaston.**—La maleabilidad es la propiedad particular que poseen ciertos cuerpos de presentar una disposición molecular tal, que pueden extenderse en láminas más ó menos delgadas.

La ductilidad es otra propiedad particular que presentan también ciertos cuerpos de estirarse en hilos de secciones pequeñas.

La acción del martillo, de la hilera y del calor facilita el desenvolvimiento de estas propiedades. El metal más maleable es el plomo y el más dúctil el oro.

Wollaston reveló la ductilidad del platino de un modo muy perfecto: utilizó hilos de esta sustancia, cuyo diámetro era de  $\frac{1}{1200}$  de milímetro; y 1000 metros pesaban solamente 5 centigramos: consiguió este resultado disponiendo el platino en hilos de  $\frac{1}{4}$  de milímetro, cubierto con plata en cantidad suficiente para formar otro nuevo alambre de 5 milímetros de sección, el cual sometía á la acción del laminador, procediendo después á la separación de la plata, hirviendo el alambre formado en ácido nítrico, quedando aislado de este modo el hilo de platino en las condiciones expresadas.

31. **Aplicaciones interesantes.**—Las Ciencias y las Artes utilizan frecuentemente el conocimiento de estas propiedades. La Mineralogía en muchos casos consigue distinguir unos minerales de otros simplemente por su estructura: la forma cristalina que determina establece signos muy característicos de los cuerpos que estudia aquella ciencia y goza de este mismo carácter la *dureza* aprovechándose además esta en las artes para pulimentar los cuerpos. Respecto á la maleabilidad y ductilidad las artes y la industria sacan importantes aplicaciones como lo revelan las planchas de hierro, zinc, plomo, hoja de lata en las construcciones y la variada colección de alambres de hierro y cobre en gran escala y de oro y plata en multitud de artefactos.

## LECCIÓN 7.<sup>a</sup>

### ELASTICIDAD DE LOS SÓLIDOS.—TENACIDAD.

32. **Elasticidad de tracción: leyes: aparato Savart.**—La elasticidad de tracción la presentan también los cuerpos filiformes que aumentan de longitud cuando suspenden pesos mas ó menos grandes. Las leyes que detallan esta propiedad son las siguientes: 1.<sup>a</sup> *Para una misma sustancia y diámetro el aumento en longitud es siempre proporcional á la fuerza de tracción y á la longitud:* 2.<sup>a</sup> *A igualdad de longitud y de materia el aumento está en razón inversa del cuadrado de la sección.* Estas leyes se comprueban con el aparato Savart formado por un soporte de madera que tiene fija una pñza destinada á sostener el hilo sobre el cual se experimenta y que á su vez deja pendiente en el otro extremo un platillo de balanza para colocar los pesos: un catetómetro puede medir con exactitud los aumentos de longitudes.

Wertheim demostró que la elasticidad de los metales disminuye al pasar por la temperatura de 15 á 200 grados, exceptuándose el hierro y el acero cuya elasticidad aumenta hasta los 100 grados y luego disminuye rápidamente.

33. **Elasticidad por flexión.**—La elasticidad por flexión la manifiestan aquellos sólidos tallados en láminas delgadas cuando, hallándose fijos por uno de sus extremos, recobran su forma primitiva después que cesa de actuar la causa que les había deformado. *Esta elasticidad aumenta con el batido y con el temple, pero disminuye con el recocido.*

El batido es una operación mecánica por la cual se consigue la aproximación de las partículas materiales en frío por medio del martillo ó del laminador. El temple exige calentar el cuerpo á una temperatura muy elevada y enfriarle después repentinamente en el agua ó aceite.—Por el recocido se eleva la temperatura de los cuerpos no tanto como para templarlos, y dejándolos enfriar después lentamente.

34. **Elasticidad de torsión.**—La elasticidad de torsión la presentan aquellos cuerpos dispuestos en alambre delgado, que, hallándose fijos por un extremo, son retorcidos por el otro cambiando su forma rectilínea en espiral ó vice-versa. Esta propiedad ha sido estudiada por el físico Coulomb, haciendo uso de un aparato llamado *balanza de torsión* con el cual ha podido comprobar entre otros principios los dos siguientes: 1.º *En un mismo hilo el ángulo de torsión es proporcional á la fuerza de torsión.* 2.º *A igualdad de fuerza de torsión y sección en los hilos, el ángulo de torsión es proporcional á la longitud de los mismos hilos.*

35. **Tenacidad: su ley.**—La tenacidad es una propiedad particular que se manifiesta en los sólidos por la resistencia que oponen á romperse.

Se aprecia esta propiedad, disponiendo los cuerpos en forma de barras cilíndricas ó prismáticas, y sometiénolas á tracciones conocidas hasta conseguir la ruptura y los kilogramos empleados representan el valor de la tenacidad. La forma, la sección, la cantidad de materia y la dirección influyen notablemente en los resultados de la tenacidad.

*El peso ó carga que determina la ruptura es directamente proporcional á la sección trasversal de los hilos ó de los prismas é independiente de su longitud.* Esta es la ley de la tenacidad.

Existen cuadros que expresan el número de kilogramos que producen la ruptura de diferentes hilos de una sección conocida y que ordinariamente es el milímetro cuadrado.

36. **Aplicaciones.**—Muchas son estas aplicaciones: los arcos, ballestas de los carruajes, muelles en sus diferentes clases, condiciones y usos deducidos del estudio de la elasticidad y la tenacidad suministra datos para el cálculo de la resistencia que oponen los materiales empleados en toda clase de construcciones.

LECCIÓN 8.<sup>a</sup>

## PROPIEDADES PARTICULARES DE LOS FLUIDOS.

37. **Compresibilidad de los líquidos: Piezómetro Csted.**—La reducción de volumen que adquieren los líquidos por la influencia de la presión, es siempre la misma para cada cuerpo y puede ésta determinarse mediante el uso del piezómetro Csted. Este aparato le forma un tubo de cristal provisto en su parte inferior de una sólida base de metal y en la parte superior de un pistón: puede llenarse de agua y en su interior se coloca un pequeño recipiente de cristal con cuello largo y estrecho dividido en partes iguales y lleno del líquido que se trata de comprimir: para esto basta hacer funcionar el pistón y bien pronto la presión que ejerce se propagará al agua y esta la comunicará al líquido como se observa por la disminución en altura que toma su nivel.

38. **Compresibilidad de los gases y eslabón neumático.**—La reducción de volumen que adquieren los gases comprimidos forma una de las propiedades características de los mismos. La mucha compresibilidad de estos cuerpos se manifiesta por el eslabón neumático que está formado por un grueso tubo de cristal cerrado por una de sus extremidades y por la otra puede penetrar á frote fuerte un cilindro de cuero, que se ajusta exactamente á sus paredes interiores: suponiendo que en el interior de dicho tubo exista un gas cualquiera, al aproximarse el cilindro de cuero al extremo opuesto del tubo, el gas no podrá escaparse del tubo y afectará volúmenes cada vez menores.

39. **Expansibilidad de los fluidos: experimento comprobante.**—La propiedad que tienen los fluidos de ocupar cada vez espacios mayores, venciendo en ocasiones cuantas dificultades se opongan á ello, se conoce con el nombre de *expansibilidad*. Esta propiedad se puede dar á conocer con un experimento muy sencillo: basta introducir en la campana de la máquina neumática una vegiga á medio inflar y cuando este aparato principia á funcionar, la vegiga se hincha paulatinamente en la misma forma que si se inyectase aire con violencia.

40. **Elasticidad en los líquidos y en los gases.**—Los líquidos y los gases poseen una perfecta elasticidad, pues, en el momento que cesan de actuar las fuerzas comprimentes, adquieren ambas los volúmenes primitivos. En los experimentos del piezómetro y del eslabón para estudiar la compresibilidad de los líquidos y gases respectivamente, puede observarse también esta propiedad.

---

---



---

---

## SEGUNDA PARTE.—FUERZA.

---

### SECCIÓN PRIMERA—Generalidades.

---

#### CAPITULO I.

##### *Ideas fundamentales.*

---

#### LECCION 9.<sup>a</sup>

##### ESTUDIO DE LA ENERGÍA.

41. Concepto de la energía y sus clases.—La Física moderna designa con la expresión *energía*, la capacidad ó potencia que posee un cuerpo de efectuar un cierto trabajo, ó un movimiento.

El significado vulgar de dicha palabra no está en desacuerdo con su aplicación científica, pues cuando queremos expresar vigor, actividad, fuerza material ó intelectual correspondiente á un individuo, decimos que tiene mucha energía, ó vice-versa, en el caso contrario.

La energía que manifiestan los cuerpos en movimiento se denomina *actual* y la que no manifiestan en el estado de reposo, pero que, sin embargo comprendemos su existencia, recibe el nombre de *potencial* ó *disponible*. El agua de un rio que en su movimiento pone en acción molinos, etc. representa á la primera: el agua de un estanque en el estado de reposo significa la segunda.

Rankine y otros sabios de Inglaterra designan á toda fuerza de orden mecánico con la palabra *energía*, el efecto producido por cualquier presión con la de *energía potencial* y la desaparición del obstáculo que limita la presión, *energía actual* ó *cinética*, que produce movimiento.

Otros designan con los nombres de *fuerzas vivas*, *energías dinámicas* ó *actuales*, ó *energías en acción* las fuerzas que producen movimientos efectivos y aquellas otras fuerzas que tan solo tienden á producirlo, *fuerzas muertas*, *de tensión*; *energías virtuales*, *en reserva* ó *potenciales*.

42. Transformaciones de las distintas clases de energía.—La energía disponible puede trasformarse en actual y vice-versa, así

lo demuestra la observación y justifican en muchísimos casos los experimentos. Varios ejemplos podemos citar en corroboración: la granada que proyecta un cañón al llegar al punto marcado, antes de efectuar la explosión representa un cambio de energía *actual* en *disponible* y, verificada la explosión, la transformación de la disponible en actual. El agua estancada, soltando la presa, transformación de energía *disponible* en *actual*, y la corriente del río que termina su movimiento, llenando el estanque, cambio de la *actual* en *disponible*.

El fondo común de todos los fenómenos naturales no es otra cosa más que esta clase de transformaciones que afecta la materia.

43. Conservación de la energía: su principio y consecuencia universal.—La experiencia por una parte y el cálculo por otra han venido á comprobar, que así como en la Naturaleza no se pierde ni la menor cantidad de materia, sea cualquiera la forma que afecte, del mismo modo en todos los fenómenos el conjunto de las energías actuales y disponibles es siempre una cantidad que no varía, apesar de las transformaciones de que sea susceptible.

Mayer expresó claramente este hecho del modo siguiente: *la suma de la potencial y la dinámica permanece invariable*, cuya importante verdad forma el *principio de conservación de la energía*.

Puede comprobarse este principio con un ejemplo: supongamos que damos cuerda á un reloj de pesas: estas, elevándose, determinan una cierta energía actual que almacenan, digámoslo así, formando la energía potencial: el mecanismo del reloj impide que la pesa descienda rápidamente, ó gaste el potencial adquirido en un instante; poco á poco principia el descenso y en todo este tiempo consume el potencial que en el instante de elevar la pesa, organizó esta con el carácter de energía actual.

Este ejemplo se puede representar también del modo siguiente;

|                                               |                                    |                                            |
|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|
| P = peso de la masa motor.                    | E = altura á que se eleva la pesa. |                                            |
| M = masa de la pesa.                          |                                    | V = velocidad que lleva al elevarse.       |
| e = espacio parcial que recorre al descender. |                                    | r = energía que aún conserva descendiendo. |
| v = velocidad correspondiente al descender.   |                                    |                                            |

La Mecánica nos dice  $PE = \frac{1}{2} M V^2$  trabajo que realiza la pesa P para recorrer el espacio

E: en un instante cualquiera del descenso, se verificará que

$P e + r = PE$  ó también  $\frac{1}{2} M v^2 + r = \frac{1}{2} M V^2$ , pero siendo el 2.º miembro una cantidad

constante se puede representar por C: luego tendremos  $\frac{1}{2} M v^2 + r = C$  que quiere decir *la fuerza viva ó energía actual gastada más la potencial existente, es igual á la primera suponiéndola en su primitivo valor*.

Generalizando este ejemplo para todas las fuerzas que dan lugar á los variados fenómenos que se producen en el Universo y llamando  $m, \dots, m', \dots, m'', \dots$  las masas animadas de las velocidades  $v, v', v'', \dots$  y las energías potenciales correspondientes  $r, \dots, r', \dots, r'', \dots$  sería fácil aplicar la fórmula anterior y tendríamos:

$\left( \frac{m v^2}{2} + \frac{m' v'^2}{2} + \frac{m'' v''^2}{2} + \dots \right) + (r + r' + r'' + \dots) = C$  que traducida al lenguaje ordinario dice que *la suma de toda energía actual del Universo con la de toda potencial existente en cualquier momento es invariable en el transcurso del tiempo*.

## LECCIÓN 10.

## FUERZA: SUS CARACTERES FUNDAMENTALES.

44. ¿Qué se entiende por fuerza?—Toda causa capaz de producir movimiento ó de aniquilarle, una vez producido, es conocida en la ciencia con el nombre de *fuerza*.

La idea de movimiento incluida en la definición de la fuerza, no solamente se refiere á las traslaciones de los cuerpos en la totalidad de su materia, sino también á las variaciones de posición observadas en el interior de los mismos referido á sus propias moléculas.

45. *Mecánica*.—Existe una ciencia que se ocupa sola y exclusivamente del estudio de las fuerzas en sus diferentes manifestaciones, á la que se ha dado el nombre de *Mecánica*.

Reconoce esta ciencia como origen de constitución la *Física*; pero la extensión que más tarde adquirió se utilizó provechosamente para la aplicación de ciertas verdades del orden físico, propias para servir de base á estudios subsiguientes; sin embargo, los conocimientos en ella incluidos no pueden formar una parte esencial de la ciencia *Física*, y tan solo suministran los datos que sean necesarios en el conocimiento de todos los detalles comprendidos en el concepto *fuerza* que tiene una acción tan directa en el fenómeno físico.

46. *División de las fuerzas*.—La *Mecánica* dá el nombre de fuerza *aceleratriz* á la que al actuar sobre la materia de los cuerpos produce aumentos de velocidad en cada uno de los instantes que dura el movimiento, y *retardatriz* á la que produce en los cuerpos un efecto opuesto, es decir, disminuir en cada uno de los instantes la velocidad en la traslación. Toman también los nombres de *fuerzas instantáneas* las que operan en un solo instante sobre el cuerpo para provocar el movimiento; así como el de *continuas* aquellas que operan en todo el tiempo que dura el movimiento, bien sea conservando una velocidad constante, ó bien aumentándola ó disminuyéndola, siendo *aceleratrices* ó *retardatrices*. Por último las fuerzas toman también los nombres de *componentes* y *resultantes*, según que conspiren dos ó más á producir el mismo efecto, ó por el contrario represente una cualquiera el efecto de otras varias.

La fuerza que hace descender desde lo alto á la superficie de la tierra un cuerpo cualquiera más ó menos pesado es una fuerza *aceleratriz*; por el contrario al ser lanzada á las regiones superiores, el movimiento observado le provoca una fuerza *retardatriz*. Un proyectil al salir con más ó menos violencia de un arma de fuego, es impulsado por una fuerza instantánea: un vehículo cualquiera, puesto en movimiento por un motor animal ó de otro género, dá lugar á un movimiento producido por una fuerza continua. Cuando varios hombres tiran cada uno por una cuerda para poner en movimiento un cuerpo, el esfuerzo individual representa una fuerza componente: se comprende que este mismo efecto que procuran realizar todos aquellos podía producirse también por otra fuerza conocida ó desconocida y esta sería la resultante.

47. *Representación de las fuerzas; unidad de las mismas*.—Como que las fuerzas son verdaderas entidades desprovistas de

materia, y es necesario examinar sus condiciones de acción de una manera real y efectiva, se hace preciso adoptar el mismo procedimiento que utiliza la Geometría en sus conceptos, es decir, la representación de las fuerzas por el intermedio de trazos lineales. La dirección con que operan las fuerzas, es diferente, según sus modos de actuar, y se comprende cual será esta, por el camino que obligan a tomar al cuerpo en el cual se provoca el movimiento: esta dirección se conoce al representar las fuerzas por líneas, por la clase de estas mismas, así como por la posición que puedan tener en un plano ó en el espacio.

La intensidad es dependiente del valor de la resistencia que vencen al compararla con otra que se escoge como unidad.

El punto de aplicación en las fuerzas es el mismo en el cuerpo á donde actúa la fuerza inmediatamente.

La unidad de medida de las fuerzas será otra escogida arbitrariamente, para que nos sirva de término de comparación en la medida de todas las demás.

Teniendo en cuenta que el efecto producido, bien sea por presión ó por tracción, siempre puede compararse con los pesos: se ha tenido presente esta circunstancia en el establecimiento de unidades de fuerzas.

Entre estas unidades figura el *kilogrametro* equivalente al esfuerzo que es necesario producir para elevar un kilogramo de peso á un metro de altura en un segundo de tiempo.

48. **Dinamómetros.**—Con este nombre se conocen todos aquellos aparatos cuyo objeto es la medida de la intensidad relativa de las fuerzas, comparadas con las unidades en peso que pueden elevar.

Muchos son los sistemas de *dinamómetros*, según el objeto á que se aplican: entre ellos es digno de conocerse el dinamómetro de Regnier formado por dos arcos ó ballestas de acero bien templado, unido por sus extremos: una de las ballestas sostiene un cuadrante de metal con divisiones y en el centro una aguja que puede ponerse en movimiento por un sistema de varillas unidas á la otra ballesta y un muelle de acero: basta, por lo tanto, realizar un esfuerzo que aproxime las dos ballestas, para que la aguja sea empujada por el muelle y las varillas, obligándola á tomar una posición en el cuadrante que es precisamente la que representa numéricamente el esfuerzo producido.

Existen además la *balanza de resorte* y los *dinamómetros de cuadrante* y de *Leroy* ó *balanza-pesón*, en los cuales el fundamento de construcción es siempre la elasticidad de los muelles de acero.

## LECCIÓN 11.

### SISTEMAS DE DOS Ó MÁS FUERZAS: TEOREMAS MECÁNICOS.

49. ¿Cuándo dos fuerzas se hallan en equilibrio?—Al actuar dos ó más fuerzas sobre un punto material del espacio ó sobre un mismo cuerpo, puede suceder que sus efectos se hallen contrares-

tados igualmente, y en este caso el punto material ó el cuerpo no manifiesta la acción de ninguna de las fuerzas que sobre él operan, las cuales por esta razón, se dice que se hallan en *equilibrio*.

50. **Sistemas de fuerzas.**—La diferente dirección, intensidad y sitio que pueda ocupar el punto de aplicación originan efectos varios en la materia que sufre la acción de aquellas. La reunión de todas las manifestaciones de las fuerzas forma los *sistemas* que no son, por lo tanto, otra cosa sinó la combinación de dos ó más fuerzas componentes que tienen una resultante determinada.

51. **Sistemas de dos fuerzas que actúan sobre un punto: teoremas mecánicos.**—Todos los modos de obrar que tienen dos fuerzas al actuar respectivamente sobre uno ó dos puntos, pueden estar comprendidos en los casos siguientes:

1.º *Dos fuerzas que actúan sobre un punto en una misma dirección tienen una resultante igual á la suma de ambas, aplicada en el mismo punto y en la misma dirección.*

2.º *Dos fuerzas que actúan sobre un punto en una misma recta, pero cada una en dirección contraria, siendo iguales, producen el equilibrio.*

3.º *Dos fuerzas que actúan sobre un punto en dirección diametralmente contraria, siendo desiguales, tienen una resultante igual á la diferencia en intensidad á ambas fuerzas, y con respecto á su dirección es la misma que la que tiene la fuerza mayor.*

4.º *Dos fuerzas que actúan sobre un punto, formando ángulo, ó lo que es lo mismo, son concurrentes, tienen por resultante en magnitud y en dirección la diagonal del paralelogramo construido con las dos fuerzas dadas.*

Este último teorema se comprueba por medio del aparato Gravesande que se halla formado por cuatro varillas de metal, dispuestas en paralelogramo articulado en los cuatro vértices: en dos de estos opuestos hay fijos dos cordones que á su vez sostienen dos pesas con los valores por ejemplo de 60 y 90 gramos respectivamente, cuyos cordones pasan por dos poleas fijas en la parte superior de dos columnas verticales, además los dos lados contíguos del citado paralelogramo tienen una longitud proporcional á los referidos números y se observa que no puede tomar el equilibrio interin no se coloca una varilla vertical con un peso de 120 gramos en la dirección de la diagonal correspondiente al mismo.

En las cátedras de Física se acostumbra á usar otro instrumento aún más sencillo. Una tabla dispuesta verticalmente tiene dibujado un cuadrado y su diagonal, el lado superior de este sirve para fijar un alambre por donde discurre un carrito con una polea por donde pasa una cuerda terminada en un contrapeso: la cuerda se fija en uno de los vértices del cuadrado y el carrito en el opuesto, entónces el contrapeso está sujeto á la acción de dos fuerzas concurrentes, la primera en la dirección de la cuerda y la segunda, la fuerza que impide la caída en la dirección vertical. Se observa al dejar libre al contrapeso en estas condiciones, que sigue este la dirección de la diagonal del cuadrado.

52. **Sistemas de dos fuerzas que actúan sobre dos puntos: teoremas mecánicos.**

1.º *Dos fuerzas que actúan sobre un punto diferente, siendo iguales con la misma dirección y al propio tiempo paralelas, tienen una resultante igual al doble de una de ellas en intensidad y su punto de aplicación dista igualmente de cada uno de los dos correspondientes á las fuerzas dadas.*

2.º *Dos fuerzas paralelas de la misma dirección y desiguales en intensidad que, cada una de ellas tiene independientemente un punto de aplicación, dan lugar á una resultante, cuya intensidad es igual á la suma de las componentes, paralela á ellas y su punto de aplicación divide á la recta que une los de aplicación de las otras en dos partes inversamente proporcionales á las fuerzas componentes.*

3.º *Dos fuerzas iguales que actúan cada una sobre su punto de aplicación en direcciones opuestas y que además son paralelas producen como resultante un movimiento de rotación al rededor del punto medio de la línea recta que une los dos de aplicación de ambas componentes.*

4.º *Dos fuerzas paralelas y desiguales que actúan en dirección contraria independientemente sobre cada uno de sus puntos de aplicación, tienen el de la resultante el mismo que en el caso sexto, pero provocan también como en el caso anterior un movimiento de rotación al rededor del punto de aplicación de la resultante y además otro de traslación promovido por la diferencia de intensidades de las componentes.*

5.º *Dos fuerzas que actúan cada una de ellas independientemente en su punto de aplicación, sin ser paralelas, tienen una resultante igual á la parte de la diagonal del paralelogramo construido sobre ambas fuerzas suficientemente prolongadas.*

El aparato denominado *palanca aritmética* se utiliza para dar á conocer la verdad de los casos 1.º y 2.º: le forma una barra de hierro dividida en cuatro partes iguales y en cada una de las divisiones se coloca una pequeña anilla; estas barras se sostienen en equilibrio, suspendiéndolas de cuerdas que pasan por las ranuras de poleas fijas en lo alto de columnas y que pueden terminar por la otra extremidad con pesos. Para comprobar con este instrumento el principio expresado en el caso 1.º, basta colocar en los extremos de la barra dos pesos iguales, haciendo suspensión de todo el sistema por la anilla central y colocando en el extremo de la cuerda un peso doble. Para comprobar experimentalmente el principio enunciado en el caso 2.º se coloca un peso conocido en uno de los extremos de modo que diste dos divisiones del punto de suspensión de la barra y un peso doble del anterior á la distancia de una división contada desde el mismo punto de suspensión de la barra y se observará que para conseguir el completo equilibrio de este sistema es preciso colocar en el extremo de la cuerda un peso igual á la suma de los pendientes de las divisiones de la barra. En todos estos teoremas, lo mismo que los anteriores se demuestra la verdad que encierra por la Mecánica racional.

53. **Sistemas de más de dos fuerzas.**— Los sistemas de tres fuerzas presentan estos mismos casos y se determinan las resultantes correspondientes á cada uno de ellos, hallando la resultante de las dos primeras fuerzas, y con esta y la tercera componente se halla la segunda y definitiva resultante. Los sistemas de cuatro fuerzas, siempre que cumplan la condición de hallarse en un mismo plano, comprenden también los ya citados casos y las resultantes correspondientes se determinan hallando la resultante de las dos primeras y luego las de las otras dos, y con estas definitivas resultantes quedará el sistema de cuatro fuerzas reducido á

otro de dos, en el cual los valores y condiciones de las resultantes son ya conocidos. Siguiendo este procedimiento todos los sistemas formados por cualquier número de fuerzas es siempre reducible á un sistema de dos.

## CAPITULO II.

### *Particularidades mecánicas.*

### LECCIÓN 12.

#### MÁQUINAS EN GENERAL: PALANCA Y BALANZA.

54. Idea general de las máquinas: su división.—Con la palabra máquina se conocen todos aquellos instrumentos destinados á la trasmisión y dirección conveniente de las fuerzas.

En las máquinas se estudian dos clases de fuerzas: la *potencia*, empleada para conseguir un fin determinado, y la *resistencia* que es aquella otra que se trata de vencer y que se representa por los obstáculos que vence la primera.

Las fuerzas pueden dar lugar ó no á movimiento; en el primer caso se designan con el nombre de *vivas* y en el segundo de *muertas*. Las máquinas no crean fuerza, simplemente modifican la acción de las fuerzas, dándolas aquella dirección mas conveniente al objeto á que se aplican.

Las máquinas se dividen en *simples* y *compuestas*; las primeras reciben y transmiten á la resistencia la acción de la potencia sin otro cuerpo intermediario: las segundas establecen la misma trasmisión, utilizando medios de relación entre la potencia y resistencia: en ellas los diferentes órganos que las forman pueden estar incluidos en los calificativos de receptores, operadores y auxiliares. Las simples pueden tener por punto de apoyo un punto matemático, una línea, ó una superficie.

55. Palanca, especies de palanca: ejemplos: ley de equilibrios.—La palanca es una barra sólida, recta, curva ó angular sujeta á girar alrededor de un punto llamado de *apoyo*. En ella toman el nombre de *brazos* la distancia entre los puntos de aplicación de las fuerzas potencia y resistencia al de apoyo de la misma palanca.

La posición relativa que puedan tener entre sí la potencia, la resistencia y el punto de apoyo, dá lugar á las tres clases de palancas, de primero, segundo y tercer género. La palanca de *primer género* tiene el punto de apoyo entre la potencia y la resistencia, como sucede á la barra de las balanzas y romanas. La palanca de *segundo género* tiene situada la resistencia entre el punto de apoyo y la potencia, y como ejemplo de esta clase de palancas se pueden

citar las carretillas de mano y los parte-piñones. La palanca de *tercer género* tiene situada la potencia entre el punto de apoyo y la resistencia: entre estas palancas se incluyen las pinzas y las extremidades de los animales.

La ley que preside en el equilibrio de estas máquinas se expresa del modo siguiente: *para que dos fuerzas se equilibren por medio de una palanca es necesario que sus intensidades se hallen en razón inversa de los brazos de palanca.*

En efecto, las fuerzas al actuar sobre una palanca forman un sistema de fuerzas paralelas en una misma dirección que, siendo iguales, tienen la resultante aplicada en el punto medio; por eso las palancas de brazos iguales se equilibran con fuerzas ó pesos también iguales. Del mismo modo la resultante aplicada á otro punto que no sea el centro produce proporción inversa con los valores de las fuerzas y las distancias, entre los puntos de aplicación de las mismas y el de la resultante, que en el caso presente son los brazos de palanca.

56. **Balanza: condiciones de precisión y de sensibilidad.**— Denominanse *balanzas* los instrumentos que se emplean para determinar el peso relativo de los cuerpos.

Este conocido aparato se compone de el *fiel* que es una palanca de primer género de brazos iguales, en cuyo centro se eleva una aguja perpendicular á la misma; de los extremos de ella penden, mediante cordones, cadenas ó varillas metálicas, unos platillos de igual peso; por el centro de la barra pasa un prisma triangular de acero llamado *cuchilla* que se coloca sobre un soporte dño de ágata ó acero de forma varia, unas veces en columna y otras en armadura sostenida por su parte superior.

Toda balanza para que pueda ser invariable en sus indicaciones necesita ser *precisa* y al mismo tiempo *sensible*: la precisión da pesadas exactas y depende de estas tres condiciones: 1.<sup>a</sup> *los dos brazos de la palanca deben ser rigurosamente iguales en longitud y en peso*, pues de otro modo fuerzas iguales no actuarían sobre brazos de palanca también iguales: 2.<sup>a</sup> *el centro de gravedad de la barra, cuando esta se halla horizontal, debe encontrarse en la misma vertical que pasa por la arista de suspensión de la cuchilla*, para cumplir de este modo la condición de perfecto equilibrio: 3.<sup>a</sup> *el centro de gravedad debe hallarse debajo del centro de suspensión*, y de este modo se consigue la estabilidad en el equilibrio como se patentiza con la llamada balanza de cuchilla movable.

La sensibilidad se dá á conocer por la oscilación que produce á la menor diferencia de peso que haya en cualquiera de los platillos. Se cumple la sensibilidad con las siguientes condiciones: 1.<sup>o</sup> *Dando gran longitud á los brazos de la palanca* 2.<sup>o</sup> *Haciendo ligera la barra y disponiendo los rozamientos con la mayor delicadeza.* 3.<sup>o</sup> *Estableciendo la menor distancia posible entre el centro de gravedad y la arista de suspensión* y 4.<sup>o</sup> *Colocando en línea recta los puntos de suspensión de los platillos y de la cuchilla.*

En las balanzas llamadas de *precisión* usadas en los análisis químicos y en las demás operaciones delicadas de la ciencia se cumplen escrupulosamente todas estas condiciones.



57. **Balanzas inglesas: romana; báscula.**—Pueden disponerse las balanzas usadas en el comercio con grandes ventajas sobre la anterior, mediante la disposición ideada por Roberbal, construyendo la balanza de modo que los platillos estén colocados en la parte superior del fiel que se halla formado por un paralelogramo metálico articulado en sus vértices.

Otra de las disposiciones que toma la balanza es la conocida con el nombre de *romana*. Se halla formada por una palanca de primer género de brazos desiguales, el menor invariable en longitud, pero el mayor puede tomar diferentes longitudes, según la posición que adquiere un peso invariable denominado *pilón* en cada una de las divisiones que tiene trazadas. La potencia se halla representada por el cuerpo que se trata de pesar y la resistencia por el *pilón*.

Además de estas balanzas en la apreciación de los grandes pesos hacemos uso de la denominada báscula de Quintenz compuesta de una plataforma móvil que puede subir ó bajar, conservando su horizontalidad colocada en un sistema de dos palancas puestas en comunicación con un pequeño platillo convenientemente dispuesto sobre una romana de modo que la presión ejercida por el peso de un cuerpo colocado en la plataforma se trasmite á aquella. Estos aparatos han servido de fundamento en la construcción de los puentes-romanas y se hace imprescindible su empleo en las estaciones de los ferro-carriles y demás establecimientos en donde es preciso anotar rápidamente el peso de bultos más ó menos considerables.

## LECCIÓN 13.

### POLEAS: ENGRANAGE: CRIK: TORNO Y SUS MODIFICACIONES.

58. **Poleas: equilibrio de las poleas fijas y movibles.**—Las poleas se hallan formadas por cilindros de madera ó metal de poca altura dispuestos de modo que puedan girar al rededor del eje de hierro que las atraviesa sostenido ordinariamente por los correspondientes coginetes llamados *armaduras* y que lleva en toda la superficie convexa una ranura ó carril denominada *garganta* por donde pasa una cuerda, de cuyos extremos pueden suspenderse pesos. Las poleas toman los nombres de *fijas* y *movibles*; las primeras no tienen más que un solo movimiento de rotación y las segundas poseen además otro de traslación. Al determinar las condiciones de equilibrio de estas máquinas simples se las ha considerado referidas á palancas de primer género de brazos iguales las fijas y á las de segundo género, las movibles: de este modo se ha podido deducir que la *potencia es á la resistencia y cualquiera de estas fuerzas es á la carga que el punto fijo soporta, como el radio de la polea es á la cuerda geométrica del arco abrazado por la cuerda material*: esto en el supuesto de que la cuerda forme dos rectas



convergentes. En el supuesto de afectar las cuerdas la dirección vertical entonces las poleas fijas están en equilibrio cuando de los extremos de la cuerda penden pesos iguales y en las móviles la potencia es á la resistencia como 1 : 2.

59. **Polipastos.**—Varias poleas pueden reunirse entre sí en combinaciones especiales, formando lo que se denomina *polipastos*, siempre que en ellos intervenga por lo menos una polea fija y otra móvil.

Las poleas pueden ser todas iguales formando dos series atravesadas por un eje común y una cuerda pasa por las gargantas de todas, ó también pueden ser las poleas diferentes y colocarse de mayor á menor en una armadura común.

En todas estas combinaciones y otras diferentes se verifica siempre la siguiente ley que determina las condiciones de equilibrio: *la potencia es á la resistencia como la unidad es al número de cuerdas en que se apoya, ó como el producto de los radios es al de las cuerdas.*

60. **Engranajes: sus clases.**—La combinación de dos poleas tangenciales de tal modo dispuestas que no pueda girar la una sin la otra, suprimida la cuerda y haciendo adquirir al eje de una de ellas un movimiento de rotación, puede servir de punto de partida para tener una idea de lo que son los engranajes. Si admitimos en la superficie de las poleas en vez de la ranura un número variable de dientes igualmente distribuidos y dispuestos de un modo tal que los espacios que entre sí dejan en una polea sean ocupados por los dientes de la otra, entonces formamos las llamadas *ruedas dentadas y piñones.*

Pueden ser los engranajes rectos ó en forma de ángulo, según la posición que tengan entre sí los planos que pasan por ambas ruedas. La ley que determina las condiciones de equilibrio de estos instrumentos es la siguiente: *la potencia es á la resistencia como el producto de los radios de los piñones, es al producto de los radios de las ruedas.*

61. **Crik: partes que le forman.**—Otra de las máquinas que debemos dar á conocer es el crik ó gato que es una combinación de la rueda dentada, á la que un manubrio puede imprimir un movimiento de rotación, y una regla dentada que engrana con los dientes de aquella: la regla toma el nombre de *cremallera.*

Al girar la rueda sus dientes apalancan los de la cremallera y esta toma un movimiento rectilíneo.

La ley de equilibrio se formula de este modo: *la potencia es á la resistencia como el radio del piñón es al radio del manubrio.*

62. **Torno.**—El torno se halla formado por un cilindro de madera atravesado por un eje de hierro, sostenido por unos coginetes de la conveniente solidez y en posición vertical; los extremos del eje terminan en manubrios y una larga cuerda sujeta por uno de sus extremos al cilindro, y por el otro unido al peso que se trata de elevar puede arrollarse sucesivamente en toda la superficie del cilindro cuando este adquiere un movimiento de rotación. Se ha

comprobado en este instrumento que *la potencia es á la resistencia, como el radio del cilindro es al de la rueda.*

El *cabrestante* es el mismo torno anteriormente citado, colocado su eje verticalmente para de este modo utilizarle en el arrastre de cuerpos pesados sobre una superficie plana. Su movimiento de rotación se consigue por medio de barrotes que atraviesan la base superior del cilindro.

La *cabria* es la combinación de un torno fijo en la parte inferior de un gran trípode de madera ó hierro y una polea situada en la parte superior.

La *grua* puede decirse que es una *cabria* perfeccionada, pues mientras esta efectúa la elevación desde la superficie de la tierra de pesos notables en una misma línea vertical, la *grua* puede hacer esto mismo, pero en todas las posiciones equidistantes de su base y al rededor de la misma.

Para conseguir este efecto el torno y la polea se hallan montados en una armadura de madera ó de hierro fundido de forma triangular y dispuesta de modo que pueda girar en un eje vertical al rededor de un punto, facilitando este movimiento mecanismos especiales.

63. **Aplicaciones importantes.**—No es posible referir las infinitas aplicaciones de que son susceptibles las máquinas indicadas. La elevación de pesos más ó menos considerables á pequeñas ó grandes alturas, los cambios de dirección de los movimientos, la trasmisión de las fuerzas, en general, todos los problemas que la inteligencia ha resuelto por medio de la mecánica por ingeniosos y admirables que estos sean, se resuelven con el acertado uso de estos instrumentos.

## LECCIÓN 14.

### PLANO INCLINADO, CUÑA Y OTRAS MÁQUINAS.

64. **Plano inclinado.**—Se da el nombre de *plano inclinado* á toda superficie plana que forma con el horizonte un ángulo menor de  $90^\circ$  y mayor  $0^\circ$ .

El peso de un cuerpo colocado sobre un plano inclinado, puede considerarse dividido en dos fuerzas: una perpendicular y otra paralela á este, las cuales, suponiéndolas convenientemente limitadas al establecer su relación con la altura y longitud del plano, determinan la ley siguiente: *La potencia es á la resistencia, como la altura del plano es á la base del mismo.*

65. **Cuña.**—La *cuña* está formada por un prisma triangular dispuesto de modo que pueda introducirse por una de sus aristas en un cuerpo para conseguir la división del mismo en dos partes. —El plano opuesto á la arista se llama *cabeza* y los planos contiguos á la misma *caras laterales*.

Esta máquina recibe la acción de la potencia normalmente á la cabeza; cuya acción se puede suponer descompuesta en otras dos perpendiculares á cada una de las caras laterales para deducir la ley de equilibrio formulada de este modo: *La potencia es á la resistencia, como la cabeza de la cuña es á la suma de las caras laterales.*

66. **Rosca y tornillo sin fin.**—La *rosca* es una máquina simple formada por dos órganos: el tornillo y la tuerca.—El primero está constituido por un cilindro sobre cuya superficie se arrolla un prisma triangular, de tal modo que las aristas forman el mismo ángulo con todas las generatrices del cilindro. El segundo es una pieza con un agujero cilíndrico, en donde hay entrante una hélice igual á la saliente del tornillo, ajustándose ambas perfectamente.

En este aparato se explica su equilibrio suponiendo la intervención de la palanca y del plano inclinado, porque en ellos se considera en general el equilibrio de un cuerpo que se halla al mismo tiempo sujeto á girar al rededor de un eje fijo y á descender con movimiento uniforme, apoyándose sobre el plano inclinado.

La ley que determina el equilibrio es la siguiente: *La potencia es á la resistencia, como el paso de espira ó filete es á la circunferencia descrita por la potencia.*

El *tornillo sin fin* es la combinación de una rosca y una rueda dentada dispuesta de modo que los dientes de esta engranen con los filetes de la rosca.

Al imprimir un movimiento de rotación á la rosca, la rueda dentada principia á girar al rededor de su eje. La ley de equilibrio se formula de este modo: *La potencia es á la resistencia, como el paso de la espira multiplicada por el radio del cilindro, es al producto del radio de la rueda por la circunferencia que describe.*

67. **Polígonos funiculares.**—Las cuerdas forman los *polígonos funiculares* sin más que suspenderlas libremente por sus extremos y aplicar á diferentes puntos de la misma fuerzas de tracción por medio de nudos.

Las cuerdas consideradas aisladamente no constituyen verdaderas máquinas y tan sólo se usan como órganos auxiliares. En las cuerdas se aprecia su tracción por la resistencia que oponen para romperse al sufrir por cada uno de sus extremos la acción de fuerzas aplicadas en la misma dirección de su eje, pero que obran en sentido inverso.

En ellos se observa la producción de equilibrio en todo el sistema en el momento de estar también en equilibrio al mismo tiempo cada uno de los nudos á donde se aplican los esfuerzos de tracción.

68. **Efectos producidos por estas máquinas y aplicaciones.**—Variadísimos son los efectos que podríamos dar á conocer de todos estos instrumentos. Así con el plano inclinado se consigue facilitar notablemente la elevación á pequeñas alturas de pesos considerables, con las cuñas se producen grandes presiones utilizables en la construcción de prensas y bajo el punto de vista de división para la construcción de herramientas é instrumentos cortantes y punzantes. La rosca puede utilizarse muy ventajosamente para la construcción de máquinas de dividir, y el tornillo

sin fin, lo mismo que todos los demás, forma parte interesantísima de toda clase de maquinarias.

## CAPITULO III.

### *El movimiento.*

#### LECCIÓN 15.

##### GENERALIDADES DEL MOVIMIENTO.

69. **Movimiento rectilíneo y curvilíneo: uniforme y variado: velocidad y ley del movimiento uniforme.**—El efecto inmediato que producen las fuerzas al actuar sobre los cuerpos es el movimiento, el cual recibe los calificativos de *rectilíneo* y *curvilíneo*, según que el móvil recorra, durante su traslación una línea recta ó una curva, las cuales toman el nombre de *trayectorias*.

En todo movimiento se observan circunstancias diferentes que determinan clases especiales, así en el acto de traslación de un cuerpo de un sitio á otro los espacios recorridos pueden ser siempre iguales en las mismas unidades de tiempo ó por el contrario, no pueden cumplir esta circunstancia; en el primer caso el movimiento toma el nombre de *uniforme* y en el segundo de *variado*; así decimos que será movimiento uniforme el de un carruaje que en la primera hora ha recorrido ocho kilómetros, en la segunda otros ocho, ó sea un total de diez y seis, en la tercera otros ocho ó sean veinticuatro etc. Si los espacios aumentan ó disminuyen en el mismo tiempo por acelerar ó retrasar el movimiento, entonces será *variado*.

De la misma definición del movimiento uniforme se deduce lo que es *velocidad* en este mismo movimiento; es decir, el espacio recorrido en la unidad de tiempo que ordinariamente es el segundo.

Esta velocidad será siempre una cantidad constante de modo que los espacios recorridos contendrán tantas veces esta cantidad cuantas sean los segundos empleados en el movimiento, de cuya consideración se deduce la siguiente ley del movimiento uniforme: *los espacios recorridos son proporcionales á los tiempos.*

Sean  $\left. \begin{array}{l} v = \text{la velocidad.} \\ t = \text{el tiempo.} \\ e = \text{espacio.} \end{array} \right\}$  podemos representar el espacio recorrido en cada unidad

de tiempo por  $e = v$  en el primer espacio de tiempo;  $e = 2v$  en el segundo;  $e = 3v$  en el tercero... de modo que en  $t$  unidades de tiempo  $e = vt$  que nos da á conocer la proporcionalidad entre los espacios y los tiempos.

De la anterior ecuación se deduce facilmente  $v = \frac{e}{t}$  es decir, que la *velocidad es la relación entre el espacio y el tiempo en el movimiento uniforme.*

Con esta fórmula se pueden resolver infinidad de problemas en los cuales figuran como datos dos cualquiera de las cantidades que la forman.

70. **Movimiento uniformemente acelerado y uniformemente retardado: velocidad y ley del primero de estos.**—En el movimiento variado, encontramos que su velocidad comparada con la del uniforme es una cantidad variable susceptible de aumentar ó disminuir gradualmente los espacios recorridos en los mismos tiempos, dando lugar respectivamente á los movimientos *uniformemente acelerado* y *uniformemente retardado*. Al descender una piedra desde una altura más ó menos grande, se mueve uniformemente acelerada, por el contrario, al arrojarla desde el suelo á un punto más ó menos elevado, el movimiento que adquiere es uniformemente retardado. La velocidad en el primero de estos movimientos no puede apreciarse como en el uniforme por el espacio recorrido, una vez que este toma un aumento, formando lo que se denomina *aceleración*, de manera que será siempre igual al producto del tiempo por esta misma aceleración.

Las leyes del movimiento uniformemente acelerado son las siguientes:

1.<sup>a</sup> Las velocidades crecen proporcionalmente á los tiempos. 2.<sup>a</sup> Los espacios recorridos son como los cuadrados de los tiempos.

En efecto, con respecto á la primera ley, la fuerza productora del movimiento se puede comparar á una serie de impulsos iguales que se suceden á intervalos de tiempo muy pequeños, y como cada impulsión comunica en cada espacio de tiempo una misma velocidad que se agrega á la que ya poseía anteriormente, de aquí resulta la proporcionalidad de los aumentos de la velocidad y los mismos tiempos. Con respecto á la segunda ley se observa prácticamente su verdad al examinar la relación entre el número sucesivo de tiempos, que podrán ser 2. 3. 4. 5.... segundos, y los números 4, 9, 16, 25..... representantes de los espacios recorridos y que son precisamente los cuadrados de aquellos.

Estas leyes pueden expresarse por medio de fórmulas, mediante la aplicación de un sencillo cálculo. En efecto, para la 1.<sup>a</sup> ley representemos la aceleración de la velocidad por  $a$  en un segundo por  $2a$  en dos segundos, por  $3a$  en tres.... y por  $at$  en todo el tiempo empleado, es decir, que  $v = at$  ó lo que es igual, tanto variarán al mismo tiempo las cantidades  $v$  y  $t$  cuanto varía  $a$  es decir que  $v$  y  $t$  son proporcionales. La 2.<sup>a</sup> ley puede formularse de este modo: cuando un cuerpo se mueve en  $t$  segundos con movimiento uniformemente acelerado pasando desde una velocidad inicial nula á otra final  $at$  recorre el mismo espacio que si llevara la velocidad del movimiento uniforme, pero intermedia entre  $v$  y  $a$ , es decir,  $v = \frac{at}{2}$ . luego basta sustituir este valor en la fórmula  $c = vt$  y tendremos  $c = \frac{at}{2} \times t$ ....  
 $c = \frac{at^2}{2}$  que comprende la proporcionalidad entre  $c$  y  $t^2$ .

71. **Proporción entre las fuerzas y las aceleraciones de velocidad: masa: cantidad de movimiento: leyes y fórmulas deducidas.**—Si suponemos que varias fuerzas constantes  $F$ .  $F'$ .  $F''$ ..... actúan sobre un cuerpo en tiempos iguales producen aceleraciones de velocidades  $G$ .  $G'$ .  $G''$ ...., la Mecánica nos dice que hay una proporción entre ambas que permite establecer las igualdades

siguientes:  $\frac{F}{F'} = \frac{G}{G'}$ ,  $\frac{F}{F''} = \frac{G}{G''}$  de donde podemos deducir esta

progresión:  $\frac{F}{G} = \frac{F'}{G'} = \frac{F''}{G''} \dots$  etc., es decir que existe una relación constante entre las fuerzas y las aceleraciones deducidas, la cual puede representar la *masa* de los cuerpos, una vez que cuando estos sufren la acción de fuerzas iguales, teniendo la misma masa, adquieren las mismas aceleraciones.

De aquí se deduce que *cantidad de movimiento* de un cuerpo expresada por la fuerza á que se halla sometido, es el producto de la masa por la velocidad imprimida.

En efecto, admitido el convenio anterior, la masa de un cuerpo será  $M = \frac{F}{V}$  de donde  $F = MV$ . Al relacionar las masas de dos cuerpos con las velocidades y con las fuerzas, hallamos las leyes siguientes: 1.<sup>a</sup> *Masas diferentes están en razón inversa de las velocidades, siempre que operen fuerzas iguales:*

Sean  $\left\{ \begin{array}{l} M = \frac{F}{V} \\ m = \frac{f}{v} \end{array} \right\}$  de donde  $\left\{ \begin{array}{l} F = MV \\ f = mv \end{array} \right\}$  siendo  $F = f \dots MV = mv$ , ó lo que es igual  $\frac{M}{m} = \frac{v}{V}$

2.<sup>a</sup> *Dos fuerzas son entre sí como las masas á las cuales imprimen velocidades iguales:*

Sean  $\left\{ \begin{array}{l} M = \frac{F}{V} \\ m = \frac{f}{v} \end{array} \right\}$  de donde  $\dots$  siendo  $V = v \dots$   $\frac{F}{f} = \frac{M}{m}$

## LECCIÓN 16.

### MOVIMIENTO CURVILÍNEO.

72. **Consideraciones generales acerca de los movimientos curvilíneos.**—Los cuerpos pueden trasladarse desde un sitio á otro recorriendo una trayectoria de curvatura variable, y entonces el movimiento se dice que es *curvilíneo*. Para que los cuerpos adquieran un movimiento curvilíneo, es preciso el concurso de dos fuerzas, una que opere constantemente y otra variable: del mismo modo, cuando una de ellas guarda relaciones con alguna superficie, línea ó punto, y la otra no cumpla esta condición.

Las diferentes clases de curvas determinan con sus mismos nombres otras tantas clases de movimientos curvilíneos; así tenemos el *parabólico* y *circular*, que desde luego se comprende que la curva parábola y la circunferencia son respectivamente las trayectorias de estos movimientos.

73. **Movimiento parabólico.**—El movimiento parabólico es siempre originado por dos fuerzas; una constante como pueda ser la gravedad que, según vemos dentro de poco, dirige todos los cuerpos hácia el centro de la tierra, y otra instantánea, ó fuerza

de impulsión como es la expansibilidad de los gases en el acto de la combustión.

Si suponemos un proyectil impelido por esta última fuerza en sentido horizontal, se observará que no sigue exactamente esta dirección, sino que en cada punto de su trayectoria se aproxima cada vez más á la superficie del suelo hasta que llega á tocar con ella: en efecto, en cada punto de la trayectoria el proyectil está sujeto á la acción de dos fuerzas; una la de la pólvora, que siendo instantánea cada vez se hace menor, y otra constante, que por esta razón domina á la anterior y que es la gravedad, ambas son concurrentes y el proyectil toma la dirección de la diagonal del paralelogramo. Hecha esta consideración en todos los puntos del movimiento, y reuniendo entre sí por un mismo trazo la serie de diagonales, formaríamos la curva parábola.

74. **Movimiento circular: fuerzas centrales: leyes y fórmulas.**—El movimiento circular es también originado por dos fuerzas que determinan una trayectoria circunferencia en el cuerpo que gira al rededor de un centro. Estas fuerzas componentes del movimiento circular, toman el nombre de *centrales*, una que tiende á dirigir al cuerpo hácia el centro del movimiento ó cuando más á mantener una relación de distancia con él, llamada central propiamente dicha ó *centrípeta*, y la otra que tiende á separar al cuerpo del centro del movimiento, conocida con el nombre de *centrífuga* ó *tangencial*.

Las leyes del movimiento circular son las siguientes.—1.<sup>a</sup> *Las fuerzas centrífugas son proporcionales á las masas en rádios y tiempos iguales*, 2.<sup>a</sup> *Son también proporcionales á los rádios para tiempos y masas iguales*. 3.<sup>a</sup> *Estas mismas fuerzas son proporcionales á los productos de las masas y rádios en tiempos iguales*.

Dichas leyes se dan á conocer por medio del aparato de las fuerzas centrales formado por una mesa destinada á sostener un mecanismo que tenga por objeto poner en movimiento de rotación una varilla que atraviesa unas bolas de marfil y está fija en su correspondiente bastidor. Si se colocan dos esferas de desigual volumen, unidas por una cadenilla á la misma distancia del centro de la varilla, que es el centro del movimiento circular, cuando este principia, la esfera mayor arrastra á la menor, es decir, que las fuerzas centrales toman más valor al operar con más masa en tiempos y rádios iguales. Para dar á conocer la segunda ley, basta colocar dos esferitas iguales á desigual distancia del centro y se observará que la que se mueve con mayor radio arrastra á la otra. Por último, para la tercera ley se hace uso de dos esferas desiguales dispuestas de modo que la más pequeña se halle más separada del centro, y se observará que la mayor, es arrastrada en dirección de la menor.

Por el método racional se comprueban estas mismas leyes utilizando la fórmula con que la *Mecánica* expresa el valor de las fuerzas centrífugas  $F = \frac{V^2}{R}$ . En el supuesto que el movimiento circular sea uniforme la fórmula  $V = \frac{c}{t}$  se convertirá en  $V = \frac{2\pi R}{t}$ , pues  $c$  es igual á la circunferencia rectificada  $2\pi R$ , del mismo modo...,  $V^2 = \frac{4\pi^2 R^2}{t^2}$  que sustituido en la 1.<sup>a</sup>

de estas fórmulas será  $F = \frac{4\pi^2 R^2}{t^2}$ ....  $F = \frac{4\pi^2 R^2}{t^2 R}$ ....  $F = \frac{4\pi^2 R}{t^2}$  y haciendo extensiva esta última á la masa  $F = \frac{4\pi^2 R M}{t^2}$ . Hecha la comparación entre dos móviles de las con-



diciones, suprimiendo el factor común  $4\pi^2$ , hallaríamos  $F : f :: \frac{RM}{t^2} : \frac{rm}{t^2}$

$$\left. \begin{array}{l} R = r \\ T = t \end{array} \right\} F : f :: M : m \dots (1.ª \text{ ley}).$$

$$\text{de donde siendo } \left. \begin{array}{l} M = m \\ T = t \end{array} \right\} F : f :: R : r \dots (2.ª \text{ ley}).$$

$$| T = t | F : f :: RM : rm \dots (3.ª \text{ ley}).$$

75. **Aplicaciones.**—El movimiento parabólico y el circular suministran notables aplicaciones: el conocimiento de las leyes á que obedece el primero, forma el fundamento de la *Balística*, con la cual se consigue imprimir á los disparos de las armas de fuego esa precisión tan admirable: las fuerzas centrales sirven á su vez para explicar hechos muy curiosos como no verterse el agua colocada en una vasija, que gira al rededor de un punto por medio de una honda y sirven también para la explicación del sorprendente juguete llamado *ferro-carril aéreo*.

## LECCIÓN 17.

### CHOQUE Y ROZAMIENTO.

76. **Choque directo: leyes; demostraciones experimentales y fórmulas.**—La acción recíproca observada en dos cuerpos que se encuentran, forma el choque. El choque puede ser *directo* ó *central*, por verificarse según la línea de sus centros de gravedad, ó también *excéntrico* ú *oblicuo*, cuando se efectúa en una dirección cualquiera. Todas las leyes del choque directo en los cuerpos desprovistos de una perfecta elasticidad se deducen de una sencilla consideración mecánica.

Si representamos las fuerzas de los cuerpos por las ecuaciones  $\left. \begin{array}{l} F = MV \\ f = mv \end{array} \right\}$  en el acto del choque en una misma dirección tendrán una resultante  $F + f = MV + mv$ . Ahora bien, ambas fuerzas, obrando sobre las masas, imprimirán una cierta velocidad que podemos llamar  $x$ ; es decir,  $F + f = (M + m)x$ , cuya ecuación comparada con la anterior, dará  $(M + m)x = MV + mv$ , de donde  $x = \frac{MV + mv}{M + m}$ . Si los dos cuerpos caminan en sentido opuesto, una de las velocidades será negativa con respecto á la otra, y la fórmula será  $x = \frac{MV - mv}{M + m}$ . Por último si uno de los cuerpos está en reposo, su velocidad es nula y  $x = \frac{MV}{M + m}$ .

El choque directo en los cuerpos perfectamente elásticos complica notablemente las circunstancias de producción, deduciéndose algunas leyes importantes como son las siguientes: 1.ª *Al finalizar el choque de dos cuerpos elásticos, de los cuales uno se halla en reposo y el otro en movimiento, toda la velocidad que este pierde la adquiere aquel.* 2.ª *Cuando dos cuerpos elásticos se hallan en movi-*

miento, cambian recíprocamente en el choque central sus respectivas velocidades.—Estas leyes se comprueban experimentalmente suspendiendo esferas de marfil, por medio de cordones, del correspondiente soporte y produciendo los choques en condiciones apropiadas.

Del propio modo se hace ver la comunicación de velocidad entre los cuerpos elásticos, disponiendo seis ú ocho esferas de marfil pendientes de alambres de la misma longitud, de modo que sean todas tangenciales en una misma recta: separando la primera de su posición al retroceder, choca con la segunda, la que recibe la velocidad de la primera que comunica íntegra á la tercera, esta hace lo propio con la cuarta y la última es la que solamente toma una posición divergente para después hacer lo mismo que la primera.

77. Choque reflejo, leyes y demostración.—El choque oblicuo ocasionado por un cuerpo elástico puesto en movimiento contra otro en reposo, dá lugar á las leyes de reflexión formuladas de este modo: 1.<sup>a</sup> *El ángulo de incidencia es igual al de reflexión.* 2.<sup>a</sup> *La dirección incidente, la reflejada y la normal están en un mismo plano.* Así cuando una bola de marfil choca contra una superficie plana con cierta inclinación, que puede apreciarse por la perpendicular elevada en el punto del choque y que toma el nombre de normal, la nueva dirección que adquiere forma con la ya dicha normal el mismo ángulo que la dirección incidente. Se comprueban estos resultados haciendo uso de aparatos especiales como es el siguiente. Un plano semicircular provisto en su centro de una planchita de mármol que forme con el anterior un ángulo diedro recto: el borde del plano comprende divisiones en grados, á partir desde el punto medio en donde está el 0. Colocando un pequeño cañón de resorte que dispare un pequeño proyectil contra la planchita de mármol, después de chocar tomará una dirección que determina con el radio que pasa por el cero un ángulo igual al que esta misma recta forma con la dirección que llevaba el proyectil antes de producir el choque.

78. Rozamiento; aplicaciones.—La resistencia que oponen las asperezas que presentan dos cuerpos en el acto de resbalar ó deslizarse uno contra otro, ó ambos al mismo tiempo, dá lugar al rozamiento, el cual puede considerarse como un choque continuado. Por medio de los *tribómetros* se han deducido ciertas circunstancias que presiden en el rozamiento, entre ellas la *proporcionalidad de esta acción mecánica con la presión*; así como también la *independencia del rozamiento con la extensión de las superficies puestas en contacto y la velocidad del movimiento.*

79. Aplicaciones.—El choque sirve para explicar una porción de hechos á primera vista sorprendentes, como sacar por medio

de un golpe rápido y fuerte una de las monedas de la parte inferior de una torrecita formada por otras muchas sin mover las restantes; atravesar una tabla con una bola de sebo; el juego del billar, etc., etc. La aplicación más importante es el estudio de la elasticidad del éter para explicar multitud de notables fenómenos entre ellos la reflexión del calor y de la luz.

Las aplicaciones deducidas del rozamiento son también muchas, entre ellas las que se refieren á dar facilidad á los movimientos, ó por el contrario aniquilarles en ciertas circunstancias, en el primer caso se citan los aceites y grasas con que se recubren los ejes de los volantes en la maquinaria y en el segundo los frenos, tornos y galgas muy usadas en los carruajes.

## LECCIÓN 18.

### MOVIMIENTO VIBRATORIO DE LOS CUERPOS.—SONIDO.

80. **Movimiento vibratorio de los cuerpos.**—Las moléculas de los cuerpos pueden conmovirse ó separarse entre sí dentro de los límites que determinan las fuerzas moleculares por la influencia de varias causas y en el momento que cesan de actuar estas, vuelven gradualmente al estado de reposo, después de la separación dando lugar al llamado *movimiento vibratorio*.

La posición ó serie de posiciones que tiene cada una de las moléculas de un cuerpo en estas condiciones, dá lugar á la ondulación ó vibración, según el estado del cuerpo donde se produzca. En ella se estudian los mismos elementos que en cualquier movimiento, así es que el espacio recorrido nos representa la *amplitud*, el tiempo empleado la *duración* y la relación entre ambos la *velocidad*. Las ondulaciones toman nombres especiales, según las circunstancias en que se verifican, dando lugar á los siguientes calificativos con que se las conoce. Las ondulaciones son *progresivas* cuando, principiando el movimiento en un punto cualquiera del cuerpo, se trasmite á los inmediatos, y el de *estacionales* cuando las partes primitivamente conmovidas quedan en reposo. Se denominan vibraciones *sencillas* á las que comprenden la comunicación de movimiento en un sentido, y *dobles* cuando se efectúa la propagación además en un sentido opuesto. Las llamadas *longitudinales*, *transversales* y *rotatorias* son siempre dependientes de la elasticidad de tracción, flexión y torsión respectivamente.

81. **Sonido y ruido: Acústica.**—Con el nombre de *sonido* se conoce aquel efecto particular que aprecia el órgano del oído y que es producido por el movimiento vibratorio de un cuerpo al separarse de su posición, siempre que haya un medio ponderable

que reciba por comunicación la vibración del mismo cuerpo. Con el nombre de *ruido* se dá á conocer tambien un efecto análogo, pero irregular al compararle con el del sonido. La diferencia, sin embargo, entre ambos es difícil de precisar, apesar de ser apreciados con claridad.

En el sonido la impresión es continua, siendo posible apreciar su valor musical, circunstancia que no presenta el ruido en la mayoría de los casos.

La *Acústica* es una ciencia que estudia el sonido.

Esta ciencia se deduce inmediatamente del estudio del movimiento vibratorio: tiene el mismo carácter que la Mecánica, no formando parte integrante del concepto de la Física, sino simplemente auxiliando á esta en el desarrollo de su objeto.

82. **Sonido musical: escala: particularidades acústicas de la música.**—Los sonidos reciben el calificativo de musicales cuando son el resultado de vibraciones continuas, rápidas é isócronas que producen en nuestro ánimo una impresión agradable.

En el sonido musical hay que estudiar el tono, la intensidad y el timbre; el primero depende del mayor ó menor número de vibraciones y por él los sonidos se dividen en *graves* y *agudos*, los unos son producidos por un número pequeño de vibraciones y los otros por el contrario, es decir por un número grande: la segunda ó fuerza del sonido, depende de la amplitud de las oscilaciones y el tercero es dependiente de la naturaleza del cuerpo sonoro, del modo con que se ha puesto en vibración y de las circunstancias del medio empleado en la propagación.

La reunión de siete sonidos relacionados entre sí por el número de vibraciones dá lugar á la *escala musical* expresada por los siguientes monosílabos *do, re, mi, fa, sol, la, si*, en los cuales los números relativos de vibraciones son

$$1 - \frac{9}{8} - \frac{5}{4} - \frac{4}{3} - \frac{3}{2} - \frac{5}{3} - \frac{15}{8} - 2$$

En la misma escala se estudian otros siete intervalos valorables respectivamente

$$\frac{9}{8} - \frac{10}{9} - \frac{16}{13} - \frac{6}{5} - \frac{10}{9} - \frac{9}{8} - \frac{15}{13}$$

reducibles á tres diferentes que son  $\frac{9}{8}$  llamado *tono mayor*,  $\frac{10}{9}$  *semitono* y  $\frac{16}{13}$  *tono menor*. En la escala los siete sonidos se pueden reproducir en el mismo orden por períodos, formando lo que se llama la *gama*. Los sonidos musicales que forman la escala, pueden aumentar el número de vibraciones en la relación de 24 á 25, formando lo que se denominan las notas *sostenidas* y también puede disminuirse dicho número en la misma relación formando los *bemoles*.

La simultaneidad de varios sonidos que producen una impresión agradable, dan lugar al *acorde* como el perfecto mayor, *do, mi, sol* y el acorde perfecto, *la, do, mi*, siendo el acorde más perfecto el *unísono*.

83. **Diapasón.**—Es un instrumento que al vibrar produce una nota invariable que se utiliza para templar los instrumentos de música.—Está formado por una barra de acero encorvada á manera de herradura muy prolongada y que se fija en una caja abierta por sus extremos: el rozamiento producido por un arco de violín, ó la separación brusca de las dos ramas por medio de un cilindro de hierro sirve para producir el sonido normal.

Desde el año 1859 las principales potencias europeas adopta-

ron un diapasón tipo, que produce con 870 vibraciones en un segundo la nota musical *la* y de este modo se conserva el mismo tono en la música de todos los países convenidos. España aceptó también este acuerdo, haciéndolo obligatorio á todos los establecimientos musicales desde el año 1879.

## LECCIÓN 19.

### MOVIMIENTO VIBRATORIO DE LOS SÓLIDOS.

84. **Movimiento vibratorio en los cuerpos sólidos.**—El movimiento vibratorio es siempre el resultado de las diferentes posiciones de aproximación y de separación que alternativamente presentan las partículas de un cuerpo en el momento que cesa de actuar aquella fuerza que alteró las condiciones de equilibrio.

Una varilla ó lámina recta de acero bien templada, fija sólidamente por uno de sus puntos, al separarla de su posición, haciéndola tomar una forma curva, vuelve otra vez á la primitiva posición, realizando una trepidación especial, que da lugar al movimiento vibratorio y que se manifiesta por dos impresiones diferentes, una en la vista que aprecia los diferentes cambios de posición tanto mejor, cuanta mayor sea la longitud del cuerpo, otra por el oído, tanto mayor cuanta menor sea la longitud del cuerpo que vibra.

85. **Vibración de las cuerdas: leyes y demostraciones, experimentales.**—**Sonómetro Montu, nodos y vientres.**—Se dá el nombre de cuerdas sonoras aquellos cuerpos filiformes de origen orgánico ó metálico sujetas por sus extremos en dos puntos fijos, de modo que al separarlas de su posición de equilibrio pueden producir el movimiento vibratorio.

La disposición indicada determina en estos cuerpos vibraciones trasversales, sea cualquiera el medio de conmoción que se emplee, como sucede por adherencia con el empleo de los llamados arcos, por percusión y por el intermedio directo del contacto con los dedos en las cuerdas de los violines, pianos y arpas.

Las leyes á que se hallan sometidas las vibraciones de las cuerdas, son: 1.<sup>a</sup> *El número de vibraciones está en razón inversa de la longitud.* 2.<sup>a</sup> *El mismo número está en razón inversa del radio de la cuerda.* 3.<sup>a</sup> *Dicho número es inversamente proporcional á la raíz cuadrada de la tensión.*

Todas estas leyes se comprueban experimentalmente con el empleo del *sonómetro* que está formado por una caja rectangular de madera de paredes muy delgadas que tiene en la parte superior dos reglas divididas en partes iguales y sobre las cuales se colocan sostenidas por caballetes de madera las cuerdas con que se opera, fijas por uno de sus extremos en anillas de metal y por los otros empleando contrapesos graduados á voluntad.

También se pueden comprobar por el método racional deduciéndolas mate-

máticamente de la fórmula  $n = \frac{1}{r l} \sqrt{\frac{P}{\pi d}}$

En las vibraciones de las cuerdas se presentan puntos ó líneas, en las que las vibraciones son menos que en otros que se hallan en constante movimiento; los unos forman los *nodos* y los otros los *vientres*. Estos se pueden dar á conocer muy sencillamente, sin más que colocar indistintamente en una cuerda vibrante pequeños trozos de papel, los cuales ocupan siempre una posición constante al hallarse situados en aquellos puntos en donde no se inicia el movimiento.

86. **Vibración de las planchas.**—Los cuerpos metálicos dispuestos en superficies planas y sujetos por un punto forman las planchas vibrantes, en las cuales se observa que *el número de vibraciones está en razón inversa de su extensión superficial y en razón directa del grueso ó espesor*. Las planchas vibrantes ofrecen la particularidad de presentar una gran regularidad ó simetría en la disposición de sus *líneas nodales*.

87. **Vibración de las membranas y de las varillas.**—Estos cuerpos son susceptibles de producir vibraciones, cuyo número está sujeto respectivamente á leyes análogas á las de las cuerdas y planchas.

Las varillas para vibrar necesitan hallarse fijas por uno de sus extremos y las membranas en todo su contorno con la suficiente tensión.

88. **Propagación del movimiento vibratorio de los sólidos.**—**Fundamento del teléfono.**—Los cuerpos sonoros ponen en movimiento todas sus partículas en el acto de producir sonido, es decir, que, cuando una partícula vibra, comunica á todas las demás este movimiento. Para dar á conocer este carácter basta observar el movimiento de oscilación que produce un pequeño péndulo colocado en cualquiera posición, y á una pequeña distancia de una campana en el acto de producir un sonido.

La facilidad con que se oye á grandes distancias, colocando el oído en contacto con la tierra es otra prueba de la propagación del movimiento vibratorio de sólidos, lo mismo que la circunstancia que se observa cuando aplicamos también el oído en el extremo de una larga barra metálica y en el otro extremo efectuamos un ligero rozamiento que se percibe notablemente amplificado.

Con el nombre de *teléfono* se ha dado á conocer un interesante aparato, llamado á causar una gran revolución en los medios telegráficos. Su principio fundamental estriba en la velocidad de trasmisión del sonido en un alambre metálico puesto por sus dos extremidades en comunicación con una lámina de hierro muy delgada que puede vibrar por la influencia de los sonidos vocales. Una corriente eléctrica de las denominadas de *inducción*, por la presencia de un imán, perfecciona los resultados de propagación: el aparato es doble para hacer el oficio de productor de sonidos y receptor, y además se hallan encerradas las partes que le constituyen en un estuche de madera en forma de trompetilla.

## LECCIÓN 20.

## MOVIMIENTO VIBRATORIO DE LOS FLUIDOS.

89. **Movimiento vibratorio de los líquidos y de los gases.**—Siendo la elasticidad una propiedad tan general en la materia, pero muy particularmente en los cuerpos gaseosos, estos y los líquidos al ser separados de su posición de equilibrio realizarán también una serie de movimientos que determinarán la formación de ondulaciones. En efecto, basta arrojar una piedra en una masa grande de agua que se halle en completo reposo, para observar la formación en la superficie de una serie de ondas que se suceden las unas á las otras y que todas tienen la forma de círculos concéntricos, que durante su movimiento de traslación se rompen en los límites que representa el agua hasta llegar a un momento en que la masa líquida vuelve á su primitivo reposo.

Esto que se observa en la superficie, se manifiesta también en el interior de la masa, así es que la disposición de las ondas es la de esferas concéntricas que, al romperse en la superficie plana de las aguas, determinan los citados círculos.

En los gases y muy particularmente en el aire atmosférico el movimiento vibratorio se produce del mismo modo, dando lugar á la formación de ondas esféricas progresivas alternativamente condensadas y enrarecidas.

90. **Velocidad del sonido en los líquidos: experimentos de Colladón y Sturm.**—El espacio recorrido por el sonido en la unidad de tiempo, es decir, la velocidad en los líquidos asciende á 1.435 metros por segundo en el agua á la temperatura de 8 grados, según las experiencias realizadas (1827) por Colladón y Sturm en el lago de Ginebra. Este experimento se verificó de noche, colocando á la distancia de 13.487 metros dos barcas, una sostenía dentro del agua una campana, cuyo martillo al tiempo de producir sonidos, disparaba un fogonazo; la otra barca dejaba sumergir una bocina en la dirección de la primera y observaron que entre la aparición del resplandor y la percepción del sonido de la campana, había un intervalo de nueve segundos. (a)

91. **Velocidad del sonido en los gases: experimento de La-caille y Cassini.**—Los trabajos practicados para averiguar la velocidad de propagación de los gases á la temperatura de 0, ha dado los resultados siguientes: oxígeno 317, ácido carbónico 261, hidró-

(a) Experimentos más delicados han servido para obtener los resultados siguientes. Eter sulfúrico, 1.159 metros; alcohol de 36°, 1.286, y agua del mar, 1.454. Según los trabajos de F. Lucas verificados en 1872, la velocidad del sonido en el agua es mucho menor.

geno 1.269. Los primeros experimentos para determinar la velocidad del sonido en el aire, fueron verificados en 1738 por los académicos Lacaille y Cassini, observando durante la noche el tiempo que trascurría en la aparición de un fogonazo y la percepción del sonido á la distancia de 18.612 metros que separaba las estaciones á Villejuif y Montlhéry cerca de París, es decir, 54 segundos que determinan una velocidad de 330 metros, ofreciendo muy poca diferencia los experimentos de Bravais, Regnault, Le Roux y otros.

92. **Leyes de propagación del sonido en el aire: reflexión del sonido.**—La comunicación de movimiento en las partículas materiales del aire bajo la influencia de un cuerpo en vibración, se efectúa siempre con cierta regularidad, lo cual sirve de punto de partida para el establecimiento de leyes: entre estas se pueden incluir las que se refieren á la influencia de la intensidad del sonido, formuladas en los siguientes terminos: 1.<sup>a</sup> *La intensidad del sonido está en razón inversa del cuadrado de la distancia:* para comprobar esta ley, podemos colocar delante de nosotros en línea recta dos timbres sonoros á una distancia el segundo doble del primero y, apesar de estar dispuesto aquel de un modo tal que el sonido que produce es cuatro veces más intenso que este, ambos impresionan al oído del mismo modo. 2.<sup>a</sup> *La propagación se efectúa en todos sentidos y en línea recta,* como fácilmente se comprende.

El sonido sigue además las leyes de la reflexión de los cuerpos elásticos, cuando llega á incidir sobre la superficie de cuerpos pulimentados las ondas sonoras. Puede comprobarse esto mismo disponiendo dos casquetes parabólicos cóncavos, de manera que se correspondan en un mismo eje, en uno de los cuales exista en su foco un reloj de bolsillo, que el observador á la misma distancia que separa entre sí á ambos espejos no pueda oír el golpeo del martinete, pero al situarse en el foco del otro espejo, llega á percibirlo con la misma claridad que si estuviese situado á una pequeña distancia.

93. **Ecos y resonancias.**—La reflexión del sonido sirve para explicar los llamados *ecos* y *resonancias*, así como tambien para la audición en los llamados salones secretos. Hay muchos edificios en los cuales se observan estos efectos, como sucede en el castillo de Simonetta, (Milán) y en el Conservatorio de Artes de París.

94. **Bocina acústica: megáfono Edison.**—La bocina ó portavoz es un tubo ligeramente cónico prolongado, terminado en su base menor por una ancha embocadura, y que permite transmitir las voces á largas distancias por la serie de reflexiones sucesivas de las ondas en las paredes del mismo.

Edison ha perfeccionado este instrumento, dando lugar á su *megáfono*, compuesto de una gran bocina colocada en medio de dos conos de 60 centímetros de diámetro las bases mayores y de cerca de 3 metros de largo, tanto como la bocina; los vértices de estos conos se prolongan en tubos flexibles que puedan adaptarse á los oídos, haciendo el oficio de receptores, mientras las bocinas



tienen su natural uso.—El aparato es doble y permite conversar fácilmente dos personas separadas á la distancia de 2.400 á 3.200 metros y en voz muy baja á los 300 metros.

## LECCIÓN 21.

### MOVIMIENTOS VIBRATORIOS ESPECIALES.—REPRESENTACIONES GRÁFICAS.

95. **Movimiento vibratorio del aire en los tubos.**—Llámanse tubos sonoros aquellos en los cuales, haciendo pasar por el interior de ellos una columna de aire, producen sonidos. Es condición precisa que la corriente no sea constante, sino interrumpida gradualmente, produciendo condensaciones y dilataciones rápidas, lo cual se verifica por medio de las *embocaduras* ó las *lengüetas*, bien sean estas batientes ó libres, no influyendo para nada, á no ser para los efectos del timbre, la naturaleza del tubo.

En ellos se observa también los puntos nodales y los vientres, así como la realización de ciertas leyes debidas á Bernouilli.

96 **Vibraciones producidas por las llamas: Pirófono de F. Kastner.**—Desde el descubrimiento de la denominada *armonia química* por la combustión de una corriente de hidrógeno en el interior de un tubo hasta nuestros días, se han venido estudiando las vibraciones que producen las llamas. Entre estos estudios los más notables, son debidos á Tyndall con las denominadas llamas sensibles por los sonidos unísonos que producen alternativamente cuando se habla cerca de ellas.

Estos curiosos experimentos sirvieron de base á M. Kastner para la construcción de su *pirófono*, instrumento formado por tubos de cristal de diversos tamaños y secciones, dispuestos de modo que permiten dejar paso á las llamas de gas que salen por ciertos surtidores que un teclado especial puede abrir ó cerrar: los sonidos emitidos son de un timbre que imita la voz humana.

97. **Experimentos de Duhamel para la determinación gráfica de las vibraciones.**—El experimento se reduce al empleo de un diapasón, es decir, una barra de acero bien templado que tiene la forma de herradura notablemente prolongada y fija horizontalmente en su correspondiente soporte: este diapasón lleva en uno de sus brazos una laminita de acero que toca en un punto á un cilindro recubierto con una hoja de papel con negro de humo. El cilindro está taladrado por un eje vertical terminado en manubrio que, no solo le comunica un movimiento de rotación, sino otro de ascenso, pues el eje está dispuesto en tornillo y los

cojinetes en tuerca. De este modo al vibrar el diapasón, tocando la laminita á la superficie del cilindro rotatorio, queda descubierta la hoja de papel del negro de humo en todos aquellos sitios por donde roza la lámina. Falta simplemente fijar el trazo producido, bien pasando un lapiz, ó sumergiendo la hoja de papel en una disolución gomosa.

98. **Fonotógrafo de Leon Scott: Sirena acústica**—En el fondo de un gran recipiente de forma cónica se halla colocada una membrana perfectamente plana que está provista de una laminita de acero y toca á un cilindro dispuesto del mismo modo que el empleado por Duhamel, pero que se halla colocado horizontalmente. Al producir un sonido cualquiera reforzado en intensidad por el recipiente vibra la membrana y este comunica su movimiento á la lámina que es la encargada de marcar en el cilindro la curva representante de las vibraciones.

M. Caguiard Latour ha dispuesto un pequeño aparato, que mide el número de vibraciones de un cuerpo sonoro en un tiempo dado, pudiendo funcionar debajo del agua. Se llama *sirena acústica* y está formado por dos pequeños cuadrantes provisto de dos índices, uno marca el número de vueltas y el otro los cientos de las mismas, movidos por la comunicación que guarda con sus ruedas dentadas un tornillo sin fin, cuyo vástago se fija en el centro de una platina atravesada por orificios oblicuos, pero equidistantes, los cuales se corresponden con otros rectos colocados en la base superior de su caja cilíndrica por donde se da paso á una corriente de aire que pone en movimiento este aparato.

99. **Fonógrafo Edison: modificaciones importantes: fonómetro Edison**.—Con el nombre de fonógrafo ideó en 1877 Edison, un instrumento que permite no solo quedar grabadas las vibraciones, sino en condiciones de ser reproducidas con admirable fidelidad: está formado por un eje horizontal tallado en un tornillo que gira sobre dos cojinetes verticales colocados en la correspondiente prensa, uno de sus extremos lleva el manubrio, el otro un volantito, en la parte central un cilindro ó tambor recubierto de una hoja de papel de estaño; la peana sirve para sostener una boquilla provista de una membrana movable que lleva un pequeño estilo que es tangente al cilindro. Cuando se habla delante de la boquilla, acentuando bien las frases, y se da vueltas al cilindro, el estilo ó punzón araña ó forma un surco en la hoja de estaño y queda grabada la curva sinuosa de las vibraciones. Para reproducir estas, basta deshacer el camino andado y colocar el estilo en el punto de partida é imprimir un movimiento de rotación; el punzón pasa por el surco que antes había producido, vibra la membrana y se oyen los sonidos en análogas condiciones á las de su producción.

Mr. Edison ha tenido la feliz ocurrencia de aplicar á dicho instrumento un aparato de relojería como impulsor de la rotación del cilindro, evitando de este modo la variación de intensidad del sonido por la variación de velocidad producida por la mano. No contento dicho sábio con todo esto y verificando experimentos con el teléfono y fonógrafo, ha ideado un instrumento que con el nombre de *fonómetro*, permite medir la fuerza mecánica de las ondulaciones del sonido producidas por la voz humana y mediante una muy sencilla modificación ha conseguido producir un trabajo como el agujerear además una plancha.

## SECCION SEGUNDA.—Atracción.

### CAPITULO I.

#### *Atracción universal.*

#### LECCIÓN 22.

##### GENERALIDADES Y LEYES DE LA ATRACCIÓN UNIVERSAL.

100. **Atracción en general: opinión de Schramm.**—Con la palabra atracción se designa aquella fuerza por la cual todos los cuerpos en presencia unos de otros, sea cualquiera la distancia que los separa, tienden á precipitarse mutuamente.

Esta fuerza que tiende á mover unos hacia otros todos los cuerpos de la naturaleza, así como las partes que les constituyen recibe los calificativos de universal ó de *gravitación* cuando se refiere á los astros; *gravedad* cuando se considera á los cuerpos sobre la tierra y *molecular* respecto á la que tiene lugar entre los elementos materiales de los cuerpos.

La atracción se considera generalmente como un carácter intrínseco de la materia, pero distinto de esta; hay algunos que defienden la inercia de la materia y conceden á la misma el poder atractivo. La atracción no es real, es un elemento necesario ó preciso de explicación: los físicos Newton y Euler no vieron en la materia mas que inercia y el movimiento impreso por una primitiva causa.

Según los estudios de Schramm, el movimiento de la materia es la causa de los efectos atractivos que nosotros observamos y en general de todos los fenómenos físicos: esta teoría fué dada á conocer en 1873 en Viena y nos parece algo aventurada y problemática en muchos de sus resultados.

101. **Gravitación: leyes de Galileo y Kepler.**—La atracción universal es una fuerza ó tendencia aproximativa y recíproca entre los cuerpos del Universo.

Esta fuerza fué conocida desde los tiempos más antiguos por comprender desde luego que ella había de servir para la explicación del orden armónico y sucesivo que observaron desde luego en los astros.

Galileo en 1590 fué el primero que por medio de una racional observación trató de explicar con una ley la falsedad de las antiguas doctrinas referentes á este punto formulándola de este modo: *Todos los cuerpos caen en el vacío con la misma velocidad.*

Mediante un número grande de observaciones, dedujo Kepler, discípulo de Tycho-Brahe, las siguientes leyes: 1.<sup>a</sup> *Los planetas describen elipses en uno de cuyos focos está el Sol.*—2.<sup>a</sup> *Las áreas descritas por los radios vectores trazados desde el centro del Sol al del planeta, son proporcionales al tiempo.*—3.<sup>a</sup> *Los cuadrados de los tiempos son proporcionales á los cubos de los grandes ejes de las órbitas.*

102. **Ley de Newton: sus caracteres.**—Fundado Newton en las anteriores leyes, estableció el principio general que: *Los cuerpos se atraen en razón directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias.*

El punto de partida de este famoso principio debió ser el conocimiento de las leyes de la inercia.

Los experimentos practicados para comprobar en pequeñas masas aisladas la atracción en la forma propuesta han servido para medir la densidad de la tierra.

Con esta importantísima ley, podemos determinar el peso recíproco de los astros, pero no la causa de la gravitación que nos es desconocida.

103. **Teorías de Pfoelstiker y Walter.**—Pfoelstiker en nuestros tiempos se propone desterrar de la Física todo concepto de fuerza, admitiendo en su teoría como fundamento la existencia de los que él llama *Kinetos*, verdaderos puntos materiales que pueblan por todas partes el universo, caracterizados cada uno de ellos por la facultad de moverse, dando lugar en nosotros la suma de estos movimientos á lo que llamamos materia. Estos *Kinetos* constituyen agrupaciones y son susceptibles de ser atravesados los unos por los otros, ó ser penetrables y producir movimientos vibratorios.

El doctor alemán Walter, admite el concepto de fuerza capaz de obrar á distancia, de tal modo, que las leyes del movimiento de los astros son las mismas que los de las moléculas de los cuerpos: según esta teoría el átomo está compuesto de otros elementos ó *nómadas* de cuya especial agrupación y movimiento dependen las propiedades del átomo material. Los átomos están formados por un número constante de *nómadas* que forman un pequeño sistema solar, admitiendo además la molécula constituida por un sistema variable de átomos susceptibles de fraccionamiento.

## CAPITULO II.

*Atracción molecular.*

## LECCIÓN 23.

## MANIFESTACIONES DE LA ATRACCIÓN MOLECULAR.

104. **Atracción molecular.**—Con este nombre se designa aquella fuerza que tenemos necesidad de admitir para explicar esa tendencia que manifiestan las moléculas de los cuerpos para estar próximas.

Se observa también en las moléculas una tendencia opuesta, ó sea la de separación: toma el nombre de *distensión* ó repulsión molecular debida según algunos al calor.

La atracción molecular ejerce su acción á distancias infinitamente pequeñas que nunca son apreciables, cuyo carácter sirve para diferenciar esta atracción de la universal y de la gravedad.

La atracción molecular da lugar á la *cohesión*, *afinidad* y *adhesión*.

105. **Cohesión:** sus caracteres.—La cohesión es aquella manifestación de la atracción que mantiene unidas las moléculas homogéneas ó de igual naturaleza. Dos ó más moléculas de hierro, agua, carbón ó cristal están unidas por esta fuerza caracterizando dichos cuerpos, bien sean simples ó compuestos, por hallarse formadas sus moléculas de átomos iguales ó desiguales.

En los gases se puede reputar como nula la cohesión, es mayor en los líquidos y muy notable en los sólidos.

Decrece por los efectos de temperaturas más ó menos elevadas.

Las diversas modificaciones de la cohesión dan lugar á la presencia de propiedades particulares, entre las cuales se citan la elasticidad, tenacidad, dureza y algunos otros.

En los líquidos dispuestos en grandes masas, la gravedad domina á la cohesión; así es que la forma que adquieren es dependiente de los receptáculos en donde están encerrados, pero en pequeñas cantidades se manifiesta afectando la forma de diminutas gotas esferoidales que ofrecen alguna resistencia al fraccionamiento, como ejemplo de esta verdad se puede citar el mercurio extendido en una gran superficie plana.

106. **Afinidad:** sus caracteres: trascendencia de su estudio.—La afinidad, llamada también fuerza de combinación, es aquella que une los átomos distintos, ó que ejerce su acción sobre las moléculas diferentes: dos átomos de hidrógeno se unen á otro de

oxígeno y forman el agua; la fuerza de unión de los átomos es la afinidad, mientras que la cohesión reúne las moléculas.

Las causas que debilitan la cohesión aumentan la afinidad; sin embargo, el calor produce efectos muy variables, facilitando ó destruyendo la afinidad y otro tanto sucede con los variados agentes físicos.

La afinidad está sujeta á leyes determinadas y su estudio es de gran trascendencia, porque constituye una ciencia de mucha importancia, compañera inseparable de la Física: ambas reconocen un mismo origen constitutivo, es la Química.

107. **Adhesión: sus manifestaciones en los diversos estados de los cuerpos.**—Aquella adherencia que se observa entre dos cuerpos que ponemos en contacto íntimo, caracteriza la *adhesión* ó resistencia á la separación después del contacto.

La adhesión entre los sólidos se manifiesta en muchos casos, como sucede entre las hojas de papel, ó entre las láminas de cristal. Aumenta con el pulimento y la duración de la superficie y es independiente de su espesor y de la presencia del aire. Estos extremos se manifiestan por los discos de Magdeburgo que, no son otra cosa más que dos láminas ó trozos de cristal perfectamente pulimentados, y que, deslizando el uno sobre el otro, se adhieren con tal fuerza que, suspendidos de un soporte especial y pendiente un peso, no se consigue separarlos, á no emplear un esfuerzo considerable.

La adhesión tiene lugar entre los sólidos y los líquidos, cuando colocamos aquellos sobre la superficie de estos, observando la resistencia que oponen á la separación.

La adhesión entre las partículas líquidas es bien manifiesta, según los experimentos de Plateau y Terquem, observando las películas finísimas que recubren armazones de alambre de formas poliédricas más ó menos caprichosas, cuando se opera con disoluciones acuosas de jabón ó azúcar.

La adhesión entre los gases se manifiesta por esa tendencia á la unión, que observamos en las búrbulas gaseosas dentro de una masa líquida.

## LECCIÓN 24.

### CASOS ESPECIALES DE ATRACCIÓN MOLECULAR: CAPILARIDAD.

108. **Casos especiales de atracción molecular.**—Son numerosos los experimentos que podemos citar para comprobar la atracción molecular en los diversos estados, entre estos se pueden incluir los siguientes: 1.º Los anillos que producen las gotas de ciertos líquidos al caer dentro de la masa de otros.—2.º Las caprichosas figuras que resultan cuando los líquidos, particularmente el agua,

al brotar de un surtidor encuentra á muy pequeña distancia de este un plano con quien choca, ú otro nuevo chorro en la misma ó en diversa dirección, y 3.º la tensión que ofrece la superficie de los líquidos en reposo que es objeto de estudios muy interesantes.

La absorción que los sólidos manifiestan con relación á los gases participa también de este carácter como sucede con la propiedad higroscópica de ciertas sustancias para atraer hacia sí el vapor acuoso: como la potasa, el ácido carbónico; y el carbón, el amoniaco.

109. **Capilaridad: sus leyes y manifestaciones.**—Los fenómenos de *capilaridad* están representados por elevaciones y depresiones de los líquidos en sus niveles cuando se hallan encerrados en tubos muy delgados.

Un terrón de azúcar puesto por un solo punto en contacto con un líquido, deja á este elevarse en toda su masa, las mechas de los quinqués, los suelos impermeables que llevan el agua á distancias considerables, nos presentan ejemplos de fenómenos capilares, todos los cuales son siempre dependientes de la mútua acción de las moléculas de los líquidos y las de los sólidos.

Las leyes de la capilaridad comprenden dos casos: el de las elevaciones y el de las depresiones en tubos y en láminas. Las de elevaciones en tubos son dos: 1.ª *La elevación varía con la naturaleza del líquido y con la temperatura; pero es independiente de la materia de los tubos y del espesor de sus paredes.* 2.ª *Para un mismo líquido la elevación está en razón inversa del diámetro del tubo.* Las depresiones en tubos se refieren también á líquidos que no mojen, y se hallan en razón inversa del diámetro, siendo dependientes de la naturaleza de los mismos.

Las leyes de las elevaciones y depresiones entre dos láminas, son las siguientes: 1.ª *Las elevaciones y depresiones se efectúan con regularidad y son proporcionales al espacio que las separa.* 2.ª *Son siempre la mitad de las que se observan en tubos, cuyo diámetro fuese igual al intervalo ó espacio de separación.*

Para la comprobación de algunas de estas leyes se hace uso de los aparatos de M. Jurin y de las láminas de Kautsbee.

El primero de estos aparatos le forman cuatro tubitos comunicantes, dispuestos de modo que los dos brazos delgados varían en las proporciones de 5<sup>mm</sup> y 0.5<sup>mm</sup>; están fijos en una tabla vertical con su correspondiente pié, dividida en partes iguales por rectas paralelas equidistantes para apreciar de este modo las alturas de las depresiones y elevaciones que pueda tener el mercurio que llena hasta cierta altura los dos primeros tubos y las del agua que ocupa los dos últimos. El segundo de aquellos aparatos le forman dos hojas de cristal unidas entre sí, formando ángulo diedro por medio de unas charnelas: se introducen en una vasija que contenga el líquido el cual en el acto de cerrar la abertura angular engendra su superficie la curva hipérbola equilátera que da á conocer las relaciones indicadas.

110. **Resultado de los experimentos de F. Springmühl y T. Meyer.**—Revelan especial interés y novedad los experimentos que han practicado estos distinguidos físicos, relativos al movimiento de los gases al través de tubos capilares, de donde resulta que dicho movimiento es proporcional á la presión y que los vo-

lúmenes gaseosos que recorren en tiempos iguales, están en razón inversa de la longitud de los tubos, cuya ley fué ya deducida en los líquidos que atraviesan tubos capilares, por Hagen y Poiseuille.

## LECCIÓN 25.

### DIFUSIÓN: ENDÓSMOSIS Y EXÓSMOSIS.

111. **Difusión de líquidos y gases: investigaciones de Dufour.**—Con el nombre de *difusión* se ha dado á conocer la mezcla espontánea de dos líquidos de naturaleza diferente ó de diferente grado de concentración, que no tienen acción química uno sobre otro. La difusión puede comprobarse llenando una probeta con tintura de tornasól, en la cual se vierte hácia el fondo, valiéndonos de un embudo con pico de gran longitud, ácido sulfúrico que enrojece la parte á donde cayó y más tarde se eleva por toda la masa hasta colorear completamente el líquido.

*En igualdad de tiempo la difusibilidad varía de un líquido á otro;* está es una de las leyes de la difusión, que demostró experimentalmente Graham.

La mezcla espontánea de los gases se verifica con más rapidez que en los líquidos.

Una de las circunstancias que interviene en la difusión de los gases es la densidad: la difusión de los gases es consecuencia de su expansibilidad. Al químico francés Bercholet se debe los primeros trabajos de difusión de gases. Dufour célebre investigador suizo, ha estudiado la difusión de los gases al través de paredes porosas y, operando con el hidrógeno y el aire, ha tenido ocasión de observar que, siendo la presión constante por el lado donde se verifica la difusión, resulta siempre más alta la temperatura y más baja por el lado donde sale el gas.

112. **La endósmosis y la exósmosis: experimento de Dutrochet.**—El fenómeno de la difusión también puede efectuarse á través de una membrana, dando lugar á la *endósmosis* y *exósmosis*; la primera se refiere á la corriente entrante y la segunda á la corriente saliente.

El endosmómetro Dutrochet es el aparato empleado para dar á conocer estos movimientos de los líquidos; se halla formado por un pequeño frasco de cristal, cuyo fondo es una membrana; y lleva además el correspondiente tubo dividido en partes iguales: si dicho frasco se llena de una disolución gomosa, y el todo se introduce en un recipiente de agua destilada, al cabo de cierto tiempo se observa que el líquido se eleva á lo largo del tubo y el agua del vaso ha dejado pasar la goma existente en el frasco.

113. **Aplicaciones analíticas.**—La Química analítica hace frecuente uso de estos hechos en sus operaciones de descomposición; los medios empleados varían y entre ellos se puede citar la diálisis.

La *Diálisis* es una operación de análisis química, por la cual



se consigue separar ciertas sustancias de otras, como son las *crystalóides* ó susceptibles de cristalizar de las *colóides*, no cristalizables.—El *dializador* de Graham es un verdadero endosmómetro, pues se halla formado por una caja cilíndrica de poca altura, con el fondo de papel pergamino que puede introducirse en una vasija de cristal que contiene agua destilada y en el interior del dializador el líquido que se trata de analizar.

Son verdaderamente notables los experimentos practicados por el Profesor Mastuis de Venecia, referentes á la variedad de formas que afectan des líquidos cuando uno de ellos penetra en el otro por el fondo, auxiliado de un tubo capilar vertical, estas figuras son iguales para cada clase de líquido, por cuyo motivo pueden servir estos hechos de antecedentes analíticos, dada la constancia de su producción.

114. Experimentos de Plaff sobre los límites de las fuerzas moleculares.—Los experimentos verificados por el sabio alemán Plaff relativos á los límites de las fuerzas moleculares, han dado los siguientes resultados: el agua puede permanecer líquida á una temperatura de 24 grados bajo cero, si conseguimos impedir su natural aumento de volumen; el ácido nítrico no ataca al espato calizo operando con una gran presión y otro tanto sucede al ácido sulfúrico y zinc; por último, la acción de la *capilaridad* queda nula cuando llegamos á comprimir los líquidos á cierto grado.

## CAPÍTULO III.

### *Gravedad.*

#### TÍTULO I.—La gravedad en general y los sólidos.

### LECCIÓN 26.

#### PRINCIPIOS FUNDAMENTALES: LA GRAVEDAD Y LA MASA.

115. Gravedad: su dirección: plomada.—La gravedad es una fuerza por la cual todos los cuerpos descienden á la superficie de la tierra, pues, si bien es cierto, que algunos como el humo y las nubes se elevan de la misma, es porque se hallan sostenidos por el aire atmosférico, igual que el corcho y otros cuerpos pueden suspenderse en el agua ó en otros líquidos.

La dirección de la gravedad se representa por una recta perpendicular á la superficie horizontal: es decir, la dirección denominada *vertical*. La plomada es un instrumento bien sencillo y está formado por un hilo fijo en un punto por uno de sus extre-

mos y en el otro deja pendiente un cuerpo pesado; es el aparato que podemos emplear para apreciar la referida dirección, toda vez que, cuando se halla en equilibrio, forma el hilo con una superficie horizontal, como puede ser la de las aguas en completo reposo, un ángulo de 90 grados.

La gravedad se manifiesta provocando tres acciones sobre los cuerpos: la primera se refiere á la masa, la segunda al equilibrio y la tercera al descenso en la superficie de la tierra.

116. **La gravedad y la masa: peso absoluto, relativo y específico.**— Si la masa de los cuerpos se halla formada por la cantidad de materia, ó la agrupación de los elementos materiales, cada uno de estos se hallará sujeto á la acción de la gravedad, de modo que tendremos á las moléculas materiales sometidas cada una de ellas á una fuerza que las dirige hácia el centro de la tierra y que formarán un verdadero sistema de fuerzas sensiblemente paralelas. Estas tendrán en definitiva una misma resultante, cuyo valor forma lo que se llama *peso absoluto* del cuerpo, es decir, la presión que ejerce el mismo cuerpo sobre el obstáculo que impide su caída. Como dicha resistencia será tanto mayor cuanto más cantidad de materia posee el cuerpo, de aquí se deduce que el *peso absoluto es proporcional á la masa*. No siendo posible la determinación material del peso absoluto, comprendemos esta proporcionalidad de una manera relativa partiendo de una unidad convencional, dando lugar al llamado *peso relativo*, ó el que determinamos por medio de la balanza, y que no es otro sinó la *relación entre el peso absoluto del cuerpo con respecto al de la unidad*. Además tenemos también el llamado *peso específico*, que relaciona los pesos anteriores con un mismo volumen entre el del cuerpo dado y el del agua destilada.

La relación existente entre la masa que contiene un cuerpo en igualdad de volumen con otro tomado como tipo de comparación, será lo que denominamos *densidad relativa* que acostumbra á tomarse como equivalente del *peso específico*. La densidad absoluta será, por lo tanto, dependiente de la cantidad de materia que posea un cuerpo en la unidad de volumen.

117. **Leyes y fórmulas resultantes.**— Al relacionar las densidades con los pesos se observa la existencia de las siguientes leyes: 1.<sup>a</sup> *Los pesos son proporcionales á los volúmenes á igualdad de densidad.* 2.<sup>a</sup> *Los volúmenes están en razón inversa de las densidades á igualdad de pesos.*

Estas leyes se comprueban facilmente por el raciocinio, si bien para conseguirlo es necesario representar algebráicamente las masas y las densidades. Si suponemos que

V es el volumen de un cuerpo.

M la masa del mismo.

D su cantidad de materia en relación con la unidad volumétrica } es evidente que M será igual á D

veces V; de donde  $M=V D$  (1.<sup>a</sup>) ó también  $D=\frac{M}{V}$  que expresa la relación entre la masa y el volumen que forma su densidad.

Del mismo modo en el supuesto de ser el peso de un cuerpo la fuerza que le dirige y la gravedad la aceleración de velocidad, la masa de cuerpo comprenderá la relación existente entre aquellas, es decir,  $M = \frac{P}{g}$  siendo  $M = \text{masa}$ ,  $P = \text{peso}$ ,  $g = \text{gravedad}$  } de cuya ecuación se deduce  $P = Mg$ :  
 sustituyendo en ésta el valor de  $M$  de la ecuación (1) se deduce  $P = VDg$ , es decir, el peso expresado en función del volumen, de la densidad y de la gravedad.—Compararemos dos cuerpos en estas circunstancias

$$P = VDg \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{es decir} \\ \text{p} = \text{vdg} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \frac{P}{p} = \frac{VD}{vd} \\ \text{siendo } D = d \dots P : p :: V : v. \text{ (1.ª ley)} \end{array} \right.$$

$$\text{y} \quad VD = vd \quad \text{siendo } P = p \dots V : v :: d : D. \text{ (2.ª ley).}$$

## LECCIÓN 27.

### LA GRAVEDAD Y EL EQUILIBRIO DE LOS CUERPOS.

118. **Acción de la gravedad en el equilibrio de los cuerpos.**—**Centro de gravedad: su determinación.**—Admitida la existencia de la acción de la gravedad en la masa de los cuerpos, observamos que cuando estos se hallan en reposo afectan un verdadero equilibrio, toda vez que están sometidos á la acción de dos fuerzas iguales y contrarias; una que es la gravedad, por la cual caminarán hácia el centro de la tierra, y la otra representada por las resistencias que se oponen á este descenso.

Suponiendo que las acciones de la gravedad se hallan en definitiva representadas por una resultante final, esta última fuerza tendrá su correspondiente punto de aplicación, el cual toma el nombre de *centro de gravedad*.

Este punto es invariable para cualquiera de las posiciones que tenga el cuerpo, y siendo este de la misma densidad en todas sus partes, el sitio que ocupa dicho punto no depende mas que de la figura, y en este caso se observa, que aquellos que son cuerpos semejantes tienen sus centros de gravedad semejantemente colocados.

La determinación del centro de gravedad de los cuerpos sólidos se consigue siguiendo dos procedimientos: el 1.º se refiere á todos aquellos cuerpos de figura regular, en los que el centro de gravedad se corresponde siempre con el centro geométrico determinado por las reglas generales; el 2.º es aplicable á todos los demás y consiste en suspender el cuerpo por medio de un hilo ó cuerda en dos posiciones cualesquiera; entonces las dos direcciones de la gravedad, apreciadas por las verticales, habrán forzosamente de encontrarse en un punto que será el centro de gravedad: así es que, suponiendo suficientemente prolongadas aquellas direcciones, el punto de intersección será el centro buscado.

119. **Diferentes estados de equilibrio.**—La posición que pueda tener el punto de apoyo de un cuerpo con respecto al centro de gravedad, dá lugar á tres estados diferentes de equilibrio. En efecto, puede hallarse el centro de gravedad lo más bajo posible, así es que al desviar un cuerpo de su posición, vuelve inmediata-

mente á él tan pronto como no halla obstáculo alguno, cuyo estado de equilibrio se designa con el nombre de *estable*; v. gr.: un cono de madera sostenido por su base. Un cuerpo puede suponerse en una posición tal, que el centro de gravedad diste la mayor cantidad posible del punto de suspensión, en cuyo caso el cuerpo tiende constantemente á separarse de esta posición, formando el equilibrio *inestable* observado en el cono de madera que tratamos de sostener por la punta ó vértice. Finalmente, puede un cuerpo conservar su estabilidad en cualquier posición en que se le coloque, por haber siempre equidistancia entre el punto de suspensión y el centro de gravedad, lo cual determina otro estado de equilibrio llamado *indiferente*, como se observa en el mismo cono de madera colocado en un plano sobre cualquiera de sus generatrices.

120. Equilibrio de los cuerpos pesados y heterogéneos.— Los cuerpos pesados se hallarán en equilibrio siempre que la gravedad haya sido aniquilada por la resistencia de un punto fijo situado en la misma vertical. Así en el supuesto de que un cuerpo descansa en un solo punto, por este mismo debe pasar la vertical; y si descansa en muchos, la referida línea debe cortar la superficie comprendida entre los variados puntos de apoyo.

Ciertos edificios, como la torre de Bolonia y la nueva de Zaragoza, tienen inclinado su eje y, sin embargo, no pueden caer, porque la vertical trazada desde su centro de gravedad se proyecta en un punto dentro de la misma base.

Los cuerpos de formas regulares ó irregulares pueden variar de posición el centro de gravedad, sin más que en cierta parte de su masa cambiar la materia y de este modo tomar posiciones, al parecer, anómalas y que, sin embargo, son comprobaciones de los principios anteriormente expuestos.

Una rueda de madera y plomo, colocándola de modo que el plomo se halle en la parte superior, puede ascender por un plano inclinado, porque la materia más pesada, plomo, tiene forzosamente que ocupar la parte inferior, y lo consigue arrastrando á la menos pesada que es la madera.

## LECCIÓN 28.

### LA GRAVEDAD Y DESCENSO DE LOS CUERPOS.

121. Acción de la gravedad en el descenso de los cuerpos.— Abandonados los cuerpos á sí mismos á una distancia más ó menos grande de la superficie de la tierra se dirigen á ella siguiendo la línea vertical. Distinguidos físicos en todos los tiempos se han ocupado de este hecho tan sencillo, observando que en el acto del descenso no lo hacían todos con la misma velocidad, así mientras una bala de hierro caía rápidamente una pluma se retrasa notablemente.—Estos hechos no manifiestan que la acción de la gra-

vedad sea diferente para los variados cuerpos, pues la causa no es otra que la resistencia que opone el aire que ocupa el espacio recorrido y se diferencia notablemente, según la cantidad de materia que posea el cuerpo.

122. **Velocidad de los cuerpos en el descenso y sus leyes:** **Fórmula.**—La velocidad que presentan los cuerpos en su descenso es la misma que corresponde al movimiento uniformemente acelerado, así es, que se acomodan en un todo á las leyes del mismo movimiento, como puede darse á conocer muy sencillamente haciendo intervenir en vez de la aceleración de velocidad la expresión  $g$  que representa la gravedad.

Las dos leyes citadas tomarán esta forma  $v = gt$  (1.<sup>a</sup>) e  $e = \frac{1}{2}gt^2$  (2.<sup>a</sup>)

De la 1.<sup>a</sup> se deduce  $t = \frac{v}{g}$ ....  $t^2 = \frac{v^2}{g^2}$  y sustituido este valor de  $t^2$  en la ecuación (2.<sup>a</sup>) tendremos .....  $e = \frac{1}{2}g \frac{v^2}{g^2} = \frac{gv^2}{2g^2} = \frac{v^2}{2g}$ ..... de donde  $v^2 = 2ge$ ...  $v = \sqrt{2ge}$ , es decir, que en el descenso de un cuerpo la velocidad adquirida en un tiempo determinado es proporcional á la raíz cuadrada de la altura de la caída.

123. **Comprobaciones experimentales por el tubo largo de cristal y martillo de agua: máquinas de Atwood y de Morin.**—Las leyes del descenso de los cuerpos se comprueban por aparatos especiales, así como también con ellos se conoce otra ley muy importante que se formula en estos términos: «*Todos los cuerpos descenden en el vacío con la misma velocidad.*» Al efecto se hace uso de un tubo de cristal de metro y medio á dos de longitud terminando en sus extremos por armaduras metálicas, una de ellas dispuesta en forma de llave para poderla atornillar á la máquina neumática. En el interior del tubo se colocan cuerpos de pesos diferentes como esferas de plomo, de corcho y trozos de plumas: puesto en comunicación con la máquina neumática se enrreace notablemente el aire del interior. Invirtiendo bruscamente el tubo se observa que todos los cuerpos encerrados en el tubo descenden al mismo tiempo, pero en el momento de penetrar el aire, los cuerpos mas pesados descenden primero y después los más ligeros.

El llamado *martillo de agua* tiene también el mismo objeto; está formado por un tubo de cristal herméticamente cerrado y que contiene agua hervida de modo que no existe en el espacio no ocupado por este líquido cantidad alguna de aire: al invertir bruscamente el agua dentro del tubo choca contra sus paredes, produciendo un sonido seco que da nombre á este aparato.

La *máquina de Atwood* está formada por una columna de madera de dos metros lo menos de elevación que sostiene en un montante una ligera polea, cuyo eje, para disminuir su rozamien-

to, gira entre dos pares de poleas; por la garganta de la anterior pasa una hebra de seda que sostiene en sus extremos pesas: una regla dividida en partes de metros se halla fija verticalmente á lo largo de la columna y esta en su parte superior lleva un cronómetro indicador de segundos que tiene un mecanismo tal, que, al principiar el primer segundo, deja libre una palanca angular que sostiene uno de los pesos colocados en la seda. Este desciende á lo largo de la regla solicitado por la gravedad con una velocidad dependiente del número de gramos que equilibren la polea: todo esto se halla fijo en una base de madera con piés de tornillo para de este modo nivelar convenientemente el aparato. Se pueden colocar á lo largo de la regla unos topes anulares ó macizos sujetándoles por medio de tornillos de presión.

Para demostrar la 1.<sup>a</sup> ley, ó lo que es lo mismo que «*los espacios son proporcionales á los cuadrados de los tiempos*» se procede del modo siguiente: colocados pesos iguales en los extremos de la hebra de seda, la polea se hallará en perfecto equilibrio, pero si se adiciona á uno de ellos otro más, descenderá este arrastrando hacia arriba á los situados en otro extremo. Hecho esto se calcula el número de divisiones que recorre el peso adicional en un segundo de tiempo: sean estas divisiones en número de 11, pues bien, si se coloca el tope macizo sucesivamente en las divisiones 44, 99, 176 iguales respectivamente á  $11 \times 4$ ,  $11 \times 9$ ,  $11 \times 16$  se observará que estos espacios son recorridos en 2, 3, 4 segundos. Para comprobar que las velocidades crecen proporcionalmente á los tiempos, conviene tener presente que la velocidad en un tiempo fijo en el movimiento uniformemente acelerado es la del uniforme que precede. Dicho esto, si colocamos el tope anular en la división 11 y el macizo en la 22 se observará que el peso adicional recorre con movimiento uniformemente acelerado en el primer segundo de tiempo 11 divisiones, pero como al llegar aquí, cesa de actuar la fuerza aceleratriz, deteniéndose el peso en el primer tope, resulta que el contrapeso recorre en el segundo inmediato un espacio doble. Lo mismo sucede al colocar los topes en las divisiones 44 y 66 al cabo de dos y tres segundos.

Este interesante instrumento ha sido modificado por Bourbonze, utilizando en la caída del cuerpo una corriente eléctrica.

M. Morin ha inventado también un interesante aparato formado por un gran cilindro de madera recubierto de papel cuadrículado dispuesto de un modo tal, que pueda adquirir movimiento de rotación: una sólida pesa provista de un lapicero puede hacer un descenso por entre dos alambres verticales y al propio tiempo trazar sobre el cilindro que gira una curva que pasa por ciertas intersecciones de la cuadrícula y que dan á conocer con claridad la relación de los espacios y los cuadrados de los tiempos, en el supuesto de que las líneas verticales representen los espacios y las horizontales los tiempos.

124. Causas que modifican la intensidad de la gravedad.— La fuerza centrífuga, la distancia al centro de la tierra y aplanaamiento observado en los polos modifican notablemente la intensidad de la gravedad. Con respecto á la primera causa, siendo esta diferente en cada punto de la superficie de la tierra, influirá también en la gravedad, según la mayor ó menor oposición que en-

tre sí presenten ambas fuerzas.—Como que la atracción se manifiesta en razón directa del cuadrado de la distancia, es evidente que la intensidad de la gravedad aumenta ó disminuye, según se aproxime ó aleje de la superficie de la tierra, y por tanto de la distancia al centro de la misma. Refiriéndonos á la última causa, las regiones correspondientes al aplanamiento, á no dudarlo, se hallan más próximas del centro de la tierra, y á ellas es aplicable lo dicho anteriormente.

## LECCIÓN 29.

### LA GRAVEDAD Y EL PÉNDULO.

125. **Movimiento oscilatorio: péndulo.**—La gravedad también opera sobre los cuerpos libremente suspendidos de hilos cuando se les separa de su posición de equilibrio y se les abandona á sí propios, describiendo entonces alternativamente en su camino arcos de circunferencia que dán lugar á caracterizar el denominado *movimiento ondulatorio*. El aparato destinado para manifestar este movimiento es el péndulo físico, formado teóricamente por una molécula material suspendida de una de las extremidades de un hilo sin extensión ni peso y fijo en la otra extremidad. El péndulo material le forma una plomada.—En el péndulo hay que estudiar la *longitud*, ó sea la distancia comprendida entre el centro de gravedad del cuerpo suspendido y el punto fijo del hilo, es decir, entre el centro de oscilación y de suspensión: la *oscilación* determinada por el arco que recorre el cuerpo al separarse de la vertical: el *ángulo de oscilación*, el espacio comprendido por el anterior arco y las posiciones extremas del hilo al trasladarse desde un lado á otro: la *amplitud* depende del mayor ó menor valor del arco de oscilación, y la *duración* del tiempo empleado en la oscilación.

Si, hallándose un péndulo en su posición de equilibrio, se le separa de ella y una vez conseguido esto, se le abandona á sí propio, descenderá, no solamente al sitio que ocupaba primeramente para recuperar el equilibrio estable perdido, sino que en virtud de la inercia ascenderá en el lado opuesto hasta igual altura á la que le elevó la causa extraña. Más como en esta nueva posición su equilibrio es inestable, retrocede á la vertical, y al llegar á este sitio, en virtud de la velocidad adquirida, vuelve á elevarse al punto de partida, y así sucesivamente hasta que los obstáculos que se oponen á este movimiento influyen en su paralización completa en el supuesto de operar materialmente.

126. **Leyes físicas del péndulo: su deducción matemática: demostraciones experimentales.**—El movimiento oscilatorio observado en el péndulo, se halla sujeto á las leyes siguientes: 1.<sup>a</sup> *En un mismo péndulo las oscilaciones pequeñas son isócronas.* 2.<sup>a</sup> *En péndulos de igual longitud no varía la duración de las oscilaciones,*

sea cualquiera la sustancia de que estén formados. 3.<sup>a</sup> En péndulos desiguales la duración de las oscilaciones es proporcional á la raíz cuadrada de la longitud. 4.<sup>a</sup> En diferentes lugares de la tierra la duración de las oscilaciones en péndulos de igual longitud, está en razón inversa de la raíz cuadrada de la intensidad de la gravedad.

La Mecánica representa el movimiento del péndulo por la fórmula  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  en donde  $t$  es el tiempo de la oscilación,  $l$  la longitud del péndulo y  $g$  la intensidad de la gravedad.

La 3.<sup>a</sup> ley se deduce del modo siguiente: supongamos dos péndulos de longitudes diferentes representando su movimiento por las respectivas fórmulas siguientes:

$$\left. \begin{aligned} T &= \pi \sqrt{\frac{L}{g}} \\ t &= \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \end{aligned} \right\} \text{relacionemos entre sí y tendremos } \frac{T}{t} = \frac{\pi \sqrt{\frac{L}{g}}}{\pi \sqrt{\frac{l}{g}}}$$

$$\text{resolviendo las operaciones indicadas } \frac{T}{t} = \frac{\pi \sqrt{Lg}}{\pi \sqrt{lg}}$$

$$\text{suprimiendo factores comunes } \pi \text{ y } \sqrt{g}, \quad \frac{T}{t} = \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{l}}$$

La cuarta ley también se deduce fácilmente siguiendo el mismo procedimiento, pero

$$\text{representando las fórmulas por } \begin{aligned} T &= \pi \sqrt{\frac{L}{g}} & \dots & \frac{T}{t} = \frac{\sqrt{g'}}{\sqrt{g}} \\ t &= \pi \sqrt{\frac{L}{g'}} \end{aligned}$$

Las otras leyes se comprueban por el método experimental.

Las cuatro leyes referentes al movimiento del péndulo se comprueban fácilmente por la experimentación. Para dar á conocer la 1.<sup>a</sup> ley basta contar las oscilaciones que efectúa en tiempos iguales: para la 2.<sup>a</sup> tomar varios péndulos de la misma longitud, pero formados por diversas materias y hacerlos oscilar, permanecerán en movimiento todos el mismo tiempo, prescindiendo de la resistencia que pueda oponerles el aire. La 3.<sup>a</sup> ley se manifiesta disponiendo péndulos, cuyas longitudes sean respectivamente 1, 4 y 9, observándose que el número de oscilaciones correspondientes á cada uno son 3... 2... 1..., lo cual demuestra que su duración se corresponde con las raíces cuadradas de aquellas longitudes. Cambiando de lugar en la superficie de la tierra para variar la distancia del ecuador y contando las oscilaciones de un mismo péndulo se comprueba la verdad de la última ley.

127. **Aplicaciones interesantes.**—Entre las muchas aplicaciones que pueden deducirse de las leyes del péndulo figuran las siguientes:

Esta primera se reduce á determinar el valor de  $g$  en la fórmula del péndulo que oscila en el punto de la tierra á donde hace referencia la intensidad de



la gravedad. En efecto,  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ , elevemos al cuadrado esta ecuación

$t^2 = \pi^2 \frac{l}{g}$  multipliquemos los dos miembros por  $g$  y será  $t^2 g = \pi^2 l$  de donde  $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$  que traducido al lenguaje ordinario nos dice que la intensidad de la gravedad es igual al cociente que resulta de dividir el producto de  $\pi^2$ , y la longitud del péndulo por el cuadrado de la duración de las oscilaciones.

*Demostración del movimiento de rotación de la tierra.*—Foucault resolvió esta interesante cuestión utilizando una gran esfera de plomo suspendida de un alambre muy fino formando un gran péndulo que pudiese oscilar libremente encima de una mesa circular dividida en 360 grados. Basta observar la aparente desviación que tomaba el plano de oscilación al cabo de cierto tiempo.

*Regularización de los relojes.*—El isocronismo de las oscilaciones del péndulo fué aplicado muy ventajosamente en la época de Huyghens desde el año 1657 como medio fundamental en el establecimiento del movimiento de los aparatos destinados á la medida relativa del tiempo.

Del mismo modo podían citarse otra infinidad de interesantes aplicaciones como son las que se refieren al tiempo empleado por un cuerpo en hacer el descenso, la determinación de la densidad de la tierra, deducidos todos estos estudios como inmediata aplicación de las leyes que presiden en el movimiento oscilatorio del péndulo.

## TITULO II. -La gravedad y los líquidos.

### LECCIÓN 30.

#### PRINCIPIO DE IGUALDAD DE PRESIÓN Y EQUILIBRIO EN LOS LÍQUIDOS.

128. *Antecedentes.*—Las condiciones de equilibrio y movimiento de los cuerpos líquidos bajo el punto puramente físico es objeto de estudio en la parte de la Mecánica que, conocida con el calificativo de *líquidos*, dá cuenta: 1.º del equilibrio con el nombre de *hidrostática*, y 2.º del movimiento de los mismos cuerpos con el nombre de *hidrodinámica*. La Mecánica toma también el nombre de *hidráulica* cuando utiliza el agua como medio motor, siempre que se halle en condiciones apropósito á este fin.

129. *Principio de igualdad de presión: experimentos comprobantes.*—Todos los cuerpos líquidos presentan la interesante propiedad de transmitir en toda su masa con regularidad aquella fuerza ó presión que pueda ejercerse en un punto cualquiera de

la misma, cuya propiedad se ha formulado, constituyendo las leyes del principio de igualdad de presión y que son las siguientes: 1.<sup>a</sup> *La presión ejercida en un punto cualquiera de la masa líquida se propaga en todas direcciones.* 2.<sup>a</sup> *Los efectos de la presión son iguales en todos los puntos de la masa líquida.* 3.<sup>a</sup> *Las presiones aplicadas en un punto cualquiera de la masa líquida son proporcionales á las superficies.*

La primera ley que acabamos de dar á conocer, puede manifestarse muy sencillamente, haciendo uso de un globo de cristal, taladrado en muchos puntos de la superficie por diminutos orificios, de modo que el agua encerrada en el interior del mismo no pueda salir libremente por ellos; el globo además puede llevar un tubo dispuesto á manera de cuello, por el cual debe pasar á frote fuerte un pistón, formando así una especie de bomba. Al comprimir el agua por medio de dicho pistón se observará la salida de este líquido en forma de surtidor, por cada uno de los orificios, tomando una dirección correspondiente á la prolongación de los radios de los mismos puntos, que, como sabemos, son todas direcciones diferentes.

Para comprobar la segunda ley, basta disponer un globo de cristal que tenga cuatro, cinco ó más tubos en forma de cuello y armados cada uno de su correspondiente pistón. Lleno de agua este aparato, si ejercemos la presión en el líquido por uno de los pistones, valorable, por ejemplo, dos kilogramos, se transmitirá esta presión á cada uno de los otros pistones, como lo demuestra la separación que igualmente toman del centro; así es que, para neutralizar este efecto, se necesita aplicar á cada uno de ellos la misma fuerza de dos kilogramos para tomar la primitiva posición.

Por último, para comprobar la tercera ley, podemos hacer uso de dos vasijas cilíndricas de sección variable, pero cuya relación se conozca de antemano: por ejemplo, la menor esté comprendida en la mayor dos veces; estas vasijas, provistas de sus pistones taladrados por varillas verticales, que sostengan en su parte superior platillos; un tubo cualquiera puede establecer la comunicación con ambas vasijas. Si llenamos de agua los vasos y el tubo y además colocamos encima del platillo correspondiente á la vasija de menor sección un peso de diez kilogramos, se ejercerá esta presión sobre la superficie del líquido encerrado en la misma vasija, la cual transmitirá íntegra esta presión á la superficie del agua encerrada en la otra, obligando á elevar al pistón correspondiente y alterando el equilibrio. Este no se restablece colocando diez kilogramos en el platillo de la vasija mayor, sino un número doble: es decir, veinte kilogramos.

Del mismo modo, si la relación de secciones es la de los números 1 y 1.000, las presiones equilibradas en ambas superficies serán: si en la menor vale 10 kilogramos, en la mayor será igual á 10.000 kilogramos. En general  $\frac{P}{p} = \frac{S}{s}$  representando P y p las presiones y S s las superficies que sufren la acción de aquellas.

130. *Equilibrio de uno ó varios líquidos en una vasija.*— Cuando un líquido se halla encerrado en el interior de un vaso, se observa que la superficie en cada punto es perpendicular á la dirección de la resultante de la gravedad, así como también los diferentes puntos de una misma capa horizontal están sujetos á la misma presión.

En efecto, de no cumplir la primera condición en cada una de las partículas líquidas que estuviesen sometidas á otras fuerzas, la superficie libre tomaría una forma variable, según las circunstancias; así como también la fuerza que las obligase á tomar aquella posición, podría descomponerse en otras dos, una de

ellas normal á la superficie del líquido y la otra perpendicular á la dirección vertical. La primera quedaría destruida por la resistencia del líquido, y la otra pondría en movimiento al punto material destruyendo el equilibrio. Respecto á la segunda condición, se puede considerar como una verdadera consecuencia del principio de igualdad de presión.

Si varios líquidos son de tal naturaleza que, estableciendo su contacto inmediato, no se mezclan íntimamente y pueden ser separados con facilidad al hallarse reunidos en un solo vaso, se observa que, para que el equilibrio sea estable, es preciso que los líquidos se hallen superpuestos en el orden de sus densidades. De este modo los cuerpos más densos, ó sea aquellos que en igualdad de volumen contienen mayor cantidad de materia, son los que poseen una resultante de la gravedad mayor, que determina la disminución de distancia hácia el centro de la tierra.

Se dá á conocer esta acción por medio de la llamada *redoma de los cuatro elementos*, formada por un frasco largo y estrecho que contiene en su interior mercurio, agua saturada de carbonato potásico, alcohol y aceite: si agitamos dichos líquidos, quedarán confundidos al principio, pero más tarde se colocarán formando capas bien distintas: la primera la correspondiente al aceite, siguiendo luego el alcohol y el agua y por último el mercurio que irá al fondo.

## LECCIÓN 31.

### PRESIONES QUE EJERCEN LOS LÍQUIDOS.

131. Presión que los líquidos ejercen sobre el fondo de las vasijas: aparatos de Haldat, Masson y Jorge Sire. — Los líquidos encerrados en las correspondientes vasijas ejercen presiones en todos sentidos, y entre estas las que sufre el fondo de las mismas es siempre igual *al peso de una columna líquida que, teniendo por base el fondo del vaso, la altura es la distancia existente desde aquel á la superficie líquida, sea cualquiera la forma ó capacidad de los vasos y por lo tanto el peso del líquido que contengan*. Se comprueba este principio experimentalmente, haciendo uso del aparato Haldat: está formado por un tubo de cristal encorvado en ángulo recto por sus dos extremidades y que contiene mercurio en su interior; lleva además tres vasos, dos de forma cónica truncada, uno con el fondo en la base menor y el otro el fondo en la base mayor, y además otro cilíndrico; los tres vasos tienen igual extensión en sus fondos que son libres; tienen además la misma altura y pueden cada uno de ellos atornillarse el extremo del tubo encorvado. Se observa que al colocar sucesivamente estos vasos llenos de agua de modo que el peso de este líquido haga descender el nivel del mercurio en la rama del tubo encorvado, y por lo tanto elevar este mismo líquido en la rama opuesta, la altura á donde llega es siempre la misma.

La *balanza de Masson* está formada por los mismos vasos del aparato anterior, colocados en el correspondiente soporte y cubiertos los fondos por un disco metálico sostenido en su parte central por una delgada cadena que, pasando por los ejes de los mismos vasos, termina en uno de los extremos de un brazo de balanza. Si echamos nosotros agua en uno de los vasos y conseguimos paralizar la salida de este líquido colocando pesas en el platillo de la balanza, veremos que estos pesos son iguales para todos los vasos, apesar de la diferente cantidad de agua que contienen. En estos últimos años Jorge Sire ha dispuesto un aparato muy curioso: le forman los tres vasos ya citados fijos en un tubo de cristal de tres brazos, sostenido por el correspondiente pie: pueden además comunicarse entre sí dichos recipientes por medio de tubos de goma. El mercurio encerrado en el tubo de los tres brazos se aprecia la altura que toma en cada uno de estos por la posición que puedan tener dos tuercas que giran en sus tornillos colocados en los espacios de separación. Si se llenan de agua los tres vasos, las alturas que toman las columnas mercuriales son las mismas en las tres ramas.

132. **Presiones desde el fondo á la superficie.**—Además de la anterior presión, los líquidos ejercen otra que se manifiesta en una dirección opuesta y que vulgarmente se conoce con el nombre de *empuje*, la cual es valorable una columna líquida que, teniendo *por base el fondo de la vasija, tenga por altura la distancia desde el fondo á la superficie*. En efecto: tomemos un tubo de cristal y yuxtapongamos á su parte inferior un disco de cristal, y todo unido introduzcámoslo en el interior de un gran vaso que contenga agua y se observará que el disco de cristal no desciende, sinó continúa unido al tubo por el empuje del agua en el sitio que ocupa, pero si así las cosas, vertemos agua en el interior del tubo hasta la misma altura que el agua de la vasija, veremos que el disco desciende.

133. **Presiones laterales: molinete hidráulico.**—Estas presiones son siempre iguales *al peso de una columna líquida que tenga por base la superficie mojada y por altura la distancia comprendida desde su centro de gravedad al plano del nivel líquido*. Estas presiones son siempre nulas en el plano de flotación y toman su máximo valor en el fondo.

Por esta razón se representan gráficamente por un triángulo rectángulo, cuyos catetos están formados por la altura del líquido en la vasija y la rectificación del fondo, de tal manera que todas las paralelas á este último cateto, representantes de las varias capas líquidas, toman valores cada vez menores, según se aproximan al vértice opuesto, en cuyo momento quedan reducidas á cero.

La presión lateral manifiesta su efecto en el acto de ser vencida la resistencia que ofrece la pared de la vasija, como se observa en el *molinete hidráulico*, formado por un recipiente de forma cónica, que termina en su vértice en dos tubos horizontales encorvados en sus dos extremidades, en direcciones opuestas; si suspendemos libremente este recipiente lleno al propio tiempo de agua, la salida de este líquido por los tubos, al chocar contra las capas de aire, le obligará á tomar un movimiento de rotación que ha servido para dar nombre á este aparato.

## LECCIÓN 32.

## EQUILIBRIO DE LOS LÍQUIDOS EN VASOS COMUNICANTES.

134. Equilibrio de uno ó varios líquidos en vasijas comunicantes.—Leyes y demostraciones experimentales.—El líquido encerrado en diferentes vasijas que se comunican entre sí, presenta todas las superficies libres en un mismo plano horizontal.

Estableciendo la comunicación por la parte del fondo, la capa líquida no podrá tomar el equilibrio, mientras no sean iguales y contrarias las presiones que sufra, y como estas presiones equivalen á una columna de agua que tuviese por base la capa ya citada y por altura la distancia vertical desde el centro de gravedad hasta la superficie libre, el equilibrio no podrá subsistir, ínterin la altura del líquido no sea la misma en cada vaso.

Si en cada uno de los brazos de dos tubos comunicantes vertemos líquidos diferentes, pero que no puedan mezclarse íntimamente, las alturas que adquieren están en razón inversa de las densidades. Efectivamente, supongamos que los líquidos empleados son el mercurio y agua, adquiriendo respectivamente las alturas de 3 y 41 divisiones en los tubos correspondientes, estos números están en la misma proporción que 1 y 13,5 que representan sus densidades respectivas, pues si, dividimos aquellas cantidades entre sí, obtenemos de cociente esta última cantidad, es decir, el valor numérico de la densidad del mercurio.

Dicho principio de hidrostática puede expresarse de este modo:  $da = d'a'$  en donde  $d$  y  $d'$  representan las densidades y  $a$  y  $a'$  las alturas en los tubos comunicantes, cuya sencilla fórmula permite calcular la densidad de un líquido por este medio.

135. Aplicaciones: niveles y pozos artesianos.—Toman el nombre de niveles aquellos aparatos destinados á presentar puntos en el espacio situados todos en un mismo plano horizontal. Dos son las clases de niveles: el de agua y el de burbuja de aire. El 1.º está formado por un tubo largo de cristal encorvado en sus dos extremos y forrado de metal, sostenido desde el punto central por un trípode de madera; se llena de agua y las alturas que toman las columnas líquidas de las encorvaduras, determinan un plano horizontal; basta, por lo tanto, dirigir una visual que pase por ambos niveles y otros puntos, para que todos se hallen situados en el mismo plano. El 2.º le forma otro tubo de cristal casi lleno de agua y herméticamente cerrado, si en el punto medio de la longitud establecemos divisiones, estas serán ocupadas por el nivel del agua cuando el tubo se halla perfectamente horizontal y vice-versa. El tubo de cristal se recubre con otro de metal que presenta una abertura en el centro para dejar ver las divisiones trazadas en el cristal y se fija además en una regla que determina la situación del plano horizontal.

Una de las operaciones más frecuentes en Topografía es la determinación de la altitud de un punto con respecto á otro. Se hace uso en esta operación de los niveles anteriormente citados, si bien el de burbuja de aire se halla modificado con la adición de un anteojo ó de una alidada propia para dirigir visuales.

La nivelación que es el nombre que toma esta operación, reconoce el fundamento siguiente: si en el punto de mayor altura se coloca el nivel con su correspondiente trípode y en el más bajo una regla de madera dividida en partes iguales denominada *mira*, basta dirigir una visual que intercepte un cierto número de divisiones de esta regla para que, descontando la altura del nivel con su pie, nos dé la diferencia de altura de los puntos dados.

Cuando á una distancia más ó ménos grande de la superficie de la tierra pasan manantiales ó corrientes de agua que tienen su punto de origen ó formación en sitios más ó ménos lejanos, pero siempre á una altitud mucho menor que la que tienen aquellas corrientes, al ponerlas en comunicación con el suelo por medio de una excavación, brotará un chorro de agua que, en virtud de la ley de equilibrio de los tubos comunicantes, procurará elevarse casi á la misma altura de donde procede, formando lo que se denominan *pozos artesianos*.

## LECCIÓN 33.

### PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES Y SUS CONSECUENCIAS.

136. *Presiones de un cuerpo introducido en un líquido.*— Cuando un cuerpo sólido se halla introducido en un líquido sufre presiones en todos los puntos de la superficie que son fáciles de comprobar su existencia y valor. Sumergido en un líquido un sólido de forma cúbica, las caras verticales sufren presiones iguales y contrarias, y por lo tanto se equilibran entre sí. Las caras horizontales no las sucede esto mismo, en efecto, la superior soporta la presión de una columna líquida que tiene por base la misma cara horizontal y por altura la distancia que ella ocupa con respecto á la superficie libre y la cara inferior una presión que opera en sentido opuesto, es decir, de abajo á arriba, valorable el peso de una columna líquida que tiene por base la cara inferior del cubo y por altura la distancia existente desde esta cara á la superficie libre. Estas dos presiones son por lo tanto diferentes, mayor la última, en la misma cantidad que representa el peso del líquido del mismo volumen que el cubo, así es que se manifestará esta por el denominado *empuje*.

137. *Principio de Arquímedes: su demostración.*— Resulta de lo expuesto que el cuerpo sólido sumergido en un líquido está sufriendo la acción de dos fuerzas, una la gravedad que le dirige

al fondo y otra el empuje que le dirige hacia la superficie con una fuerza igual al peso de una cantidad de líquido del mismo volumen que el cuerpo. De donde se deduce que, *todo cuerpo sumergido en un líquido pierde una parte de su peso igual al peso del líquido desalojado*, cuya verdad forma el denominado principio de Arquímedes.

Puede comprobarse este principio del modo siguiente: se suspende de una balanza hidrostática, que no se diferencia de la ordinaria más que en tener unos ganchitos en la parte inferior y central de los platillos, dos cilindros del mismo volumen, el uno hueco y el otro macizo, de modo que este se halle debajo de aquel y se establece el equilibrio colocando pesas en otro platillo. Hecho esto se introduce el cilindro macizo en un vaso que contiene agua y se observa que desaparece el equilibrio, inclinándose la balanza del lado de las pesas, lo cual quiere decir que el cilindro macizo ha perdido parte de su peso y para saber cuanto, no tendremos que hacer otra cosa más, sino echar agua en el cilindro hueco para que el equilibrio vuelva á presentarse, es decir, que el peso disminuido era el mismo que el de un volumen de agua igual al que tiene el cilindro.

También puede comprobarse colocando en uno de los platillos de la misma balanza una copa de cristal y pendiente del gancho de este mismo un cuerpo cualquiera, restableciendo el equilibrio de la balanza con pesas colocadas en el otro platillo. Hecho esto se introduce el cuerpo pendiente en un vaso que contenga agua, observando entonces que la balanza altera su equilibrio, así como también el nivel del agua del vaso se eleva más ó menos: si así las cosas, auxiliados de una llave situada en el fondo del mismo vaso, sacamos toda el agua que sea necesaria para que vuelva otra vez á tener el nivel primitivo, cuya cantidad nos representa la desalojada por el cuerpo, y esta misma la echamos en la copa colocada en el platillo, veremos que la balanza vuelve á tomar la primitiva posición.

138. **Determinación del volumen de un cuerpo.**—Entre las diferentes aplicaciones que podemos deducir del principio de Arquímedes una de ellas es la que se refiere á la determinación del volumen de un cuerpo. En efecto, teniendo presente que la diferencia entre el peso de un cuerpo en el aire y el de este mismo dentro del agua destilada, nos representa el del volumen líquido desalojado, si este se halla apreciado en gramos, otros tantos centímetros cúbicos en volumen contendrá.

139. **Equilibrio de los cuerpos sumergidos y flotantes.**—Teniendo presente las dos fuerzas que actúan sobre un cuerpo introducido en un líquido, representante la una de la gravedad y la otra del empuje del líquido, según la relación que entre sí tengan estas, así obtendremos posiciones diferentes en los cuerpos puestos en contacto con los líquidos. Los casos que se pueden presentar son los siguientes: 1.º *El peso del cuerpo es mayor que el del líquido desalojado, ó la densidad media del cuerpo es mayor que la del líquido, entonces domina la gravedad y el cuerpo desciende al fondo del mismo.* 2.º *El peso del cuerpo es menor que el del líquido desalojado, dominando por lo tanto á la gravedad el empuje del líquido, el cuerpo se eleva á la superficie de aquel, saliendo tanto mas fuera de él, cuanto mayor sea la anterior diferencia.* 3.º *El peso del cuerpo es igual al de la parte líquida desalojada, hallándose entonces*

la gravedad y el empuje en equilibrio, el cuerpo tomará la posición que se quiera en el interior del líquido. Cuando los cuerpos se presentan flotantes en los líquidos tomarán la posición de equilibrio estable, según la colocación que entre sí exista en los llamados centros de gravedad y de presión, entendiéndose por este último el primero perteneciente al líquido desalojado por el cuerpo sumergido. En efecto, será condición precisa que ambos puntos se hallen en una misma vertical, pues de no verificarse esto, el equilibrio es indiferente ó inestable, por ejemplo, un huevo sumergido en el agua salada dispuesto de modo que la parte más estrecha esté hacia arriba, ocupará el equilibrio estable, pues, aún cuando se separe de su posición, volverá siempre á ella; por el contrario, colocado en una posición inversa, no tendrá estabilidad en su equilibrio.

La práctica ha venido á comprobar que cuanto más próximo esté el centro de gravedad del cuerpo flotante de la superficie líquida, tanto más estabilidad presentará, como se observa en la utilidad del lastre en las embarcaciones, cuya colocación se designa con el nombre de *arrumaje*. En los cuerpos flotantes la parte sumergida está en razón inversa de la densidad del cuerpo y directa de la del líquido.

## LECCIÓN 34.

### PESOS ESPECÍFICOS DE LOS SÓLIDOS.

140. Aplicación del principio de Arquímedes á la determinación de los pesos específicos.—Sabemos que los pesos específicos son las relaciones entre los pesos relativos de los cuerpos y el de volúmenes iguales de agua destilada y como el principio de Arquímedes nos suministra medios para obtener fácilmente estos datos, de aquí que, podamos aplicarle sin dificultad á la resolución de estas cuestiones. Los pesos específicos pueden determinarse por los procedimientos siguientes.

141. Peso específico de los cuerpos sólidos por la balanza hidrostática.—Por la *balanza hidrostática* se halla el peso específico de los cuerpos sólidos, suspendiendo á estos de uno de los platillos y anotando los pesos que tienen en el aire y dentro del agua destilada: la diferencia entre ambos pesos determina el de un volumen de agua igual al del cuerpo, de modo que el cociente que resulta de dividir el peso del cuerpo en el aire por esta última diferencia nos da el peso específico.

142. Peso específico de los cuerpos sólidos por el gravímetro de Nicholson.—El *gravímetro de Nicholson* le forma un cilindro de metal terminado en sus bases por conos; el de la parte superior deja elevar por su vértice una varilla con una señal ó división deno-



minada *punto de enrase* y que termina en un pequeño platillo; el cono de la parte inferior deja pendiente desde su vértice una pequeña cápsula cónica con su correspondiente tapadera agujereada. Para emplear este aparato en la determinación de los pesos específicos, se procede de este modo: se coloca flotante el gravímetro en una probeta de cristal que contenga agua, adicionando en su platillo las pesas que sean necesarias para hacer coincidir el punto de enrase con la superficie del agua; situado en el platillo el cuerpo descenderá el gravímetro, pero retirando algunas pesas, el gravímetro nuevamente enrasará y las pesas sustraídas darán el peso del cuerpo. Colocado este nuevamente en la cápsula inferior á donde penetra también el agua, se añaden pesas para enrasar otra vez el aparato, las cuales se restan de aquéllas que se emplearon en el primer enrase y la diferencia nos dará el peso de un volumen de agua igual al del cuerpo. Si ahora dividimos el peso del cuerpo en el aire por dicha diferencia, tendremos en el cociente el peso específico deseado.

143. **Método del frasco.**—Klaproth adoptó un procedimiento muy recomendable, haciendo uso de un pequeño frasco de cristal, de boca ancha, que puede taparse con un delgado tubo también de cristal. Con tan sencillo instrumento se determina el peso específico, procediendo de este modo: lleno perfectamente de agua el frasco, se coloca en unión del cuerpo en uno de los platillos de la balanza, anotando escrupulosamente el peso de ambos, después se retira el cuerpo y se coloca en su lugar suficiente número de pesas, cuyo valor es el peso del cuerpo en el aire; separado el frasco de la balanza, se introduce en su interior el cuerpo que obligará á desalojar la cantidad de agua correspondiente á su volumen, y así preparado, se vuelve á colocar en la balanza. Como no podrá equilibrarla, habrá necesidad de colocar al lado del frasco unidades de peso que determinan el del agua que falta, igual al del volumen del sólido sumergido; falta solamente dividir las pesas adicionadas al principio por estas últimas y el cociente nos dará el peso específico que deseábamos encontrar.

144. **Observaciones.**—Estos tres procedimientos no indican lujo de experimentación, sinó necesidad, según los casos en que se encuentre el cuerpo: en la mayoría de las ocasiones podemos utilizar la balanza; pero cuando los cuerpos flotan en el agua, entonces debemos acudir al gravímetro y, tratándose de cuerpos reducidos á polvo, el método indicado es el del frasco.

Si el sólido se disuelve en el agua, entonces es imprescindible operar con otro líquido y determinar el peso específico de este con relación al agua, para efectuar la multiplicación del dato obtenido primeramente por este último.

## LECCIÓN 35.

## PESOS ESPECÍFICOS DE LOS LÍQUIDOS: AREÓMETROS.

145. **Peso específico de los líquidos, siguiendo los mismos procedimientos que para los sólidos.**—Los mismos procedimientos destinados para la determinación del peso específico de los cuerpos sólidos se pueden aplicar á los líquidos.

Por la *balanza hidrostática* basta sumergir un cuerpo sólido pendiente de uno de los platillos en una vasija que contenga el líquido, cuyo peso específico se trata de determinar, y después en otra que contenga agua destilada, hallar los pesos de los dos volúmenes iguales desalojados por el sólido, procediendo á la división de ambas cantidades con el fin de hallar el peso específico por el cociente que resulte.

El *gravímetro de Fahrenheil* se halla formado del mismo modo que el de Nicholson con la sola diferencia de ser de cristal y carecer de la cápsula situada en la parte inferior. Para operar con este instrumento basta simplemente hacer flotar el aparato en el agua y en el líquido dado, adicionando en el platillo superior el suficiente número de unidades, las cuales restadas del peso total del gravímetro determinan los pesos de los dos volúmenes iguales de ambos líquidos, procediendo después á la correspondiente división.

Por el *frasco* también podemos resolver esta cuestión sabiendo el peso de los dos volúmenes de agua destilada y del líquido dado que llenen la capacidad del mismo y en seguida realizar la división.

146. **Areómetros: sus clases y graduación.**— En ciertas ocasiones se hace preciso determinar la concentración que puedan tener ciertas disoluciones en el agua y entonces podemos hacer uso de los denominados areómetros *pesa-ácidos*, *pesa-sales*, *pesa-jarabes etc*, según el objeto á que se destinan. Todos están formados por cilindros de cristal terminados en la parte inferior por una ampollita también de cristal que contiene mercurio ó pequeños perdigones: en el otro extremo terminan en un tubito de cristal que en su interior tiene una hoja de papel con divisiones diferentes para cada clase de areómetros: el todo forma un cuerpo flotante en los líquidos que puede tomar siempre una posición vertical.

La graduación de los *pesa-ácidos* se consigue sumergiendo el areómetro en el agua destilada y después en una serie de disoluciones que contengan un 10 por 100, 20 por 100, 30 por 100 etc. de ácido sulfúrico en disolución en el agua para de esta manera anotar los puntos 10—20—30 etc. La graduación de los *pesa-sales* se verifica del mismo modo, si bien haciendo uso de disoluciones de una sal escogida de antemano.

*El alcoholómetro de Gay Lussac* es un verdadero areómetro que tiene por objeto determinar la cantidad de alcohol absoluto que pueda haber en el agua, como sucede en los aguardientes y espíritus de vino.

La graduación de este aparato se efectúa también sumergiendo el areómetro en el agua destilada para determinar el punto *ceros* y en el alcohol absoluto para la fijación del punto *ciento*, preparando disoluciones intermedias que contengan un 10, 20 ó más por 100 de alcohol en el agua para los puntos de división 10, 20 etc.

147. **Densímetros de Rouseau.**—Se designan con este nombre aquellos areómetros graduados de una manera tal que permiten conocer la densidad de un líquido en vista de las divisiones sumergidas en el agua destilada.

Entre los sistemas conocidos el de Rouseau es el preferible: está formado por un areómetro ordinario que lleva en la parte superior del tubito un pequeño vaso de cristal que mide exactamente un centímetro cúbico. Se construye y maneja del modo siguiente: flotante en el agua, el punto de enrase marca la división 0, pero si colocamos un gramo de agua en el vaso ya citado, el areómetro descende y el punto á donde ha llegado nos determina una división en veinte partes por ejemplo á partir del cero que podemos continuar hasta la parte superior: cada división por lo tanto corresponde á  $\frac{1}{20}$  de gramo ó lo que es lo mismo 0,05 gramos. Ahora bien, supongamos que un líquido, cuya densidad no conocemos al llenar la capacidad del vaso obliga al densímetro á descender á una cualquiera de las divisiones bastará simplemente que nosotros multipliquemos este número de grados por la referida relación 0,05 gramos para que el producto nos determine la densidad apetecida.

## LECCIÓN 36.

### LEY DE TORRICELLI Y SUS CONSECUENCIAS.

148. **Movimiento de los líquidos.**—Los cuerpos líquidos, lo mismo que los sólidos, cuando se hallan abandonados á sí propios ó falta cualquiera de las condiciones que determinan su equilibrio, se trasladan desde un sitio á otro, siguiendo la acción de la gravedad.—La Mecánica, estudia esta cuestión en su parte denominada *Hidro-dinámica*. El movimiento de los cuerpos líquidos se manifiesta en los casos siguientes: 1.º por orificios practicados en las paredes de las vasijas donde se hallan encerrados. 2.º Por tubos largos y cortos y 3.º Por canales abiertos.

149. **Ley de Torricelli: aparato de Charles: presión hidráulica.**—El físico Torricelli determinó la velocidad con que los líquidos se mueven cuando salen por los orificios practicados en las paredes de los depósitos que los contienen, diciendo: *que esta velocidad es la misma que tendría un sólido si cayera en el vacío desde una altura igual á la distancia comprendida desde la superficie del líquido al centro del orificio.*

De este modo la fórmula  $v = \sqrt{2ge}$  del descenso de los cuerpos, se puede aplicar el caso presente sin más que representar el espacio  $e$  por la letra  $c$  ó carga, es decir, la distancia ya citada.

El aparato de Charles permite utilizarse en la comprobación de esta ley y otras muchas del movimiento de los líquidos: está formado por una gran caja prismática rectangular de metal, menos una de sus caras que es de cristal, llena de agua; en el fondo tiene un tubo encorvado provisto de la correspondiente llave, de modo que si se abre esta, el líquido se eleva casi hasta la misma altura del nivel en el interior de la caja.

Puestos en movimiento los líquidos ejercen presiones sobre el fondo y las paredes de los recipientes, mucho menores que cuando se hallan en reposo; cuyo valor determina la llamada *presión hidráulica*, y se manifiesta por un tubo encorvado dispuesto en uno de los orificios de salida é introducida la rama más larga en un pequeño vaso que contiene mercurio, el cual asciende á lo largo de este tubo cuando el líquido se halla en movimiento.

150. *Vena líquida*: *gasto de un líquido*: unidades.—Se designa con el nombre de *vena líquida* la forma que adquiere un líquido cuando sale por uno de los orificios practicados en el depósito.

Sabart al estudiar esta forma pudo distinguir en ella dos partes muy diferentes; una ó sea la más próxima al orificio de salida, es cilíndrica, trasparente, y la otra turbia, agitada y desigual, ofreciendo ciertos abultamientos de trecho en trecho denominados *vientres*: además en el punto de unión de ambas partes presenta una disminución de sección que toma el nombre de *contracción de la vena*. Cuando el orificio está colocado en el fondo, la vena líquida es vertical al manifestarse la gravedad; pero si está en una pared, las fuerzas que solicitan al líquido son dos, la gravedad que opera en dirección vertical y la presión lateral en dirección normal á la pared, y como consecuencia el líquido toma la forma de parábola al seguir en cada uno de los instantes la diagonal del paralelogramo correspondiente á este sistema de fuerzas.

*Gasto de un líquido*, es siempre la cantidad que abandona el depósito en la unidad de tiempo y se representa por el producto del área del orificio y la velocidad.

El gasto se considera teórica y prácticamente, porque uno y otro, al compararlos, no son iguales, toda vez que el gasto práctico ó efectivo tiene que ser menor, dependiente de circunstancias extrañas, entre ellas el rozamiento, la resistencia del aire, etc. Se ha determinado esta diferencia por medio de una infinidad de experiencias y resulta que el gasto efectivo solo llega, por termino medio á dos tercios del teórico.—La fórmula que nos dá el gasto de un líquido se comprende desde luego,  $G = S\sqrt{2gc}$ , en donde S representa la sección.

Las unidades de medida para el gasto del agua son varias: las más usadas son la *pulgada de fontanero*, que es aquella cantidad líquida que se derrama por un orificio circular de una pulgada francesa en 24 horas y con una carga de 7 líneas sobre el centro del orificio equivalente á 19.365 litros y el *real de agua* que asciende á 1.206 litros que salen en el mismo espacio de tiempo por un orificio de  $6\frac{1}{2}$  líneas de diametro.

151. *Flotador de Fromy*: *tubos adicionales*: *aplicaciones*.—Como la velocidad de los líquidos es siempre dependiente del valor de carga, haciéndose esta cada vez menor durante el gasto,

resulta que la velocidad también va disminuyendo, y como esto en ciertas ocasiones se desea remediar, se han inventado medios para ello. El *Flotador Fromy* tiene este objeto y se reduce á mantener flotante dentro del depósito una caja hueca que sostiene en su parte inferior por medio de varillas un recipiente; de este modo el agua que desciende del depósito, cae en este último recipiente que aumenta de peso, y como se halla unido á la caja flotante, esta se sumerge y desaloja más cantidad de agua, elevando el nivel tanto cuanto había descendido por el gasto.

Se dá el nombre de *tubos adicionales* á los que se colocan en los depósitos que tienen líquidos en la parte ocupada por los orificios.

Por el cálculo se ha probado que los que tienen la forma cilíndrica de longitud doble ó triple del diámetro, aumentan en más de un tercio el gasto; los cónico-truncados converjentes hácia el exterior le aumentan también, y mucho más estos mismos siendo diverjentes al exterior, siempre que su eje sea normal á la pared. Los tubos adicionales pueden empalmar con otros de comunicación de gran longitud, en los cuales es preciso que se hallen algo inclinados ó que reciba el agua cierta presión desde el origen.

Muchas son las aplicaciones que pueden deducirse de todos estos estudios, dados á conocer en sus detalles más importantes como sucede en la resolución de todas las cuestiones que se relacionan con el abastecimiento de agua á las poblaciones, así como para la construcción de canales de riego y transporte, cuyos beneficios son de todos apreciados.

### TITULO III.—La gravedad y los gases.

## LECCIÓN 37.

### PESO DEL AIRE Y DE LOS GASES.

152. **El aire y los gases: comparación de estos con los líquidos.**—Los efectos observados en el equilibrio y en el movimiento de los sólidos y líquidos, se manifiesta también por la acción de la gravedad en los gases, si bien de un modo indirecto. Los gases son cuerpos, dispuestas sus moléculas en continua repulsión, por cuya circunstancia se hallan dotados de un continuo movimiento que manifiesta el dominio de la repulsión sobre la atracción molecular. Son perfectamente elásticos, así es que vuelven á tomar el primitivo volumen, cuando cesa de actuar la fuerza que los comprime. Poseen, finalmente, la propiedad de ocupar cada vez espacios mayores, venciendo en ocasiones cuantas dificultades se opongan á ello, cuya propiedad se conoce con el nombre de *fuerza expansiva*.

El aire atmosférico se halla formado por la reunión de todos los gases y vapores que rodean toda la superficie de la tierra: entre estos gases se citan el oxígeno y el nitrógeno, dispuestos en la proporción de un 23, 01 del primero, por un 76, 99 del segundo, existiendo además cantidades variables de vapor acuoso y ácido carbónico.

Los cuerpos gaseosos, al compararlos con los líquidos, presentan las analogías siguientes: unos y otros están sujetos al principio de Arquímedes: poseen variedad en las formas dependientes estas siempre de las que tengan aquellos recipientes que sirven para contenerlos, y por último, sufren y transmiten las presiones ejercidas en un punto cualquiera de su masa.

En la misma comparación hallamos algunas diferencias: entre ellas, las que se refieren á la diferente densidad, que en los gases es insignificante con respecto á los líquidos; se diferencian también en que los gases poseen la llamada fuerza expansiva, de la cual carecen los cuerpos líquidos, y con respecto á la compresibilidad, en estos es muy pequeña y en los otros muy grande.

**153. Peso de los gases: observaciones.**—Todos los cuerpos gaseosos se hallan sujetos á la acción de la gravedad, como puede comprobarse con un sencillo experimento: en un globo de cristal provisto de llave introduzcamos un gas cualquiera, bien sea llenándolo antes de agua, ó haciendo el vacío con la máquina neumática, y establezcamos el equilibrio en una balanza hidrostática; procedamos acto continuo á la extracción del gas del mismo recipiente ó, lo que es igual, suspendamos segunda vez el globo vacío, y veremos que pesa menos; la diferencia de ambos pesos representa el peso del gas introducido en el globo.

La temperatura y la presión modifican notablemente el peso de los gases: cuanto mayor sea aquella, tanto menor será este, y vice-versa la presión.

Uno de los gases mas ligeros es el hidrógeno, un litro pesa 0,09 gramos y un litro de ácido yodhídrico 5,74 gramos.

**154. Peso del aire: presiones y procedimientos comprobantes.**—El peso del aire se manifiesta, utilizando también un globo de cristal que se pueda suspender de uno de los platillos de la balanza hidrostática, después de haber enrarecido el aire del interior y anotado en el otro platillo el número de pesas que forman equilibrio, basta simplemente abrir la llave de comunicación con el exterior para que, al penetrar el aire, la balanza se incline del lado del globo, y el número de pesos que se adicionen para restablecer el equilibrio, determina el peso del volumen de aire introducido en el globo.

De este modo se ha determinado el peso de un litro de aire, que asciende á 1,29 gramos.

El aire, lo mismo que todos los diferentes gases son cuerpos pesados y ejercen presiones sobre la superficie de los cuerpos que se manifestarán igual que en los líquidos, produciendo presiones iguales y contrarias que impiden dar á conocer sus efectos directamente. La existencia de esta presión se comprueba con los dos experimentos siguientes: tómese un tubo de forma cónico-trun-

cada, cubierto por uno de sus extremos con un trozo de piel ó membrana fuertemente sujeta, y colóquese encima de la platina de la máquina neumática; antes de funcionar esta, la membrana se halla perfectamente tersa, una vez que la presión del aire exterior equilibra á la del interior; pero si se enrarece este, haciendo funcionar la máquina, la membrana toma una forma cóncava por el exceso de presión exterior y en ocasiones este exceso dá lugar á la ruptura de dicha membrana, produciendo una fuerte detonación.—La experiencia de los hemisferios de Magdeburgo comprueba también esta presión, que recibe el nombre de *atmosférica*; se halla formado el aparato por dos semi-esferas, cuyos bordes se ajustan perfectamente, y una de ellas tiene una llave que se atornilla á la máquina neumática: enrarecido el aire del interior, se necesita emplear una fuerza considerable para separar ambos hemisferios, una vez que, disminuida la presión interior del aire, se manifiesta la exterior con todos sus efectos.

## LECCIÓN 38.

### MEDIDA DE LA PRESIÓN DEL AIRE.

155. Experimento de Torricelli: valor de la presión atmosférica.—Conocida la presión atmosférica, se hace necesaria determinar su valor, y esto fué resuelto por Torricelli con el importante experimento siguiente: si se toma un tubo recto de cristal cerrado por uno de sus extremos y lleno de mercurio, y se introduce por la extremidad abierta en otro depósito que contenga también mercurio, teniendo cuidado antes de cubrir con el dedo dicha extremidad, una parte del mercurio introducido en el tubo se mezcla con el del depósito, y el resto se mantiene en el interior de este á una altura próximamente de 76 centímetros en perfecto equilibrio por la presión de la atmósfera. El valor de esta presión se determina fácilmente: en efecto; supongamos que la sección del tubo es un centímetro cuadrado, el volumen de la columna mercurial, será igual á 76 centímetros cúbicos, y su peso, 1 kilogramo y 33 gramos, ó sea el producto que resulta de multiplicar este volumen por la densidad del mercurio, igual á 13,6.

Conocida la presión de la atmósfera sobre un centímetro de superficie, se podrá calcular la que se produce sobre un decímetro, un metro, diez metros ó más, sin otra cosa que hacer 100, 1000 10000, etc. veces mayor el anterior valor, obteniendo por lo tanto, los números 103, 1033, 10333 kilogramos respectivamente.

156. Barómetro; sus clases: barómetro de cubeta: sistema Winkelmann: sistema Fortín.—Con el nombre de *barómetro* se dá á conocer aquel instrumento que mide el valor de la presión atmosférica.

Várias son las clases de barómetros, entre los cuales se citan los de cubeta, sifón, de cuadrante y metálico.

Los de cubeta están formados por un tubo de cristal y el depósito con mercurio, todo dispuesto de la misma manera que para repetir el *experimento de Torricelli*, acompañando escalas divididas en milímetros para apreciar la distancia existente desde la superficie del mercurio contenido en el depósito ó cubeta hasta la ocupada por este mismo líquido en el interior del tubo. En estos barómetros recibe el nombre de cámara barométrica ó *vacío de Torricelli* la parte superior del tubo que no se halla ocupada por el mercurio.

Entre los diferentes sistemas de barómetros de cubeta el mas usado por sus buenas condiciones es el de Winkelmann: se halla formado por un vaso ó depósito de cristal colocado en el interior de otro metálico dispuesto de modo que en su interior contiene mercurio y además deja pasar la extremidad abierta del tubo recto con el mismo líquido sostenido en equilibrio: este tubo se halla envuelto por otro segundo de metal que tiene en la parte superior una abertura que permite ver la parte superior del mercurio del tubo, y que además deja correr con montura micrométrica una escala, cuyo cero debe coincidir exactamente con la superficie inferior del mercurio, mediante una punta de marfil movable; en la parte superior lleva un nonius que aprecia las décimas de milímetro movable con otro segundo tornillo micrométrico: todo el aparato se halla suspendido por la parte superior, mediante una anilla á modo de plomada, para que de esta manera ocupe una posición vertical.

El sistema Fortín es parecido al anterior, pero se diferencia en que la escala está fija en el tubo de metal que protege el de cristal; además el fondo de la cubeta es movable y puede subir ó bajar por medio de tornillo para de este modo elevar el nivel del mercurio de la cubeta á la altura que ocupa el índice de marfil que forma el 0 de la escala.

157. Barómetro sifón: sistema Gay-Lussac: id. de cuadrante. El barómetro sifón le constituye un tubo encorvado en forma de U, y de brazos desiguales; el mas largo se halla cerrado en su extremidad y el más corto abierto. Lleno de mercurio el brazo largo basta invertirlo de modo que la encorvadura ocupe la parte inferior, para que una parte del mercurio de la rama larga pase á la corta, presentando otro segundo nivel; la altura barométrica se aprecia por la distancia de separación entre ambas superficies.

Gay-Lussac dió una disposición muy ingeniosa á este instrumento que permite hacerle portátil con mucha comodidad.

El barómetro cuadrante le forma un barómetro sifón que tiene flotante en la superficie del mercurio de la rama corta una pequeña esfera de cristal, lastrada con una gota de mercurio y suspendida además de un ligero cordón que pasa por la ranura de una poleita terminada en un contra-peso: en el centro de la polea se halla fija una aguja destinada á recorrer un cuadrante, cuyas divisiones se han trazado por comparación con un barómetro tipo; por último, el todo de este instrumento, se halla encerrado en un estuche de madera que cubre con un cristal circular el cuadrante donde oscila la aguja.

158. Barómetros metálicos: sistemas Bourdon y aneróide. —El barómetro metálico de Bourdon le forma un tubo de metal de paredes flexibles y arrollado sobre sí mismo, dispuesto de ma-



nera que sus extremidades se aproximan ó alejan por los aumentos ó disminuciones de la presión atmosférica: estos movimientos de los extremos del tubo se comunican á una aguja por medio de palancas unidas á un torniquete en cuyo centro se halla fija. Un cuadrante circular que contiene divisiones es recorrido por la aguja, cuyas divisiones se han trazado previamente por comparación con un barómetro-tipo, hallándose el todo de este instrumento encerrado en un estuche cilíndrico de poca altura que tiene en la parte anterior una lámina de cristal, que al propio tiempo que protege el mecanismo, deja ver al través los movimientos de la aguja en el cuadrante.

Entre los barómetros metálicos figura también el *aneróide*, que está compuesto de una caja circular de cobre, de paredes muy delgadas y acanaladas, en cuyo interior se ha hecho el vacío, disponiendo además de un mecanismo que trasmite los movimientos de la caja á una aguja como la del anterior, á quien se parece en la forma general.

159. **Barométrógrafos.**—Reciben este nombre aquellos barómetros que, acompañados de un mecanismo especial, permiten dejar escrito sobre una hoja de papel cuadrulado unas curvas que expresan todos los movimientos de ascenso y descenso que ha tenido la columna mercurial: los mas importantes son debidos al P. Secchi.

160. **Medida de alturas.**—Es tan exacta la relación que nos presentan las oscilaciones barométricas en dos puntos separados á una distancia variable en una misma vertical que por esta razón se ha utilizado el barómetro como instrumento de los mas perfectos en la determinación de la altitud de dos puntos de la superficie de la tierra. Al efecto se tiene presente que la altura mercurial varía un milímetro por cada 11 metros de elevación, de modo que la operación es bien sencilla, basta simplemente observar la altura que nos presenta el barómetro en los dos puntos dados y la multiplicación por el número 11 de la diferencia de ambas observaciones, expresa el valor apetecido.

Este procedimiento presenta algunas causas de error por cuya razón se aplica la fórmula de Babinet que reúne la exactitud necesaria: esta fórmula es la siguiente:

$$D = 16000 \left( \frac{A - a}{A + a} \right) \left( 1 + \frac{2(T + t)}{1000} \right)$$

161. **Correcciones y variaciones barométricas: sus clases.**—Las alturas medidas directamente con el barómetro, cuando se tratan de relacionar con las observadas en diferentes puntos, es preciso colocarlas en idénticas circunstancias, haciendo uso de las siguientes correcciones: 1.<sup>a</sup> La de capilaridad, por la cual la altura observada es menor por la depresión del mercurio y esto se remedia con la aplicación de las tablas de Delcrós. 2.<sup>a</sup> La reducción á cero que se explicará al tratar de la dilatación de los líquidos, pues el calor, dilatando el mercurio, le obliga á tomar una altura tanto mayor cuanto mayor sea la temperatura y 3.<sup>a</sup> La que se relaciona con las diferentes altitudes á donde se hallan instalados los barómetros observados.

Al examinar los diferentes valores que nos presenta la altura barométrica se observan variaciones más ó menos notables que dan lugar á las denominadas *osci-*

laciones, las cuales, atendiendo á la manera de producirse, se ha convenido en dividir en varias clases, entre las cuales se incluyen las denominadas *regulares*, por producirse á intervalos iguales de tiempo y las *irregulares ó perturbaciones* que no presentan regularidad en su producción. Las primeras toman los nombres de diurnas que se manifiestan en ciertas horas del día con una constancia tan grande en ciertas localidades como en las regiones ecuatoriales, que bien pudieran utilizarse como verdaderos signos horarios.

En nuestros países no se observa regularidad tan grande, pero se sabe que á las nueve de la mañana y á las diez de la noche presenta el barómetro sus máximas alturas y á las cuatro de la tarde y tres de la madrugada se presentan las mínimas alturas.

## LECCIÓN 39.

### PRESIÓN DE LOS GASES: MANÓMETROS: AEREOSTACIÓN.

162. Ley de Mariotte: su demostración: trabajos de Regnault. —Otra de las propiedades que se necesita conocer en los cuerpos gaseosos, como consecuencia del estudio de las presiones, es la que se refiere á su *compresibilidad* determinada por la ley de Mariotte formulada en los términos siguientes: *El volumen de los gases comprimidos se halla en razón inversa de las presiones que sufren.* Para comprobar esta ley el referido físico hizo uso de un tubo de cristal encorvado: una de las ramas medía un metro de longitud y se hallaba abierta y la otra cerrada simplemente tenía de largo 10 centímetros; introducida en este tubo una cantidad tal de mercurio que en el interior de la rama corta quedase un espacio lleno de aire de próximamente 10 centímetros cúbicos, cuyo gas estaba por lo tanto sometido á la presión de la atmósfera, pero si esta presión se hacía doble, echando una cantidad de mercurio en el brazo largo que tomase una altura igual á la de la columna de un barómetro en el momento de la observación el volumen del aire encerrado en la rama corta se reducía á la mitad: echando otra nueva cantidad de mercurio, el volumen del aire se reducía á la tercera parte, y así sucesivamente.

Modernamente el físico Regnault, haciendo uso de procedimientos mucho mas exactos, demostró la falta de generalidad de esta ley para los diferentes gases y aun para el mismo aire á presiones mucho más considerables, sin embargo las diferencias halladas no fueron de consideración.

163. Manómetros: unidad: atmósfera: diferentes clases de manómetros. —La medida de las presiones ejercidas en los cuerpos gaseosos se consigue con aparatos especiales denominados *manómetros*, los cuales nos determinan por lo tanto la fuerza elástica de los gases. La unidad de medida se llama *atmósfera* y representa la presión que puede ejercer una columna de mercurio de 76 centímetros de altura por uno de sección.

Las clases de manómetros son varias, entre ellas, se citan el de

Bourdon, Regnault, el de aire libre y el de aire comprimido. El primero le forma un tubo de metal y paredes flexibles arrollado sobre si mismo, abierto por un extremo que comunica por medio de una llave con el depósito que contiene el gas y en el otro lleva una aguja que puede oscilar al rededor de un arco: todo el mecanismo está encerrado en una caja de cobre cubierta de cristal por la parte anterior para de este modo observar las diferentes posiciones de la aguja.

En todos los otros se aprovecha las diferentes alturas que puedan tomar las columnas mercuriales encerradas en tubos á manera de barómetros con ó sin comunicación con el aire exterior.

164. **Aereostación: sus principios fundamentales.**—El estudio estático de los gases ha dado lugar á una parte de la Mecánica que trata de la manera de mantener flotantes en la atmósfera cuerpos pesados del mismo modo que se mantienen en los líquidos, cumpliendo el principio de Arquímedes.

El *baróscopo* es el aparato destinado á comprobar la pérdida de peso que se observa en los cuerpos sólidos por el volumen de aire que desalojan. Dicho aparató le forma una pequeña balanza que tiene pendientes dos esferas del mismo peso y materia, pero de diferente volumen, una por lo tanto maciza y hueca la otra: colocado este aparato en el interior de la campana neumática, antes de funcionar la máquina se mantienen ambas esferas en equilibrio; pero luego que se ha provocado el vacío, la balanza se inclina del lado de la esfera hueca, porque siendo mayor el volumen del peso, la pérdida que ha experimentado es también mayor.

De dedúcese de lo expuesto que si nosotros disponemos recipientes de grandes dimensiones, pero de muy poco peso, como pueden ser los formados por telas y que esten llenos de gases menos densos que el aire, desalojarán volúmenes de este último que pesarán mucho más que ellos, y por lo tanto podrán elevarse á las regiones superiores formando los *globos aereostáticos*. La construcción de esta clase de aparatos exige el cumplimiento de ciertas reglas, las cuales unas se refieren á la elección de las materias que le forman como puedan ser el papel y los lienzos barnizados; otras se refieren á los gases empleados, entre los cuales figuran el hidrógeno, el gas del alumbrado, el mismo aire caliente, el humo, etc. y por último, aquellas que tienen por objeto la seguridad de los objetos ó personas que efectúan la ascensión.

165. **Ascensiones notables.**—Estos descubrimientos datan desde mediados del siglo pasado, desde cuya época se han hecho numerosísimos ensayos, unos simplemente como medio de recreo y otros de caracter científico para conseguir dar á los globos una dirección determinada, pero sus resultados han sido infructuosos y algunos de fatales consecuencias.

El primer globo que se elevó en los aires fué el preparado en Junio de 1783 por los hermanos Mongolfier en Annonay.—Pilatre de Rocier y el marqués de Arlandes en 1783 fueron los primeros que se elevaron en un globo lleno de aire caliente: á los pocos dias Charles y Rober en otro lleno de hidrógeno — Gay Lussac en 1804 también se elevó á 7000 metros, Glaisher y Coxwell á 10000. El magnífico globo cautivo de H Giffar, que hacía sus diarias ascensiones en la Exposición de París de 1878 y otros construidos

para auxiliar las operaciones militares ó verificar trabajos meteorológicos son dignos de admiración. El problema de dar dirección á los globos está sin resolver: sin embargo el 9 de Agosto de 1884 se elevaron en un globo de forma especial los oficiales franceses Renard Hermanos, provisto de un motor, utilizando la electricidad y el resultado fué satisfactorio. Pocos días después, el 16 de Setiembre, los Hermanos Tisandier verificaron otra ascensión dirijible con sorprendentes resultados, utilizando también la electricidad como fuerza motora.

## LECCIÓN 40.

### MOVIMIENTO DE LOS GASES.

166. **Principio de Pascal.** Este físico aplicó el principio de igualdad de presión de los líquidos á cuerpos gaseosos, comprobándose después esto mismo con sencillos aparatos.

En efecto, si en un globo de cristal, provisto en su superficie de varios orificios a los cuales se adaptan tubos de cristal en forma de U y que en su interior contengan mercurio, introducimos un gas cualquiera y le sometemos á una presión por medio de un émbolo que pase por el cuello del mismo globo, se observará que las columnas del mercurio se alejan del centro del globo la misma distancia.

167. **Movimiento de los gases: gasómetros: sus clases.**—Los cuerpos gaseosos cuando salen de los depósitos en donde se hallan encerrados, manifiestan su movimiento en análogas condiciones que los cuerpos líquidos, sometiéndose á las mismas leyes, bien al efectuar la salida á través de orificios ó simples aberturas, ó por medio de tubos adicionales; sin embargo, es preciso tener en cuenta las modificaciones que imprime la fuerza expansiva.

El físico Bernouilli aplicó la fórmula  $v = \sqrt{2gh}$  análoga á la de los líquidos en la cual  $h$  representa la presión.

Los aparatos destinados á contener los gases y al propio tiempo una velocidad constante en el acto de ponerse en movimiento, reciben el nombre de *gasómetros*.

Las clases de gasómetros son muchas entre las cuales se pueden citar las siguientes. El *gasómetro de laboratorio* está formado ordinariamente por un depósito de zinc ó cobre de forma cilíndrica que presenta varios orificios, dos en la base superior por uno de los cuales pasa un tubo que termina casi en el fondo; otro en los extremos de una de sus generatrices, unidos entre sí por un tubo de cristal, otro con surtidor en la parte superior con su correspondiente llave y el último en la inferior, cerrado por un tornillo. Para usarle se llena por completo de agua, teniendo cerradas todas las llaves, se establece la comunicación por el orificio de la parte inferior y el aparato productor del gas que pene-

trará poco á poco y será causa de que el agua salga por este mismo punto. Para dar salida al gas, se vuelve á echar agua y el gas comprimido saldrá por el orificio situado en la parte superior: de aquí que, penetrando el agua con regularidad, la velocidad del gas también será constante.

Los gasómetros en gran escala los forman grandes recipientes cilíndricos en número de dos, uno de los cuales da entrada al otro que está lleno de agua; el gas llega á este por el fondo y, acumulándose sobre la superficie del líquido, obliga á elevarse el otro de los cilindros. Para dar salida basta cerrar la comunicación del tubo de entrada, ó proceder al gasto del fluido, mediante la comunicación que tiene el gasómetro con la cañería distributiva. Los movimientos de ascenso para la carga y descenso para el gasto se facilitan con el empleo de unas poleas fijas en el borde de la base superior y que ruedan por unos rails verticales que forman un armazón exterior.

168. Instrumentos destinados á producir corrientes de gases.— Pueden incluirse en este grupo todas las denominadas *máquinas soplantes*, presentando un ejemplo bien sencillo el vulgar *fuelle* usado en la economía doméstica, ó el de grandes dimensiones para activar el fuego de los hornos industriales, que puede producir corrientes continuas ó intermitentes.

Se obtienen mejores resultados con las máquinas soplantes de pistón, movidas por el vapor ú otro motor cualquiera; están formadas por grandes cuerpos de bomba, por cuyo interior discurre un poderoso pistón dotado de un movimiento de ascenso y descenso; el cuerpo de bomba en cada base tiene dos orificios que comunican con el exterior por medio de válvulas que se abren de fuera á dentro y los otros dos que se comunican entre sí por medio de un tubo de dos brazos. Al moverse de arriba á abajo, el émbolo deja encima de sí el vacío, que es ocupado por el aire exterior, pero al ascender, se dirige al ser comprimido por el tubo de comunicación, y como esta acción es doble, la corriente dirigida por el tubo es constante.

169. Gasto de los gases.— Verificándose el movimiento de los gases en las mismas condiciones que en los líquidos, teniendo en cuenta la presión y, siendo la velocidad en estos el principio fundamental que regula la salida de un gas, así también la anterior fórmula es susceptible de recibir la modificación propia para dar el gasto. Se aprecia este, tomando como unidad de medida ordinariamente el centímetro ó el metro cúbico.

## SECCIÓN TERCERA.—Aplicaciones deducidas de los principios expuestos.

### LECCIÓN 41.

#### BOMBAS.

170. Bombas: sus clases: partes que deben estudiarse en ellas.— Las bombas son instrumentos destinados á efectuar la elevación de las aguas por el intermedio de la presión atmosférica.

Sus clases pueden reducirse á dos: unas absorben el agua á lo largo de tubos para verificar la elevación del mismo líquido; y otras impulsan el agua á una distancia variable: las primeras se llaman *aspirantes* y las segundas *impelentes*. En todas ellas hay que considerar las siguientes partes: cuerpos de bomba, pistones ó émbolos, válvulas, tubos y mecanismos vários.

*Cuerpos de bomba* formados por cilindros huecos de una materia resistente, abiertos mediante orificios practicados en las bases.

*Pistones* que son cilindros macizos de la misma sección que los anteriores en la parte interior y por los cuales pueden discurrir á frote fuerte, formados por discos de cuero convenientemente superpuestos y que en el centro tienen unas varillas de metal denominadas *tallos*: pueden ser macizos ó estar taladrados por agujeros.

*Válvulas* formadas por piezas movibles que cubren alternativamente los orificios de los pistones, ó de los cuerpos de bomba, pudiendo ser planas ó de charnela, cónicas, esféricas, etc.

*Tubos de comunicación* constituidos por cilindros de hierro de una materia resistente por cuyo interior discurrir el agua desde el depósito al cuerpo de bomba ó desde este á un punto cualquiera.

Y por último, *mecanismos vários* como son palancas ó manubrios con volantes que provocan el movimiento de ascenso y descenso de los pistones.

**171 Partes que forman la bomba aspirante: modo de funcionar.**—Está formada por un cuerpo de bomba con pistón que en su parte interior tiene un tubo de comunicación y termina en el depósito: dos válvulas, que se abren de abajo arriba, se hallan colocadas una en el espesor del pistón y la otra en el punto de unión del tubo con el cuerpo de bomba. Funciona de este modo: si el pistón se halla en la parte inferior de su carrera y por un mecanismo especial se consigue su traslación á la parte superior, producirá el vacío en todo el espacio que deja debajo de sí, de tal modo que el aire contenido en el tubo pasará á ocupar dicho espacio, pero enrareciéndose: si desciende el pistón, el aire encerrado en el cuerpo de bomba, será comprimido y como consecuencia abrirá la válvula del pistón y pasará á la parte superior, pero vuelve este á ascender nuevamente y entonces provoca por segunda vez el vacío en el interior y hace salir fuera todo el aire que anteriormente había atravesado, así como también nueva cantidad de aire ocupará el vacío producido, abriendo la válvula del tubo de comunicación. Al cabo de cierto número de ascensos y descensos del pistón se habrá producido el vacío en todo el tubo de comunicación y entonces el agua que se halla en contacto con el mismo, en virtud de la presión atmosférica, se elevará á lo largo del tubo, y una vez hecho esto, repetirá las mismas acciones que anteriormente realizase el aire, saliendo en forma de caño por la parte superior del cuerpo de bomba.

**172. Bomba impelente: sus partes y modo de funcionar.**—Está formada por un cuerpo de bomba provisto del correspondiente émbolo macizo, en la parte inferior tiene dos orificios, uno

en el centro de la base, el otro lateralmente, cubiertos ambos con sus válvulas. El aparato para que funcione, se coloca dentro del agua, la cual abre la válvula del cuerpo de bomba para penetrar en él, tan luego como el émbolo ha pasado de la parte inferior á la superior; pero en el momento de descender comprime al agua, y en vez de volver esta al depósito, abre la válvula que cierra el orificio de la parte lateral en donde se halla empalmado un tubo de comunicación y asciende á lo largo de este, hasta verterse por la parte superior.

173. **Bomba mixta: bomba de incendios.**—Esta bomba mixta se halla formada por una aspirante que en la parte superior comunica con un depósito á donde se acumula el agua y comprimiendo al aire encerrado en su interior en el momento de salir, la fuerza elástica de este obliga á dar una velocidad notable á la corriente de agua que arrastra en su camino.

La bomba de incendios la forma un gran depósito con agua montado ordinariamente en un soporte movable de un sitio á otro, en cuyo interior se colocan dos bombas impelentes que dirigen el agua á un gran vaso cerrado herméticamente que se halla situado entre ambas: el aire del interior es comprimido con fuerza por el agua, de modo que si se favorece la salida por medio de un surtidor colocado en una manga de cuero, el agua se elevará á la altura deseada. Esta bomba toma diferentes formas más ó menos conocidas que pueden utilizarse para el riego y otra infinidad de aplicaciones.

## LECCIÓN 42.

SIFÓN: PIPETA: FUENTE INTERMITENTE Y BOMBA DE COMPRESIÓN.

174. **Sifón: su teoría y manejo.**—El sifón es un aparato empleado en la trasvasión de los líquidos de unas vasijas á otras. Está formado por un tubo encorvado en dos brazos desiguales: lleno de líquido é introducida la rama corta en el recipiente que contiene el mismo líquido, este en su totalidad atraviesa el tubo, efectuando la trasvasión. Se explica este resultado fácilmente: cada una de las dos superficies líquidas del sifón está sufriendo la presión de la atmósfera y además el peso de columnas líquidas que llenan las dos ramas; por lo tanto, la del brazo largo tendrá mayor valor la presión que sufre y el movimiento del líquido se iniciará también en este sentido. Para llenar de líquido el tubo, cuando no tiene grandes dimensiones, se puede hacer uso de la succión.

El sifón que acabamos de describir es el ordinario. Existen otros para la trasvasión de líquidos en que no sea conveniente verificar succiones con ellos y entonces á la rama larga se adiciona otro segundo tubo en forma de S y que empalma en el extremo del mismo sifón. En la industria se construye de hoja de lata, provisto de una bomba utilizable en la carga del mismo.

Este instrumento sirve de fundamento á la construcción de muchos aparatos de Física recreativa, entre los que se citan el vaso de Tándalo, el embudo mágico, la botella inagotable, etc.

175. **Pipeta: usos que tiene.**—La pipeta es un simple tubo, ordinariamente de pequeñas dimensiones, aguzado finamente por uno de sus extremos.—Toma también el nombre de *cata-líquidos*, atendiendo á los objetos á que se aplica, es decir, á extraer pequeñas cantidades de líquido para examinar sus condiciones: se denomina simplemente *cuenta-gotas*, porque deja caer las pequeñas cantidades del líquido que contiene con cierta intermitencia.

La pipeta se maneja sin mas que introducirla en el líquido teniendo cuidado antes de sacarla de cubrir con el dedo la extremidad superior y de este modo la presión del aire no deja salir al líquido por la inferior, pero en el momento que se descubre el extremo superior, retirando el dedo, se da salida al líquido.

176. **Fuente intermitente.**—Algunos manantiales presentan la particularidad de arrojar agua en ciertos días, suspendiendo después la salida en espacios de tiempo más ó menos iguales, dando lugar á las llamadas *fuentes intermitentes*.

Estas tienen sencilla explicación: supongamos un recipiente natural á donde vierte sus aguas un manantial dado, y en comunicación con ese mismo depósito un conducto de forma curva ó de sifón de una sección tal, que el agua que por él discurre es en mucha más cantidad que la que recibe el depósito del manantial, llegará un momento que habrá vertido el sifón natural toda el agua del depósito. En este caso suspenderá su salida; pero, como nuevas cantidades de agua llegan al mismo depósito, se presentará nuevamente al conducto sifón y este funcionará con tanta regularidad y con los intervalos de tiempo, cuanta mayor constancia presente el agua del manantial en pasar al recipiente natural.

En Física se comprueba experimentalmente este fenómeno por un aparato formado por partes análogas á las descritas y que se conoce con el mismo nombre.

177. **Bomba de compresión.**—Este instrumento tiene por objeto inyectar grandes cantidades de aire ó gas en un espacio relativamente pequeño: está reducida á un simple cuerpo de bomba que tiene en la parte inferior una válvula que se abre de abajo á arriba, y un pistón macizo puede recorrer toda la capacidad interior la cual ofrece en su parte superior un orificio: elevándose el émbolo deja debajo de sí el vacío que inmediatamente al llegar el émbolo á la parte superior de su carrera es ocupado por el aire del exterior, este después de ser comprimido por el émbolo al descender abre la válvula y pasa al depósito, á donde se trata de comprimir el aire: en este momento el muelle de la válvula cierra esta y así después de cierto tiempo se consigue comprimir notablemente en volúmenes relativamente pequeños. La reunión de varias bombas de compresión que funcionan al mismo tiempo por medio de un solo volante engendra las llamadas *máquinas de compresión*.



Estos aparatos se pueden utilizar para conseguir la elevación del agua á distancias considerables, formando las llamadas *fuentes de compresión* que están reducidas á depósitos sólidamente contruidos y cerrados por todos sus lados menos por uno, por donde puede pasar un tubo de metal. Llenos estos vasos las dos terceras partes de agua, se comprime el aire que llena el resto del depósito, y cuando tiene abierta la llave que comunica con el exterior deja escapar con violencia el aire encerrado que manifiesta su expansibilidad, arrastrando el agua en forma de surtidor.

## LECCIÓN 43.

### MÁQUINA NEUMÁTICA.

178. **Máquina neumática ordinaria: teoría.**—La llamada *máquina neumática* tiene por objeto enrarecer el aire de un recipiente cualquiera.—Las bombas aspirantes nos suministran el fundamento de construcción; en efecto, supongamos una campana de cristal ó un depósito cualquiera puesto en comunicación con una simple bomba aspirante: al funcionar esta, cantidades notables del aire de la campana de cristal pasarán por el tubo de comunicación, atravesando el émbolo para dirigirse al exterior y, si dicho gas no poseyese la expansibilidad, llegaría un momento en que la extracción sería completa; pero como no es posible prescindir de esta propiedad, lo único que conseguimos es disminuir la densidad de dicho fluido, haciendo extracción de cantidades de materia en un mismo volumen.—Para que pueda funcionar en buenas condiciones, es preciso disponer el aparato, teniendo presentes las observaciones siguientes: la aspiración debe producirse en dos bombas que funcionen alternativamente, lo cual se consigue utilizando pistones con tallos dentados que engranan con una rueda colocada en el espacio de separación, movida por una palanca de primer género terminada en manilleras; los pistones, al elevarse, abren las válvulas de tubo de comunicación, que son cónicas. El recipiente le forma una campana de cristal, de bordes planos y bien esmerilados que se fija en la denominada *platina*, que es un disco de marmol bien pulimentado. El tubo de comunicación posee además dos órganos muy interesantes: uno es el denominado *barómetro truncado*, encerrado en una campana de cristal que comunica también con el recipiente, y que por la altura de la columna mercurial se aprecia el enrarecimiento producido por la máquina; el otro de los órganos es una llave denominada de *doble acción*, que está construida de un modo tal, que puede hacer comunicar uno de los cuerpos de bomba con el recipiente, los dos ó ninguno.—Ultimamente, en el mismo tubo de comunicación hay también un orificio que dá paso al aire del exterior.

179. **Sistemas modernos más importantes.**—No siempre se presenta esta máquina en la forma que acaba de darse á conocer, sino que las modificaciones introducidas han servido para dar lugar á la formación de sistemas especiales, entre los que figuran los siguientes: la de *Bianchi* verifica la aspiración con un solo cuerpo de bomba, cuyo émbolo produce el vacío por la parte superior y la inferior; el movimiento del tallo se facilita con un volante, auxiliado de la correspondiente biela; en las de *Kravogl* y *Geissler* se utiliza el vacío que producen los descensos de columnas de mercurio en el interior de los tubos.

180. **Aplicaciones.**—La máquina neumática, considerada por sus aplicaciones, puede decirse que es verdaderamente imprescindible en el estudio de la ciencia, pues con ella, como se ha visto ya, se dan á conocer importantísimos experimentos. Si pasamos á estudios de relación, veremos también demostrar con este aparato la influencia que tiene el aire en la respiración de los seres y, por lo tanto, en la vida, toda vez que en una atmósfera enrarecida los animales mueren asfixiados: del mismo modo el papel que la atmósfera realiza en la combustión, toda vez que las bujías encendidas en el interior del recipiente, se apagan cuando la máquina funciona. En el recipiente neumático se pueden tener mucho tiempo sin podrirse productos animales y vegetales, pues allí no existen los cuerpos que provocan las descomposiciones.—Las experiencias de las fuentes en el vacío dan una idea también de la acción de la presión de la atmósfera en el equilibrio de los líquidos, y otra infinidad de aplicaciones que no es posible enumerar detalladamente.

## LECCIÓN 44.

### INSTRUMENTOS FUNDADOS EN LA COMPRESIÓN DE LOS FLUIDOS.

181. **Prensa hidráulica: su teoría.**—Una de las aplicaciones más interesantes que se han hecho del principio de igualdad de presión, es la conocida con el nombre de *prensa hidráulica*, que es un aparato destinado á producir grandes presiones por el intermedio de la acción comprimente del agua en uno de sus puntos y transmitida á todos los demás. Este aparato se halla formado por las partes siguientes: en primer lugar, un gran cilindro hueco de metal colocado verticalmente deja penetrar en su interior otro macizo terminado en la base superior en una gran plancha metálica horizontal, encima de la cual se coloca otra sostenida por columnas de bastante solidez. Una bomba formada por otro cilindro

de metal, de menores dimensiones que el anterior, aspira el agua de un depósito, cuyo líquido es conducido, mediante la presión que ejerce un pistón, colocado en esta misma bomba, al gran cilindro por medio de un tubo de comunicación. Posee además un mecanismo que permite dotar al pistón de un movimiento de ascenso para facilitar la absorción del agua, y otro de descenso para ejercer la presión en el mismo líquido; cuenta también con llaves que facilitan la salida del agua en el interior del tubo, y de válvulas en el interior de la bomba que impiden la vuelta al depósito del agua aspirada, y cuantos órganos accesorios se necesitan para la solidez y buena marcha de todo el aparato.

El modo que tiene de funcionar se comprende desde luego: el agua aspirada por la bomba pasa al tubo de comunicación, y de aquí se acumula en el gran cilindro hasta llenar por completo el espacio que dejan entre sí la superficie interior del cilindro hueco y la exterior del macizo; pero llegado este momento, las presiones ejercidas en el agua por el pistón de la bomba se transmiten proporcionalmente á la superficie del agua encerrada en el cilindro grande, con tanta más intensidad cuanto mayor sea la diferencia que presenten en secciones ambos cilindros. Resulta de aquí que dichas presiones obligan al cilindro macizo á elevarse poco á poco, dejando su lugar al agua que vá penetrando en el cilindro hueco, y al efectuarse este movimiento, se reduce notablemente la distancia de separación de las dos planchas, entre las cuales se halla colocado el cuerpo que se desea comprimir.

182. **Antigua fuente de Herón.**—Este es el nombre de otro aparato en el que se utiliza la presión del aire contra el agua para conseguir la elevación de esta, en forma de surtidor, á una altura notable.

Es ya conocida desde los tiempos más antiguos y está compuesta de dos globos de cristal y un recipiente semi-esférico; este último comunica por medio de tubos con los anteriores, los cuales á su vez hacen esto mismo entre sí por otro tercer tubo.

Si se llena el vaso superior de agua, esta, cuando descende al inferior, hace pasar el aire que ocupaba al anterior y, comprimida el agua que contiene por la expansibilidad del aire, sale por el tubo que comunica al mismo globo con el depósito semi-esférico, en forma de surtidor.

183. **Carabina de viento.**—Toma este nombre un arma que á semejanza de los fusiles, lanza á una distancia considerable y con gran violencia un proyectil. La forma que tiene este instrumento, es la misma que la del arma á quien imita; pero la culata es hueca y comunica con el oído por medio de una válvula que abre el gatillo: basta, por lo tanto, comprimir el aire en el interior de la culata, para que el proyectil colocado en el sitio conveniente sea arrastrado por el aire en el momento de establecer la comunicación con el exterior, en virtud de su fuerza expansiva.

184. **Arriete hidráulico: elementos que le componen.**—Este aparato tiene por objeto elevar el agua, utilizando la fuerza que desarrolla cuando descende y la elasticidad del aire. Está formado por dos partes: una denominada *cabeza*, y que no es otra cosa sinó un globo de cristal atravesado por un tubo que termina en surti-

dor y que al mismo tiempo comunica con un platillo taladrado por un tubo que, en su extremo, termina en una válvula; otra parte es el *cuerpo*, formado por un depósito y un tubo de comunicación con la cabeza. El modo que tiene de funcionar es sencillo: echando agua en el depósito, pasa este líquido á lo largo del tubo (por donde saldría sinó cerrase la misma corriente la válvula), retrocede y entra en el globo, comprimiendo el aire, el que á su vez deja escapar el agua por el tubo á una gran elevación; las sucesivas corrientes repiten este movimiento y así obligan á la válvula á cerrarse y abrirse con cierta regularidad.

185. **Aplicaciones.**—El aire comprimido se utiliza hoy muy satisfactoriamente en miles de aplicaciones, entre las cuales figuran los relojes neumáticos de Popp (1878), los telégrafos neumáticos de Medhurst; la locomotora de aire comprimido, sistema Ribout, que tan buenos resultados produjo en las obras de apertura del famoso tunel de San Gotardo y los carruajes denominados automóviles de Mekarski.

No es posible detallar en la presente obra estas aplicaciones que son objeto de estudio en la Física Industrial.

---

---

---

## TERCERA PARTE. MATERIA Y FUERZA.

---

### LECCIÓN 45.

#### TEORÍA DE LA UNIDAD DE FUERZAS Y UNIDADES FÍSICAS.

186. Fenómeno y movimiento: sus manifestaciones.—Con la palabra *fenómeno* expresamos todos los hechos naturales que en general no son otra cosa más que las variadas acciones de las fuerzas físicas sobre la materia y como este concepto comprende en realidad el *movimiento* de aquí se deduce que ambas palabras expresan una misma idea, *materia y fuerza*.

El objeto de la presente parte es el estudio del movimiento considerado bajo este punto de vista ó más simplemente el fenómeno, tratando de inquirir las causas productoras y su naturaleza.

La inmensa mayoría de fenómenos físicos se encuentra reducida á las tres siguientes manifestaciones: primera la que produce las conocidas sensaciones de calor ó frío y las mutaciones de volumen ó de estado que experimentan los cuerpos: segunda, todos aquellos hechos que hieren nuestra retina dependientes de una causa, por la cual vemos las formas y colores, y la tercera comprende hechos muy variados desde las atracciones y repulsiones hasta las violentas conmociones que sufre el sistema nervioso, pudiendo ofrecer estas manifestaciones la reproducción de los anteriores hechos.

Las causas de los fenómenos ó agentes físicos se han considerado como distintas, así es que la atracción en general, el calor, la luz, el magnetismo y la electricidad han sido los nombres con que se han representado. Todas estas á excepción de la primera, las suponían los antiguos engendradas unas por fluidos especiales ó materias muy sutiles y distintas entre sí y otros creían ver en ellas movimientos vibratorios diferentes que manifestaban otra materia extremadamente enrarecida.

187. Éter: sus cualidades: carácter de unidad de las fuerzas físicas.—Según los físicos modernos es posible explicar todos los fenómenos ó movimientos, admitiendo, además de la materia ponderable que vemos ó percibimos por medio de los sentidos, la



materia que esparcida por todo el universo, al erigirse en movimiento vibratorio, engendra todos los fenómenos: esta materia se denomina *éter*.

El *éter*, llamado también *materia cósmica*, es una sustancia imponderable, impalpable é incoercible, infinita y en constante y eterna vibración.

La materia cósmica se supone ser eminentemente sùtil, de tal modo que el grado de enrarecimiento que presenta es tan grande que en ella no ejerce acci3n alguna la atracci3n universal. Como consecuencia de esta sutileza puede penetrar en los espacios intermoleculares y al propio tiempo, siendo infinita llenar tambi3n los interplanetarios. Siendo del mismo modo eminentemente elástica, cualquier movimiento iniciado en uno de sus elementos será susceptible de comunicarse á los demás, para volver inmediatamente á tomar su primitiva posici3n y este movimiento será perfectamente vibratorio, en el cual se hallarán las relaciones de *amplitud*, *tiempo* y *velocidad*. Como tendremos ocasi3n de observar todos aquellos hechos dependientes de las variaciones de temperatura podrán ser explicados por los valores de la amplitud de la vibraci3n etérea y del propio modo los luminosos y eléctricos por la duraci3n y velocidad de la misma vibraci3n, comparables estos movimientos, que nuestros sentidos no pueden percibir, con los que realiza la materia ponderable en el momento de estar en vibraci3n.

En la presente teorí3 sostenida por los hombres más notables de la ciencia, como Grove, Tyndall, P. Secchi, Mayer, etc. se supone adem3s un movimiento especial en las moléculas de los cuerpos que con velocidades distintas trasmite al *éter*, quien á su vez en ciertos casos es susceptible de engendrar estos mismos movimientos en las moléculas de los cuerpos: resultando que los átomos del *éter* y de los cuerpos son sucesivamente productores del movimiento, ó lo que es igual que todos los fenómenos físicos se refieren á una sola causa mecánica, es decir, transformaciones de movimiento.

188. **Unidades físicas en general del sistema L. G. T.—Unidades mecánicas.**—El Congreso internacional de electricistas celebrado en Setiembre de 1881 adoptó el sistema de unidades físicas seguido por la Asociaci3n británica que respondía á la necesidad de uniformar las diversas fórmulas de la ciencia. Las unidades admitidas son de dos órdenes: *fundamentales* y *derivadas*, llamadas estas así por deducirse de aquellas.—Las unidades fundamentales son el (L) *centímetro*, (G) gramo, y (T) segundo. Para la expresi3n de los múltiplos ó submúltiplos se aplican los prefijos del sistema métrico *deca*, *hecto*, *kilo*, *miria* y *deci*, *centi*, *mili* de igual significaci3n conocida y *Mega* y *Micro* equivalentes á un mill3n y una millonésima respectivamente.

Para evitar el empleo de muchas cifras en la representaci3n de cantidades se usan las notaciones *decimales* ó *exponenciales* en esta forma: el número 858000000 podrá escribirse  $858 \times 10^7$ , ó tambi3n  $85,8 \times 10^8$ ; del propio modo 0,0000722 se escribirá  $722 \times 10^{-7}$  ó tambi3n  $0,722 \times 10^{-4}$ . El exponente positivo indica los lugares que es preciso correr la coma á la derecha y el negativo á la izquierda.

Las *unidades derivadas* se han clasificado en los grupos de unidades geométricas, mecánicas, magnéticas y eléctricas. *Dimensiones* de una unidad derivada son las relaciones que une á las unidades fundamentales. Entre las llamadas *Unidades mecánicas* se citan las siguientes:

La unidad derivada de *velocidad* es la de un cuerpo que se mueve en línea recta con movimiento uniforme y recorre un centímetro en un segundo.  $v = \frac{L}{T} = L T^{-1}$ .

La unidad derivada de *aceleración* es la de un cuerpo, cuya velocidad aumenta un centímetro por un segundo  $\gamma = \frac{L}{T^2} = L T^{-2}$ .

La unidad derivada de fuerza es la *dyna* representante de aquella fuerza que comunica en un segundo á un gramo la aceleración de un centímetro  $F = \frac{M L}{T^2} = M L T^{-2}$ .

La unidad derivada de *trabajo* es el *erg*, es decir, el trabajo que desarrolla una *dyna* en un centímetro  $W = \frac{M L^2}{T^2} = M L^2 T^{-2}$ .

La unidad derivada de *potencia* es la cantidad de trabajo que realiza un *erg* en un segundo  $P = \frac{M L^2}{T^3} = M L^2 T^{-3}$ .

## SECCIÓN PRIMERA—Calor.

### CAPITULO I.

#### *Temperatura y medios de apreciarla.*

#### LECCIÓN 46.

##### GENERACIÓN DEL CALOR: HIPÓTESIS.

189. **Manantiales caloríficos.**—Las manifestaciones del calor pueden clasificarse en tres agrupaciones.—1.<sup>a</sup> Entre las diferentes acciones mecánicas productoras de calor el frotamiento es uno de los más importantes, según comprobó Tyndall del modo siguiente: un tubo de metal, colocado en una de dos poleas unidas entre sí por una cuerda sin fin, adquiere un rápido movimiento de rotación; unas pinzas de madera, entre las cuales se coloca el referido tubo, son frotadas fuertemente por este cuando gira y el calor producido es tal, que, si antes de principiar el experimento, se introduce una pequeña cantidad de agua en el mismo tubo herméticamente cerrado con un tapón de corcho, este será despedido con violencia por la fuerza elástica del vapor formado.

La presión puede también ser considerada como un manantial calorífico; y en efecto, el mismo físico Tyndall lo comprobó

en la sencilla presión, que realiza una corriente de gas fuertemente comprimido al chocar contra la pila termo-eléctrica. (a)

La percusión desarrolla también calor como se observa en el choque del eslabón contra el pedernal y finalmente también la destrucción del movimiento, como sucede en el acto de chocar una bala de plomo contra una plancha de acero á una pequeña distancia.

2.<sup>a</sup> Entre los manantiales físicos se citan el calor solar, el terrestre y el de los seres vivientes. Nadie es capaz de poner en duda el aumento de calor que manifiestan los cuerpos en presencia del sol, de tal modo, que la temperatura (b) que recibe la superficie de la tierra, procedente de este manantial calorífico, no es más que una doscientos treinta y ocho millonésima parte del calor total emitido por el astro, capaz de todos modos de fundir por completo una capa de hielo de treinta y un metros de espesor que rodease á toda la superficie terrestre.

Nuestro globo posee además con el nombre de *calor central* una temperatura propia, constante á cierta profundidad é independiente de las estaciones. Esta temperatura propia de la tierra se manifiesta en progresión creciente hácia el centro, de tal modo que, á partir de la capa de temperatura invariable, se ha comprobado el aumento de un grado por cada 30 ó 40 metros de profundidad.

Los seres vivientes también nos manifiestan la posesión de un cierto grado de calor y que, conocido con el calificativo de *vital*, variable para cada uno de los animales, debe ser el resultado de las acciones mecánicas que acompañan á la vida.

3.<sup>a</sup> Es evidente que las moléculas de los cuerpos, al unirse las unas con las otras, obedecen á fuerzas atractivas moleculares, que dan por resultado un cierto trabajo que no puede menos de manifestarse bajo la forma calorífica, cuya acción, verdaderamente mecánica, se efectúa también en el acto de la descomposición. El calor formado es inapreciable, cuando las acciones químicas se efectúan lentamente; pero, por el contrario, es muy intenso cuando se producen con rapidez, como sucede en el acto de la combustión. Esta cantidad de calor ha sido apreciada por diferentes físicos, entre ellos Rumford, haciendo uso de un calorímetro especial.

190. *Idea general de los fenómenos térmicos ó caloríficos.*— Roto el equilibrio de los elementos etéreos, é iniciado el movimiento vibratorio, los cuerpos presentan una série de fenómenos que provocan en nosotros sensaciones de naturaleza varia, y entre estos, aquellos que afectan en general al sentido del tacto, dando lugar á lo que, en el lenguaje vulgar, se designa con la expresión

(a) Se llama *pila termoeléctrica* un aparatito que produce una corriente eléctrica anunciada por otro instrumento llamado *galvanómetro*, cuando sufre una pequeña variación de temperatura.

(b) La palabra *temperatura*, apesar de no haberla definido, todos conocemos la idea que representa.



*calor ó frio.* Los primeros efectos de esta índole que presentan los cuerpos, son los que se refieren á la *variación de volumen* y al *cam-bio de estado*, siguiendo despues los dependientes de la facilidad que ofrecen aquellos para favorecer ó presentar resistencia á la comunicación de movimiento, dando origen á los efectos de *conductibilidad y radiación*.

191. ¿Qué es el calor, según las modernas teorías? *Hipótesis antiguas.*—Las teorías modernas, cuyo fundamento se indicó ya en la lección anterior, al admitir la existencia de la materia cósmica, ocupando todos los espacios, consideran en esta el movimiento vibratorio con variaciones de valores en cuanto se refiere á la *amplitud*; pero siempre oscilando entre ciertos límites la velocidad, para que resulten simplemente las manifestaciones caloríficas.

El calor en estas teorías no es un cuerpo nuevo: es la Materia en movimiento: de modo que todos los fenómenos térmicos están comprendidos en la fórmula general *Dinámica*.

Entre las muchas opiniones que se han emitido para explicar la naturaleza del calor, dos han sido las que por más tiempo han servido para la explicación de los fenómenos térmicos. La de la *emisión* y la de las *ondulaciones*. La primera admitía la existencia de un fluido imponderable denominado *calórico*, cuyos átomos se hallaban dotados de un constante movimiento de repulsión, por el cual eran lanzados á todas distancias y direcciones y penetraban en el interior de los cuerpos. La segunda reconoce como causa el movimiento vibratorio que tienen las moléculas de los cuerpos, capaz de ser trasmitido á todos los espacios por el intermedio de una sustancia eminentemente sutil, denominada *éter*. En esta teoría los cuerpos más calientes son aquellos cuyas moléculas vibran con más rapidez.

192. *Temperatura: modo de apreciarla.*—Si el calor fuese materia, fácilmente podría comprenderse lo que era la temperatura de un cuerpo, es decir, el estado actual ó cantidad de calor sensible que poseyese. De esta manera, al aumentar ó disminuir esa cantidad de calor sensible, se diría que la temperatura subía ó bajaba; pero en la teoría moderna la temperatura no es más que el valor de la amplitud en la vibración etérea, ó su particular estado de vibración.

La temperatura se manifiesta por impresiones en el tacto, y si nuestros sentidos no presentasen causas de errores, muchas veces frecuentes, por la intensidad de estas impresiones, vendríamos en conocimiento de aquella.—Los fenómenos que nos ofrecen los cuerpos son más regulares y ellos expresan la intensidad de la causa que los produce.

## LECCIÓN 47.

### TERMÓMETRO ORDINARIO.

193. *Termómetro: su teoría.*—Termómetro es un instrumento destinado á determinar la temperatura de los cuerpos.

Uno de los efectos primarios del calor al actuar sobre los cuerpos es producir en ellos el aumento de volumen en proporción con la temperatura que reciben

este efecto se presenta con bastante regularidad en los sólidos, pero es mucho mayor en los líquidos y en los gases. En los líquidos es más perceptible y tratándose del mercurio, ofrece mayores ventajas, así es que, si encerramos este cuerpo en el interior de un delgado tubo de cristal, veremos á la columna de mercurio que se forma, adquirir longitudes variables, según la temperatura que reciba. La cuestión se reduce por lo tanto á establecer una relación entre la longitud de dicha columna líquida y ciertos grados de calor tomados como escala de graduaciones.

194. **Termómetro de mercurio: operaciones que comprende su construcción.**—El termómetro ordinario de mercurio está formado por un tubo de cristal, cerrado por una de sus extremidades y soldado por la otra á un depósito también de cristal de figura variable, en el cual y en una parte del mismo tubo existe una cantidad de mercurio que, según el nivel que ocupa, así determina los grados de temperatura marcados en la escala en donde se halla fijo todo el instrumento.

La construcción de los termómetros exige la realización de cierto número de operaciones que conducen, convenientemente dispuestas, á la buena marcha del instrumento. Estas operaciones son las siguientes: 1.<sup>a</sup> *Elección del tubo:* esto se consigue escogiendo un tubo perfectamente cilíndrico, ó de la misma sección en toda su longitud, para lo cual se hace correr por el interior del tubo una pequeña gota de mercurio, anotando la longitud que tiene este índice. 2.<sup>a</sup> *Introducción del mercurio:* se suelda á una de las extremidades del tubo el depósito el cual se calienta para desalojar el aire de su interior, sumergiéndole enseguida por el extremo abierto en un recipiente que contenga mercurio perfectamente puro y desecado, el cual pasará al referido depósito y, repitiendo esta operación las veces que sea necesario, se conseguirá llenar completamente el tubo de este líquido: calentando finalmente el mercurio del depósito se obliga á que salga próximamente una tercera parte del mismo, y en el momento de salir se cierra á la lámpara la extremidad abierta. 3.<sup>a</sup> *Formación de la escala:* procédese á la formación de esta, determinando en primer lugar los llamados *puntos fijos* ó sean los que representan la temperatura del hielo y del vapor de agua hirviendo; para el primero basta introducir el termómetro en un depósito que contiene hielo y dejarle allí el tiempo que sea necesario para quedar estacionada la columna mercurial, en cuyo sitio se marca una señal: el segundo punto se determina haciendo uso de un depósito especial, en cuyo fondo hierve el agua y sus vapores rodean el tubo termométrico convenientemente situado, observándose que el mercurio toma una altura especial, de la cual no puede pasar, y que representa el otro de los puntos fijos. 4.<sup>a</sup> *Graduación de la escala:* la distancia comprendida entre estos dos puntos se divide en 100 partes, formando lo que se denomina la escala centígrada, ó en 80 partes, dando lugar á la de Reaumur, y tambien en 180, formando la de Fahrenheit; sin embargo, conviene tener presente con respecto á esta última escala, que el cero de las anteriores se corresponde en ella con el grado 32, de modo que forma un total de 212 grados. En todas las escalas el espacio comprendido desde el cero hasta el depósito comprende tambien divisiones, formando los grados negativos y cada grado en diez ó dos partes para las décimas y medios grados.

195. **Termómetro de alcohol.**—No sólo se emplea en la construcción de los termómetros el mercurio, sino también el alcohol, formando el termómetro de este nombre, dispuesto en la misma forma, y empleando en su construcción análogas reglas que para el anterior.

196. **Relación entre las escalas termométricas.**—La relación entre estas tres escalas se conoce por fracciones ordinarias, cuyos términos son siempre los números totales de grados de las respectivas divisiones, las cuales, convenientemente simplificadas, nos representan los números por quien debemos multiplicar los grados de una escala para convertirlos en los de otra. También puede verificarse esta misma conversión por medio de proporciones planteadas, según las reglas aritméticas, teniendo presente en uno y en otro caso, con respecto á las conversiones de los grados de la escala Fahrenheit á las otras, ó viceversa, que es preciso considerar á los grados de aquellos aumentados ó disminuidos respectivamente en el número 32.

## LECCIÓN 48.

### TERMÓMETROS ESPECIALES.

197. **Termómetros de máxima y mínima: sistema Bellani.**—En la apreciación de las temperaturas del aire se hace preciso el conocimiento de los grados extremos representantes de la mayor y menor temperatura, sin necesidad de una constante y enojosa observación, y esto se consigue por el intermedio de los termómetros de máxima y mínima. Muchos son los sistemas que de esta clase de instrumentos se conocen, entre los cuales, los que producen resultados más satisfactorios, son los siguientes. El *termómetro de máxima de Casella*, formado por uno de mercurio, pero cuya columna se encuentra interrumpida por una pequeña burbuja de aire que, con el objeto de que sirviera de índice, se dejó de propósito antes de cerrar el tubo termométrico: de este modo cuando aumenta la temperatura, la parte de columna mercurial asciende en sentido opuesto al depósito, y, estando el termómetro colocado horizontalmente, se halla imposibilitado de unirse con el resto de mercurio cuando descende la temperatura. El *termómetro de mínima* está formado ordinariamente por el alcohol y un pequeño índice de esmalte que arrastra consigo la columna alcohólica, de modo que permanece fijo en el sitio correspondiente á la menor temperatura, pues cuando esta asciende el alcohol se dilata en el espacio que existe entre las paredes interiores del tubo y la superficie del índice. Este aparato, lo mismo que el anterior, se coloca horizontalmente y se pone en acción suspendiéndole verticalmente con el depósito hacia arriba para que el extremo del índice coincida con el nivel del alcohol.

Bellani ha construido un aparato termométrico muy bien entendido, combinando el termómetro de máxima y mínima, en un tubo de cristal de forma de U doblemente encorvado y cuyas dos ramas sostienen en los extremos de ambas columnas de mercurio y alcohol dos finísimos índices de hierro que marcan por su posición en cada escala las temperaturas extremas; un imán permite colocar estos índices en contacto del mercurio para principiar la observación.

198. **Termómetro diferencial: termóscopo.**—El primero de estos instrumentos se utiliza en la determinación de la diferencia de temperatura que existe en dos lugares inmediatos. Este instrumento le forman dos esferas de cristal llenas de aire que se comunican entre sí por medio de un tubo de pequeño diámetro y encorvado doblemente en ángulo recto que puede fijarse en una tabla. El tubo además se halla lleno de un líquido que no produce vapores como puede ser el ácido sulfúrico, de modo que, poseyendo las dos esferas la misma temperatura, los niveles en ambas ramas se corresponden en un mismo plano. La graduación se efectúa sin más que dar una temperatura conocida á una de las esferas y dividir la elevación que tomó el líquido en la rama opuesta en igual número de partes, continuando la división en la misma forma que en el termómetro ordinario.

*El Termóscopo de Rumford* está dispuesto del mismo modo que el anterior; pero la escala se halla en la rama horizontal y el líquido está reducido á un simple índice que ocupa la parte media de aquella, cuando la temperatura de las dos esferas es la misma.

199. **Termómetros metálicos.**—Breguet dispuso su termómetro, haciendo uso de una lámina compuesta de tres hojas de oro platino y plata, superpuestas y arrolladas en forma de tornillo fija por uno de sus extremos en un soporte de metal y terminada en la parte inferior en una aguja que puede recorrer las diferentes divisiones trazadas en un cuadrante horizontal colocado en la base del aparato.

El fundamento de construcción estriba en la propiedad que tiene la lámina metálica en arrollarse y desarrollarse por las variaciones de temperatura. Este instrumento fué modificado de manera que, por medio de un aparato de relojería, la aguja hace una señal con un estilete lleno de tinta en cada uno de los 24 cuadrantes iguales, correspondientes á las horas del día; otro de los sistemas de termómetros metálicos es el de Tremeschini de construcción muy esmerada.

200. **Termómetros inscriptores.**—Estos instrumentos como su mismo nombre lo indica por diferentes medios mecánicos consiguen trazar sobre cuadrículas de papel convenientemente dispuestas las curvas representantes de los grados termométricos en los periodos horarios: se conocen varios sistemas, entre ellos el de Redier que utilizó la diferente dilatación en línea recta de los metales zinc y acero. El termómetro registrador de Niaudet instalado en el Observatorio de Montsouris pertenece á esta clase de instrumentos.

201. **Pirómetros conocidos.**—Toman este nombre aquellos aparatos destinados á la apreciación de las altas temperaturas observadas en las combustiones de los hornos, etc. Puede asegurarse que hasta la fecha no se posee un sistema de pirómetro que satisfaga cumplidamente las exigencias de la ciencia y entre los

muchos conocidos figuran el de Becquerel ó pirómetro eléctrico, el de Brogniar y el de Wedgwood.

Este último estriba en la propiedad que tiene un trozo de arcilla de reducirse de volumen tanto mas cuanto mayor sea la temperatura que tenga. Se aprecia esta disminución en volumen al hacerle pasar por el espacio que entre sí dejan dos barras metálicas convenientemente graduadas y situadas casi paralelamente así mismas.

## CAPITULO II.

### *Dilatación de los cuerpos por el calor.*

#### LECCIÓN 49.

##### DILATACIÓN DE LOS SÓLIDOS Y VICE-VERSA.

202. Dilatación de los sólidos: experimentos comprobantes.—Los cuerpos sólidos sometidos á la acción del calor presentan inmediatamente como primer efecto el aumento de volumen, dando lugar al fenómeno de la *dilatación* el cual puede comprobarse por sencillos experimentos.

En efecto, observamos que una barra de hierro puede penetrar sin dificultad en el orificio de una sección próximamente igual al de la misma barra, cuando esta tiene la temperatura del aire ambiente, pero si posee una temperatura capaz de ponerla roja no es posible hacerla penetrar. Gravesande dió á conocer este mismo efecto haciendo uso de una esfera y un anillo del mismo diámetro y materia como puede ser el hierro dispuestos de modo que, á la temperatura ordinaria, la esfera atravesase fácilmente por el anillo, pero calentando aquella con una lamparilla de alcohol no es posible repetir lo hecho anteriormente.

El fenómeno de la dilatación tiene una explicación satisfactoria sin admitir otra causa sinó la separación molecular por el aumento de amplitud vibratoria etérea, que, como es consiguiente, se verifica haciendo mayor el espacio en que se efectúa la vibración, y produciendo alguna influencia sobre la atracción molecular.

203. Coeficiente de dilatación: método de Lavoisier.—Se entiende por *coeficiente de dilatación* el aumento que experimenta la unidad de medida de un cuerpo cuando pasa de cero á un grado de temperatura. Los números representantes de los coeficientes de dilatación son siempre cantidades constantes para cada una de las diferentes materias y por lo tanto establecen verdaderos caracteres diferenciales entre los cuerpos.

Lavoisier y Laplace determinaron el coeficiente de dilatación de los sólidos, disponiendo su aparato del modo siguiente: una cubeta rectangular de hierro sostenía en su fondo por medio de rodillos de cristal la barra del cuerpo sobre que había de operarse fija invariablemente por uno de sus extremos y por el otro toca ligeramente á un estilete vertical, que en su parte superior sostiene un anteojo

horizontal móviles ambos al rededor del punto de unión: enfrente del anteojo se coloca una mira ó regla vertical de madera dividida en partes iguales. Se dispone el aparato de modo que, colocado encima de un horno, pueda elevarse la temperatura por el intermedio de un líquido situado en el interior de la cubeta y se observa que, según se calienta la barra se dilata llevando delante de sí al estilete, el cual por lo tanto toma una posición inclinada, haciendo perder al anteojo su primitiva horizontalidad. De este modo las dos visuales dirigidas por este mismo comprenderán dos divisiones en la mira y, mediante una sencilla consideración geométrica, el aumento longitudinal de la barra estará siempre representado por el cociente del producto de las longitudes de la varilla ó estilete y la que determine la distancia del anteojo á la mira por las divisiones recorridas en esta en ambas visuales del anteojo. Conocida la dilatación de la barra para hallar el coeficiente basta simplemente considerarla tantas veces mas pequeña cuantas nos indique el producto de la multiplicación de los grados de temperatura adquiridos por la barra y el número de veces que esté contenida en la unidad su longitud.

**204. Fórmulas y aplicaciones.**—Por el método racional se puede deducir también el coeficiente de dilatación: supongamos que  $\left\{ \begin{array}{l} k = \text{es el coeficiente.} \\ l = \text{la longitud de la barra á } 0 \text{ grados.} \\ l' = \text{la longitud de la barra á } t \text{ grados.} \\ t = \text{la temperatura.} \end{array} \right.$

Se comprende fácilmente que  $l'$  será igual á  $l$  mas la cantidad representante de la dilatación que será  $lkt$ , de modo que tendremos  $l' = l + lkt$  en donde  $-lkt = l - l' \dots lkt = l' - l$  y de aquí  $k = \frac{l' - l}{lt}$ , valor del coeficiente expresado en función de  $l$ ,  $l'$  y  $t$ . Esta fórmula permite resolver cuantos problemas se presenten en el supuesto de conocer tres de las cantidades que la forman.

Muchas y muy importantes son las aplicaciones que se deducen de este fenómeno: en efecto la construcción de los denominados péndulos compensadores formados por varillas de diferentes metales que contrarrestan sus dilataciones permiten una longitud constante á estos aparatos y por lo tanto la regularidad en la marcha de los relojes; del mismo modo la colocación de las rejillas en los hornos y de los rails en los caminos de hierro se pueden tambien considerar en esta clase de estudios.

## LECCIÓN 50.

### DILATACIÓN DE LOS LÍQUIDOS POR EL CALOR.

**205. Dilatación de los líquidos por el calor; experimento indicador.**—Comprobada la generalidad de la dilatación de los cuerpos por el calor se comprende desde luego que los cuerpos líquidos también aumentarán de volumen al aumentar de temperatura. Sin embargo conviene observar una particularidad: las vasijas disminuyen su capacidad al calentarse y el líquido elevará su nivel no tan solo por esta circunstancia, sino por el aumento que debe adquirir en volumen al aumentar la temperatura. De aquí resulta la dilatación *real* y la *aparente*; la primera será dependiente del aumento de volumen adquirido por el líquido simplemente, por la temperatura que recibe y la segunda mayor que la anterior porque á dicho aumento debemos agregar el que resulta de la disminución de capacidad de la vasija.

La dilatación de los líquidos se comprueba con un sencillo experimento: basta introducir en un depósito que contenga agua caliente un globo de cristal provisto de su correspondiente tubo capilar y lleno hasta cierta altura de un líquido cualquiera y se observará la elevación del nivel de este á lo largo del mismo tubo.

206. Método de Dulomp para la determinación del coeficiente de dilatación.—El coeficiente de dilatación real fué determinado por Dulomp, haciendo uso de un sistema de dos tubos comunicantes que contienen mercurio; si uno de los brazos se halla rodeado de hielo y el otro de un horno, las alturas del mercurio, serán diferentes y como permanece constante la cantidad de líquido, sus densidades serán también distintas.

Partiendo de estas ideas podemos hacer las siguientes consideraciones. Sean  $a$  y  $a'$  las alturas de las columnas mercuriales apreciadas con un catétermetro y  $d$  y  $d'$  las densidades correspondientes: aplicando la ley de equilibrio de líquidos de densidades diferentes en tubos comunicantes se tendrá  $a'd' = ad$  (1). Veamos ahora si podemos representar la cantidad  $d'$  de otro modo más apropiado á nuestro objeto: es cierto que llamando  $v$  y  $v'$  á los volúmenes de las dos columnas líquidas  $\frac{d'}{d} = \frac{v'}{v}$ , si  $v = t$ ,  $v' = t + Dt$ , en donde  $D =$  coeficiente de dilatación, de modo que

tendríamos  $\frac{d'}{d} = \frac{1}{1 + Dt}$  ó también  $d'(1 + Dt) = d$  .....  $d' = \frac{d}{1 + Dt}$  Sustituyamos el valor de

$d'$  en la ecuación (1) y entonces tomará la forma  $\frac{a'd}{1 + Dt} = ad$  (2) en la cual la cuestión está reducida á determinar el valor  $D$  en función de las otras cantidades y esto lo conseguiremos muy sencillamente; en efecto  $1 + Dt = \frac{a'd}{ad}$  ...  $Dt = \frac{a'd}{ad} - 1$ ...  $Dt = \frac{a'd - ad}{ad}$ ...  $Dt = \frac{d(a - a')}{ad}$ ...

$Dt = \frac{a - a'}{a}$  y finalmente  $D = \frac{a - a'}{at}$  Procediendo de este modo se ha visto que el valor del coeficiente de dilatación real del mercurio es  $\frac{1}{5550}$ .

El coeficiente de dilatación aparente fué determinado por el termómetro del peso formado por un depósito cilíndrico de cristal provisto de un tubo encorvado que puede llenarse de mercurio.

Representamos por la letra  $P$  el peso del mercurio á la temperatura de 0 grados encerrado en el termómetro; si se calienta saldrá una cantidad que representa la dilatación que corresponde á la de mercurio para la temperatura  $t$ ; el peso del que queda en el aparato  $P - p$ ; pero si este peso se dilata  $p$ ; una sola unidad se dilatará  $\frac{p}{P - p}$  á la  $t$  y para un solo grado  $\frac{p}{(P - p)t}$  que da como valor para el mercurio  $\frac{1}{6480}$  que representa el coeficiente de la dilatación aparente.

207. Máximum densidad del agua: experimento de Hallstron.—Este líquido presenta el fenómeno particular de tener el límite de contracción á la temperatura de 4° centígrados, una vez que á partir de temperaturas inferiores verifica un verdadero aumento de volumen. El físico Hallstron comprobó esta verdad observando las diferentes pérdidas de peso que sufría una esfera de cristal lastrada con arena al introducirla en el agua destilada que poseía temperaturas diferentes, viendo que en el agua á la de 4° era donde menos pesaba, de lo cual se deducía que el máximum de densidad que presenta se refería á esta temperatura.

Desprez, también haciendo uso de su termómetro de agua, vino á comprobar este mismo resultado.

208. Termómetro de peso.—El aparato últimamente descrito toma el nombre de termómetro de peso con tanta más razón

cuanto que por la cantidad de mercurio vertida se puede venir en conocimiento de la temperatura, en efecto, para conseguir esto, bastará hallar el valor de  $t$  en la ecuación  $\frac{P}{(P-p)t} = \frac{1}{6480}$  en efecto  $(P-p)t = 6480$  p. de donde  $t = \frac{6480 \text{ p.}}{P-p}$

209. Aplicación á la corrección á 0° de la altura barométrica y los pesos específicos.—La altura observada en el barómetro necesita corregirse del error de temperatura por el aumento de volumen que este obliga á tomar á la columna mercurial, para lo cual basta simplemente hallar el valor de  $a$  en la fórmula (2)

En efecto  $a = \frac{a'd}{(1+Dt)d} \dots a = \frac{a'}{1+Dt}$  y sustituyendo el valor mencionado  $D = \frac{1}{5550}$  tomará la forma siguiente:

$$a = \frac{a'}{1 + \frac{t}{5550}} : a = \frac{a'}{\frac{5550+t}{5550}} \quad a = \frac{5550 \times a'}{5550 + t}$$

en la cual sustituyendo en vez de  $t$  y  $a$  los datos numéricos correspondientes se halla el verdadero valor de  $a =$  altura barométrica á 0 grados. Por último, en la determinación de los pesos específicos de los sólidos y los líquidos, el volumen anotado será siempre diferente del que puedan tener á la temperatura tipo, y este error también se corrige con la aplicación de fórmulas análogas fundadas en estos mismos principios.

## LECCIÓN 51.

### DILATACIÓN DE LOS GASES.

210. Dilatación de los gases, experimento comprobante.—El aumento de volumen que se observa en los cuerpos gaseosos, no solo se efectúa en virtud de su fuerza expansiva, sino también por el aumento de temperatura que pueda adquirir. Puede comprobarse esta dilatación sin más que hacer uso de un globo de cristal provisto de un tubo muy delgado, en el cual existe un pequeño índice de mercurio que ascenderá á lo largo del mismo tubo en el momento de calentar suavemente el globo en cuyo interior exista un gas cualquiera

211. Métodos de Gay Lussac y Regnault para determinar el coeficiente de dilatación de los gases.—Gay Lussac trató de resolver esta cuestión haciendo uso de un pequeño globo dispuesto en la misma forma que la anteriormente dicha, pero dividiendo en partes iguales el tubo que lleva el globo: colocó este en una caja de metal llena de agua, cuya temperatura conocía de antemano por medio de termómetros convenientemente dispuestos, anotando el volumen que tenía el aire encerrado en el interior del mismo globo, por la posición que ocupaba el índice de mercurio en el tubo. Elevaba después la temperatura del agua encerrada en la caja, colocando el aparato en un hornillo encendido



y volvía á medir el nuevo volumen, cuya diferencia determinaba la dilatación del gas y una vez conocida esta, aplicando análogos razonamientos á los manifestados al tratar esta misma cuestión en los cuerpos sólidos, faltaba simplemente representar el valor de este coeficiente con la fórmula  $\alpha = \frac{V-v}{vt}$  en donde  $\alpha$  es el coeficiente,  $V$  el volumen del gas á  $0^\circ$ ,  $v$  el de este mismo ó  $t^\circ$ , y  $t$  la temperatura.

Regnault, haciendo uso de procedimientos más perfectos, vino á deducir los coeficientes de dilatación de diferentes gases y que para Gay-Lussac eran iguales al del aire atmosférico. Estos procedimientos son de tres clases, según que el volumen y la presión sean variables, el volumen constante, ó la presión constante y el volumen variable.

212. **Densidad de los gases: Procedimiento de Regnault.**— La densidad ó peso específico de los cuerpos gaseosos tiene el mismo carácter que en los sólidos; sin embargo, el cuerpo que se escoge como unidad es el aire atmosférico. Las influencias de temperatura y presión en los cuerpos gaseosos, originan notables variaciones de volumen, por cuya razón es preciso referir los pesos de los volúmenes, á  $0$  grados de temperatura y á la presión de 760 milímetros. Teniendo en cuenta esto mismo podrá definirse la densidad de los gases diciendo, que es la relación entre el peso del gas á la temperatura de  $0^\circ$  y presión de 760 milímetros con el peso del aire á igual temperatura, presión y volumen.

El procedimiento empleado por Regnault en la terminación de la densidad de los gases es á no dudar, el más perfecto de todos. Se hace uso de dos globos de cristal del mismo volumen y peso; uno de ellos, provisto de una llave que establezca la comunicación entre la máquina neumática y una serie de tubos en U, llenos de piedra pomez con ácido sulfúrico que absorben la humedad para que de este modo, rodeando al citado globo de hielo, pueda contener un volumen de gas perfectamente seco y á la temperatura de  $0^\circ$ , el cual, puesto en equilibrio en una balanza que sostenga el otro globo en el platillo opuesto, pesará menos que este.

Representemos por  $p$  el peso á  $0^\circ$ , y por  $H-h$  su presión, es decir, la diferencia entre la exterior y la correspondiente al enrarecimiento á que se sometió: en este caso el peso del gas seco que llenaría completamente el globo á  $0^\circ$  y 760 milímetros de presión, sería  $\frac{760 p}{H-h}$

Hecho este mismo experimento con el aire resultaría  $\frac{760 p'}{H'-h'}$  en su consecuencia la densidad del gas estará representada por la división de ambas expresiones  $\frac{760 p}{H-h} : \frac{760 p'}{H'-h'} =$

$$\frac{760 p (H' - h')}{760 p' (H - h)} = \frac{p (H' - h')}{p' (H - h)}$$

## CAPITULO III.

*Cambios de estado de los cuerpos por el calor.*

## LECCIÓN 52.

## CONVERSIÓN DE SÓLIDOS Á LÍQUIDOS Y VICE-VERSA.

213. Cambios de estado.—Fusion: sus leyes: calor latente de fusión: disolución.—El calor no solamente manifiesta sus efectos, aumentando el volumen de los cuerpos, sinó que también les obliga á cambiar de estado; así los sólidos se convierten en líquidos y estos en vapores. Los gases y vapores se trasforman en líquidos y estos á su vez en sólidos.

Estas mutaciones de estado reconocen siempre el desequilibrio de las fuerzas moleculares, en presencia de los diferentes valores que puedan tomar las amplitudes de las vibraciones etéreas.

Se dá el nombre de *fusión* al cambio de estado que se observa en los cuerpos sólidos al afectar el estado de liquidez.

Aumentando la amplitud vibratoria, podrá llegar esta á producir el límite de dilatación y, en este caso, los elementos materiales colocados fuera de la esfera de la atracción molecular llegan á equilibrarse con la repulsión. La experiencia ha comprobado las dos leyes siguientes, que presiden en este fenómeno: 1.<sup>a</sup> *Todos los cuerpos sólidos necesitan llegar á un cierto grado de calor para fundirse, cuyo número determina el llamado punto de fusión.* 2.<sup>a</sup> *El cuerpo, en el momento de fundirse, queda estacionaria su temperatura, sea cualquiera la intensidad del foco calorífico.*

Existen algunos cuerpos que, por los medios conocidos, no se han podido fundir, pues á temperaturas elevadas se descomponen, tal es su disposición molecular.

La temperatura que no manifiestan los termómetros en los cuerpos, en el momento de fundirse, y que á no dudar, se trasforma en *trabajo* necesario al cambio de estado, toma el nombre de *calor latente*, llamado también *disimulado* por no ser apreciado directamente.

Los cuerpos sólidos pueden también afectar el estado de liquidez por el intermedio de los líquidos. Muchos cuerpos, como las sales y el azúcar, incorporan sus moléculas á las del agua y se disuelven.

En la disolución puede desaparecer una cantidad de calor que tiene el carácter de latente, necesaria, por lo tanto, para efectuar el cambio de estado; en otras ocasiones hay un aumento de temperatura, pero esto depende de la reacción química que haya podido provocarse.

214. Solidificación y sus leyes: cristalización.—El tránsito de un cuerpo del estado líquido al de sólido es conocido con el nombre *solidificación*. Reconoce como causa este fenómeno una disminución en las amplitudes etéreas, que provoca, por lo tanto, un aumento en las atracciones moleculares para afectar un nuevo

estado que ha de ser precisamente el de solidez: ejemplo de esto nos presenta un sólido que, por el aumento de temperatura se funde, y después que esta desaparece, viene la solidificación.

La experiencia ha comprobado en este fenómeno las dos leyes siguientes: 1.<sup>a</sup> *La solidificación se efectúa en cada cuerpo á una temperatura fija, que es precisamente la de su fusión.* 2.<sup>a</sup> *Desde el momento en que principia la solidificación hasta que termina por completo, la temperatura del líquido permanece estacionaria.*

Un caso especial de la solidificación es la *crystalización*, fenómeno por el cual afectan formas regulares ó poliédricas los líquidos al trasformarse en sólidos. La *crystalización* se efectúa por el intermedio del calor, fundiendo los cuerpos, ó por los líquidos, en el acto de la disolución.

215. **Formación del hielo: causas que retrasan la congelación de los líquidos.**—El agua, al convertirse en sólido por un descenso de temperatura, dá lugar al hielo. Como sabemos que este líquido aumenta de volumen al llegar á 4 grados, resulta que en la temperatura de 0°, necesaria para la solidificación, se presenta convertida en hielo con menor densidad y puede, por lo tanto, flotar en la superficie de este mismo líquido. Este aumento de volumen vá acompañado de una fuerza expansiva considerable. Varias son las causas que retrasan la congelación, entre las cuales figuran: 1.<sup>a</sup> Las sales que contengan en disolución los líquidos; por esto el agua del mar no se congela hasta los 2,5 bajo 0. 2.<sup>a</sup> La privación del aire ó de otro gas en disolución. 3.<sup>a</sup> Una completa inmovilidad ó una gran agitación, y 4.<sup>a</sup> Un exceso de presión.

La *regelación* es una de las particularidades que presenta el hielo, al soldarse en trozos en el momento que estos se hallan en contacto.

De este modo puede moldearse el hielo, de cuyo hecho ha deducido el célebre físico Tyndall su teoría sobre los ventisqueros de los Alpes.

216. **Mezclas frigoríficas.**—Los descensos de temperatura observados en ciertos cuerpos sólidos al pasar á líquidos, han dado lugar á las mezclas frigoríficas, con las cuales se producen fríos más ó menos intensos: así la nieve mezclada con la sal común puede producir un descenso de 10 á 19 grados bajo 0; el sulfato de sosa y el ácido clorhídrico ocasiona también, al mezclarles en la proporción respectiva de 8 y 5, una temperatura análoga.

## LECCIÓN 53.

### CONVERSIÓN DE LÍQUIDOS EN VAPORES.

217. **Vaporización: vapores y su fuerza elástica.**—Otro de los cambios de estado que produce el calor al actuar sobre los cuerpos, es el tránsito de líquidos á vapores; sin embargo, este fenómeno, que toma el nombre general de *vaporización*, se aplica también á toda producción lenta de vapor en la superficie de un líquido, tomando entonces el nombre de *evaporización*.

Este cambio de estado reconoce, como todos los demás, la misma causa: es decir, un aumento de amplitud vibratoria del éter en el momento de producir en

los átomos materiales una separación tal que la fuerza atractiva disminuye de intensidad y, una vez roto el equilibrio, domina la repulsión con todas sus consecuencias.

Los vapores son aquellos cuerpos que ofrecen propiedades semejantes á los gases y representan la trasformación que han sufrido los líquidos por la acción del calor.

Los líquidos, al ser examinados bajo este punto de vista, toman los nombres de volátiles y fijos, según que posean ó no la propiedad de trasformarse en vapores.

Algunos sólidos como el arsénico, el alcanfor y las materias odoríferas, sin pasar por el estado de liquidez, producen vapores.

218. Vapores en el vacío: leyes.—Por mucho tiempo se creyó que los vapores necesitaban para su producción algún intermedio ponderable; pero después se observó que se podían formar en el vacío.

Los vapores en el vacío se hallan sujetos á las dos leyes siguientes: 1.<sup>a</sup> *En el vacío se evaporan rápidamente todos los líquidos volátiles.* 2.<sup>a</sup> *Los vapores de líquidos diferentes no poseen todos la misma fuerza elástica á igualdad de temperatura.*

Ambas leyes pueden comprobarse satisfactoriamente, haciendo uso de cuatro tubos barométricos situados verticalmente sobre una misma cubeta; uno de ellos que sirve de tipo y en cada uno de los otros tres se coloca, al tiempo de llenarles de mercurio, pequeñas cantidades de agua, alcohol y éter, cuyos líquidos, en el momento de ascender á cada una de las cámaras barométricas, se trasforman inmediatamente en vapores, obligando á las columnas mercuriales á tomar alturas diferentes, siendo la menor de todas la que contiene el éter, que viene á ocupar casi la mitad de la altura del tipo, siguiendo despues la del alcohol y finalmente la del agua.

Al llegar á la cámara barométrica cantidades cada vez mayores de líquidos volátiles, se presenta el caso de quedar reducida á 0 la formación de vapores, y entonces el espacio donde se hallan acumulados está saturado, conteniendo líquido en exceso, cuya temperatura, siendo constante, determina la mayor presión, lo cual puede darse á conocer por medio del barómetro de cubeta profunda. En efecto, si después de lleno el tubo barométrico de mercurio, se introduce una cantidad de éter que permita mantener en el vacío una cantidad líquida en exceso, se observará que la altura mercurial es la misma, no sólo en el caso de elevar el tubo á la mayor altura posible, sino en el caso también de hacerle descender hasta casi el fondo de la cubeta.

Los vapores no saturados, es decir, aquellos que no están en contacto con el líquido productor, se hallan en un todo sujetos á la ley de Mariotte.

219. Caracteres diferenciales entre los vapores y los gases.—Todos los hechos expuestos suministran caracteres diferenciales entre los vapores y los gases; así es que aquellos en el vacío poseen la expansibilidad indeterminada de los gases, y su fuerza elástica se limita por el cambio de estado cuando se licúan. Los vapores, hasta estos últimos años, se consideraban diferentes de los gases, porque estos no podían trasformarse en líquidos; pero, como veremos dentro de poco, haciendo uso de ciertos procedimientos, se consigue su licuación, lo cual hace cambiar completamente el carácter genérico que á los mismos se les asignaba.

220. Calor latente de los vapores.—En el cambio de estado de líquidos á vapores se observa una cosa parecida al fenómeno de la fusión, es decir, que todo el exceso de calor que posee el

vapor formado, no se manifiesta por los medios ordinarios, lo cual indica que ha tenido necesidad de trasformarse en trabajo para producir el cambio de estado, de modo que dicha cantidad de calor toma el calificativo de *latente de evaporización*.

221. **Evaporización: causas que influyen.**—Toda transformación que experimente un líquido lentamente en vapor, en la superficie dá lugar al fenómeno tan común en la naturaleza, conocido con el nombre de *evaporización*.

La evaporización puede acelerarse, según la influencia que ejerzan ciertas y determinadas causas, entre las cuales se pueden citar las siguientes: 1.<sup>a</sup> La *temperatura*, que cuanto mayor sea, tanto más acercará al líquido á la completa evaporización, y disminuyendo el tiempo, se aumentarán los efectos de este cambio de estado. 2.<sup>a</sup> La *cantidad* de vapor del mismo líquido contenido en la atmósfera ambiente, pues cuanto mayor sea esta, tantos más obstáculos presentará para que la evaporización se produzca con menos rapidez. 3.<sup>a</sup> La *extensión superficial* del líquido; así vemos que las masas líquidas se evaporan con más facilidad en vasijas de poco fondo y gran sección, que cuando se hallan encerradas en vasos de mucho fondo y reducida superficie, y 4.<sup>a</sup> La *renovación de la atmósfera* ambiente facilita también la evaporización, siempre que se hallase, antes de producirse el cambio de estado, completamente saturada de vapores del mismo líquido, imposibilitando de este modo la fácil evaporización.

222. **Descenso de temperatura observado en la evaporización.**—El descenso de temperatura producido como consecuencia de calor latente de evaporización se manifiesta por muy diferentes medios, entre los cuales, se puede citar el debido á Leslié. Este hizo uso de un vaso de cristal de poca altura, que contiene ácido sulfúrico concentrado y sobre cuyos bordes se puede colocar una capsulita metálica que contenga una pequeña cantidad de agua; todo el aparato se introduce en el recipiente neumático y no bien principia á funcionar la máquina, se observa que el agua colocada en la cápsula se ha convertido en hielo, debido este fenómeno á la rápida evaporización del agua, cuyos vapores han sido absorbidos, á medida que se produjeron, por el ácido sulfúrico, determinando dicho cambio de estado el descenso necesario para la congelación del agua.

Más fácilmente puede darse á conocer este descenso de temperatura que acompaña á la evaporización, insuflando una corriente de aire dentro de un vaso que contenga éter, líquido que se volatiliza rápidamente, y colocando dentro del mismo una esfera de cristal con agua, cuyo líquido, por el enfriamiento que le comunica al éter al evaporarse, se transforma en hielo.

223. **Estado esferoidal.**—Al lanzar una gota líquida sobre una plancha metálica incandescente, toma aquélla la forma de una esfera dotada de un rapidísimo movimiento de rotación que dá lugar al denominado *estado esferoidal*.

En este fenómeno, que se explica teóricamente por una identidad entre la evaporización y la ebullición, se presentan ciertos hechos característicos, entre los cuales figuran los que se refieren á la temperatura del líquido, inferior al de la ebullición, así como también la distancia de separación entre la plancha incandescente y la gota líquida, cuyos hechos y otros tanto más importantes se dan á conocer con la lámpara colipila de Boutigny.

## LECCIÓN 54.

PROCEDIMIENTOS PARA DETERMINAR LA TENSIÓN  
DEL VAPOR ACUOSO.

224. Procedimiento de Gay-Lussac para determinar la tensión del vapor de agua á la temperatura de  $0^{\circ}$ .—Gay-Lussac determinó la tensión del vapor de agua á temperaturas de  $0^{\circ}$  é inferiores á  $0^{\circ}$ , haciendo uso de un tubo barométrico, cuya parte superior se hallaba encorvada para de esta manera introducirla en una mezcla frigorífica: construido el barómetro, según los procedimientos generales, dejó penetrar por medio de una pipeta curva una gota de agua, la cual se elevó á la cámara barométrica y una vez allí se transformó en vapor tomando la temperatura comunicada por la mezcla frigorífica: la altura barométrica será entonces menor que la ordinaria, cuya diferencia determina el valor de la tensión y se hallará, haciendo uso de un segundo barómetro tipo, cuya cubeta sea la misma que la del utilizado en el experimento.

225. Procedimiento de Dalton para determinar la tensión del vapor de agua entre 0 y 100 grados.—El aparato empleado en la realización de esta experiencia con las modificaciones introducidas por Regnault es el siguiente: dos tubos barométricos montados sobre una misma cubeta, uno de ellos que sirva de tipo y el otro para contener en su vacío el vapor de agua se hallan rodeados por su parte superior de un gran depósito cilíndrico que tiene una abertura cubierta con cristal que permite ver el nivel del mercurio en ambos barómetros: el depósito cilíndrico se llena de agua que puede adquirir diversas temperaturas por medio de un foco de calor situado cerca del fondo, apreciando un termómetro introducido en el líquido la temperatura que este comunica al vapor de agua encerrado en el vacío torriceliano y un catetómetro la diferencia de los niveles de las columnas mercuriales.

226. Procedimiento de Regnault para determinar la tensión del vapor acuoso á temperaturas superiores é inferiores á  $100^{\circ}$ .—Este físico dispuso su aparato de modo que con él se pudiesen determinar los valores de las tensiones del vapor á temperaturas superiores é inferiores á 100 grados. Está compuesto el aparato por una pequeña marmita que contiene agua, cuya temperatura puede apreciarse por medio de termómetros: el vapor formado sube por un tubo inclinado que se mantiene á una temperatura baja por medio de una corriente de agua que pasa por el refrigerante que rodea al mismo.—El vapor se acumula en un

gran globo de cristal colocado en el interior de un baño de agua y la disposición especial de este globo permite, no solo establecer comunicación con un manómetro, sino también el enrarecimiento ó compresión del aire de su interior, según que se trate de apreciar tensiones correspondientes á temperaturas inferiores ó superiores de 0, las cuales se determinan por los valores de la columna mercurial encerrada en el manómetro.

227. **Tensión de los vapores de los diversos líquidos.**—Los procedimientos que empleó Regnault para medir la tensión del vapor producido por el agua se aplicaron satisfactoriamente para determinar la tensión de otros líquidos, habiendo observado que esta fuerza elástica era tanto mayor, cuanto mayor grado de volatilización ofrecieran los líquidos.

228. **Mezclas de vapores y gases.**—Las mezclas de estos cuerpos obedecen á las reglas siguientes: 1.<sup>a</sup> *La tensión y por consiguiente la cantidad de vapor que satura un espacio dado son las mismas cuando dicho espacio contiene un gas, ó cuando se encuentra vacío, si la temperatura es la misma en ambos casos.* 2.<sup>a</sup> *La fuerza elástica de la mezcla es igual á la suma de las del gas y la del vapor mezclado.*

Estas leyes se comprueban por el sencillo aparato volumétrico de Gay-Lussac, siempre que se trate de operar á la temperatura ordinaria, pero Regnault, haciendo uso de procedimientos más perfectos operó á diferentes temperaturas teniendo ocasión de observar algunas pequeñas diferencias con respecto á las ya citadas leyes.

229. **Tensión en dos vasijas que se comunican y á temperaturas diferentes.**—Cuando dos vasijas que contienen un mismo líquido en exceso y á diferentes temperaturas comunican entre sí, la tensión del vapor es la misma en ambas é igual á la que corresponden á la de la temperatura menor como puede determinarse por el procedimiento experimental.

## LECCIÓN 55.

### FENÓMENO DE LA EBULLICIÓN.

230. **Ebullición: modo de verificarse.**—Otro de los nombres que toma el fenómeno de la evaporización es el de *ebullición* que representa el cambio que los cuerpos líquidos toman en vapor en toda su masa y de una manera repentina y tumultuosa.

Cuando un líquido se halla encerrado en una vasija expuesto á la acción de un foco de calor, este comunica á las capas líquidas situadas en el fondo una temperatura elevada, obligándolas á disminuir de densidad y, haciéndose específicamente menos pesadas, se elevan á la parte superior del mismo líquido, dejando el espa-

cio que ellas ocupan á las capas superiores que son las más frías: continuando en este movimiento hasta principiar á producirse vapor que dá lugar á la formación de una série de burbujas que cada vez aumentan de tamaño, para romperse todas en la superficie nivel del líquido.

Este fenómeno está sujeto á las leyes análogas á las de la fusión, así es que cada líquido en ciertas y determinadas circunstancias posee una temperatura invariable para entrar en ebullición; esta misma temperatura la conserva el cuerpo, sea cualquiera la intensidad del foco calorífico.

231. **Influencias que intervienen en la ebullición.**—El llamado punto de ebullición puede alterarse, según las circunstancias en que se halle colocado el líquido, lo cual determina diferentes influencias entre las cuales figuran las siguientes que pueden referirse al agua. Es sabido que el agua destilada y á la presión de 760 milímetros entra en ebullición precisamente á los 100 grados en una vasija de metal, pero asciende dicha temperatura á 101 grados, cuando el recipiente que la contiene es de cristal. Del mismo modo la experiencia ha comprobado que la clase de sustancias que pueda tener en disolución eleva el punto de ebullición, así vemos que el agua saturada de sal común necesita la temperatura de 109 grados para hervir ó la de 111 cuando contiene nitrato potásico y cloruro cálcico respectivamente. La presión influye también de una manera bastante notable en este fenómeno, pues ningún líquido entra en ebullición sin que la tensión del vapor sea igual á la presión que sufre aquel, de tal modo que el número, 100 *grados*, que el agua destilada necesita para entrar en ebullición al nivel del mar, ó sea á la presión de 760 milímetros, varía, según que nos elevemos ó descendamos de dicha altitud considerada como punto de partida.

232. **Hipsómetro de Regnault.**—Este instrumento está formado por dos partes, una que hace el oficio de caldera en donde puede colocarse agua destilada y debajo una lamparita de alcohol: la otra le forma un termómetro tipo fijo en un tubo que contiene el vapor formado por el agua cuando hierve. El punto de ebullición, según lo últimamente manifestado, varía, según las altitudes por la diferencia de presión atmosférica. Podremos por lo tanto con el hipsómetro apreciar alturas utilizando además la fórmula  $h = 300 (T - t)$ .

233. **Producción del vapor en vasijas cerradas.**—Es condición precisa en la ebullición la existencia de espacios indefinidos en donde pueda difundirse el vapor formado, pues de otro modo la tensión del vapor impide la producción de más cantidad, sin embargo puede llegar á un límite en que la masa líquida se transforme toda en vapor como observó Cagniar de Latour al operar con el éter sulfúrico que á la temperatura de 200° ocupó un espacio



doble en el estado de vapor, desarrollando una tensión de 38 atmósferas. Se observan también los efectos del vapor en vasijas cerradas en el hervidor de Flanklin y en la marmita de Papin.

Estos dos aparatos tienen por objeto manifestar la influencia de la presión en la ebullición del agua. El primero está formado por un tubo de cristal que antes de cerrarle se procuró llenar casi de agua hervida, cuyos vapores arrastraron todo el aire del interior, así es que la presión interior era muy pequeña: de este modo el simple calor de la mano es suficiente para hacer hervir el agua.

La marmita la forma un recipiente de metal sólidamente construido y cubierto con una tapadera de la misma materia sujeta con fuertes armaduras de hierro: si en el interior de este aparato colocamos agua y la sometemos á una temperatura superior á 100 grados el vapor acumulado ejercerá una presión tan considerable contra el mismo líquido que impedirá la ebullición, pudiendo aprovecharse esta circunstancia para disolver ciertas materias.

## LECCIÓN 56.

### LIQUEFACCIÓN DE LOS GASES.

234. **Liquefacción: destilación: alambiques.**—Los cuerpos gaseosos pueden afectar el estado de liquidez, lo mismo que los vapores procedentes de líquidos, tan pronto como cesa de actuar la causa que había provocado el cambio de estado, dando lugar unos y otros al fenómeno de la *liquefacción ó licuación*.

Este fenómeno se explica por la teoría moderna, admitiendo una disminución en amplitud vibratoria del éter.

Pueden separarse en un cuerpo líquido los principios volátiles de los fijos, trasformándose en vapores y estos recíprocamente en líquidos, cuya operación se conoce en la ciencia con el nombre de *destilación*.

Los aparatos empleados en este trabajo reciben el nombre de *alambiques*, los cuales toman diferentes formas y disposiciones, según los casos á que se aplican, por mas que en todos ellos existan los mismos elementos. El alambique ordinario está formado por tres piezas diferentes: la primera recibe el nombre de *cucúrbita* y es un recipiente de cobre dispuesto á manera de caldera en donde se coloca el líquido que se trata de destilar, cuya temperatura se eleva convenientemente por medio de un hornillo: segunda, *el capitel* ó recipiente esférico que cubre la cucúrbita y en cuyo interior se acumula el vapor formado en el líquido: tercera, *el refrigerante*, que se halla constituido por un tubo denominado *serpentin*, arrollado en hélice que establece su comunicación con el capitel por la parte superior y con el exterior por la inferior: el vapor recorre todo este tubo, y antes de salir al exterior se convierte en líquido por el descenso de la temperatura que adquiere al pasar el serpentin por el interior de un baño que contiene una corriente de agua fría. El pequeño alambique de Salleron utilizable para determinar la riqueza alcohólica de los vinos está compuesto por estas mismas partes.

235. **Liquefacción de los gases.**—El físico Faraday, lo mismo que Davy, consiguieron la licuación del cloro y ácido sulfuroso,

utilizando los procedimientos generales más comunmente empleados en la producción de este fenómeno, es decir, los descensos de temperatura y los aumentos de presión, haciendo uso de tubos de cristal encorvados y completamente cerrados, colocando en una de sus extremidades las materias productoras del gas sometidas á la acción del calor y la otra á donde se acumulaba el gas formando una mezcla frigorífica.

236. **Aparato de Thilorier para la licuación del ácido carbónico.**—El ácido carbónico también ha sido licuado, haciendo uso de dos grandes recipientes de hierro fundido, sólidamente dispuesto por medio de abrazaderas de hierro dulce: ambos receptáculos se comunican entre sí por medio de un tubo delgado provisto de las correspondientes llaves, y además están montados en ejes horizontales, que con los correspondientes cojinetes, pueden servir para que adquieran un movimiento oscilatorio: uno de los recipientes sirve para producir el ácido carbónico por medio de la descomposición de los carbonatos cálcicos en presencia del ácido sulfúrico: el ácido carbónico formado se acumula en el otro recipiente, y el exceso de presión que, contra sus propias moléculas ejerce, dá lugar á la licuación.

237. **Aparato de Natterer para la licuación del proto-óxido de nitrógeno.**—El proto-óxido de nitrógeno también se ha conseguido su licuación haciendo uso del aparato Natterer que se halla constituido por un recipiente de metal cilíndrico y de paredes resistentes colocado en la parte superior de una bomba de compresión fija en un soporte de hierro fundido que permite establecer el movimiento del pistón por medio de un volante con su correspondiente manubrio: el gas que se halla depositado en bolsas impermeables pasa al recipiente rodeado de una mezcla frigorífica y después de ser comprimido por la acción de la bomba, concluye por trasformarse en líquido.

238. **Licuación de los gases permanentes por R. Pietet y L. Cailletet.**—A fines del año de 1877 los físicos Pitec en Ginebra y Cailletet en Chatillón consiguieron la licuación de los gases permanentes oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, imprimiendo con este descubrimiento un gran impulso á las ciencias fisico-químicas.

El aparato debido á este último físico no se aparta en nada de los procedimientos generales para la licuación de los gases, así es que se aprovecha la compresión que pueda realizarse por el intermedio de una poderosa bomba que transmite su acción á un pequeño receptáculo de cristal á donde pueden ir á pasar los gases, puesto también en comunicación con un manómetro indicador de la presión ejercida. El oxígeno se ha licuado bajo la presión de 740 atmósferas á una temperatura de 100 grados bajo cero y el hidrógeno á una presión de 650 atmósferas á una temperatura de 150 grados bajo cero.

## CAPITULO IV.

*Calores específicos de los cuerpos.*

## LECCIÓN 57.

## MÉTODOS DETERMINATIVOS DE LOS CALORES ESPECÍFICOS.

239. **Calores específicos: caloría; experimento de Tyndall.**— Los cuerpos cuando cambian de estado ó varían de temperatura ceden ó absorben calor, cuya cantidad considerada de un modo relativo se determina por medio de las reglas que suministra la denominada *calorimetría*. La unidad empleada en la determinación de estas cantidades de calor, recibe el nombre de *caloría*, valorable aquella cantidad de calor que se necesita para elevar un kilogramo de agua destilada de la temperatura de cero á la de un grado.

Los calóricos ó *calores específicos* nos representan aquellas relaciones existentes entre las cantidades de calor que cada cuerpo necesita pasando de la temperatura de cero á la de un grado y la que exige una cantidad de agua del mismo peso.

El calor sensible absorbido por los cuerpos puede medirse fácilmente: si representamos por  $M$  el peso en kilogramos de un cuerpo,  $c$  su calorico específico y  $T$  la temperatura, dicha cantidad estará representada por el producto que resulta de multiplicar entre sí estas cantidades en el supuesto de hallarse el cuerpo á la temperatura cero, pero si poseyese un grado cierto de calor absorbido ó perdido al calentarse ó enfriarse pasando de  $T$  á  $T'$  ó de  $T'$  á  $T$  sería representado respectivamente por las expresiones  $M(T'-T)c$  y  $M(T-T')c$ .

Estas cantidades de calor son siempre diferentes para cada cuerpo como puede observarse en el siguiente experimento realizado por Tyndall: varias esferas de diferentes metales sujetas á una misma temperatura en un baño formado por el aceite hirviendo, al depositarlas sobre una torta de cera, no todas conservan la temperatura necesaria para oradar la referida torta, fundiendo la parte de cera que se halla en contacto.

240. **Método de Blak para la medida del calor específico de los sólidos: aparato de Regnault.**— Los calóricos específicos se pueden determinar por el método de las mezclas, haciendo uso de un depósito cilíndrico de plata llamado *calorímetro*, en cuyo interior se coloca el cuerpo rodeado de agua á una temperatura dada, la cual variará en el momento que se ponga en contacto con el cuerpo poseedor de otra temperatura, procediendo del modo siguiente:

Sean:  
 M = el peso del cuerpo;    m = el peso del agua;    m' = el peso del calorímetro;  
 T = su temperatura;    t = su temperatura;    t' = su temperatura igual á la del agua;  
 c = el calor específico;    i = su calor específico;    c' = calórico específico del calorímetro;

La cantidad perdida por el cuerpo al introducirle en el calorímetro será  $M(T - \varphi)c$  representando  $\varphi$  la temperatura más baja que adquirió y la ganada por el agua y calorímetro serán respectivamente  $m(\varphi - t)$  y  $m'(\varphi - t)c'$  de modo que en el acto de la mezcla, ó lo que es igual, al introducir el cuerpo dentro del calorímetro se verificará la igualdad

$$M(T - \varphi)c = m(\varphi - t) + m'(\varphi - t)c' \text{ de donde } c = \frac{m(\varphi - t) + m'(\varphi - t)c'}{M(T - \varphi)}$$

expresado el valor del calórico específico en función de los pesos del agua, del calorímetro y del mismo cuerpo, así como también en función de las temperaturas de estos mismos y del calórico específico de la plata ó metal que intervienga en la construcción del calorímetro. Si este último dato no se conociese, la cuestión estará reducida á repetir la misma consideración empleando como cuerpo el mismo metal de que estaba formado el calorímetro y entonces obtendríamos este valor del mismo modo, es decir,

$$M(T - \varphi)c' = m(\varphi - t) + m'(\varphi - t)c' \text{ de donde } M(T - \varphi)c' - m'(\varphi - t)c' = m(\varphi - t) \text{ ó lo que es lo mismo}$$

$$c' \left( M(T - \varphi) - m'(\varphi - t) \right) = m(\varphi - t) \text{ de donde } c' = \frac{m(\varphi - t)}{M(T - \varphi) - m'(\varphi - t)}$$

satisfactoriamente la cuestión.

El físico Regnault consiguió realizar esta experiencia, haciendo desaparecer algunas causas de error, á cuyo efecto dispuso su aparato de modo que el cuerpo antes de ser introducido en el calorímetro recibía una temperatura de 100 grados al hallarse en el interior de una estufa que contiene vapor de agua formado á expensas de un alambique.

#### 241. Método de la fusión del hielo: calorímetro de Lavoisier.

—Si sabemos que un kilógramo de hielo necesita 79 grados de calor para fundirse P. kilógramos necesitarán 79 P. por otra parte esta total cantidad será igual á la que pierde un cuerpo caliente puesto en contacto con el mismo hielo, de modo que en último resultado por la cantidad de hielo que funde un cuerpo podemos determinar su calórico específico: teniendo presente esto mismo  $mtc = 79 P.$  de donde  $c = \frac{79 \cdot 6}{4410} = 11,85$

En este principio se funda el *calorímetro* de Lavoisier, formado por tres vasos concéntricos puestos en comunicación por medio de orificios, rodeando los compartimientos, que entre sí forman, con hielo de modo que, introducido un cuerpo cuyo peso y temperatura conocemos de antemano, obligará á fundir una parte del hielo que le rodea, el cual se podrá recoger merced á un orificio convenientemente dispuesto en el calorímetro y que de salida al agua formada procediendo después á su peso y suministrándonos de este modo los datos necesarios en el conocimiento del calórico específico del cuerpo, hecha la sustitución de valores en la última fórmula.

242. Ley de Dulong aplicable al calor específico de los átomos: opiniones de Hirn y Weber.—El físico Dulong en unión de Petit observaron que, multiplicando el calor específico de un cuerpo simple por lo que en Química se llama *peso atómico*, el producto que resulta es igual á la cantidad constante 6,3, es decir, que para los cuerpos simples *los calores específicos están en razón inversa de sus pesos atómicos*.

Regnault, trabajando en esta misma cuestión, generalizó dicha ley para los cuerpos compuestos y, entre estos, las aleaciones.

Examinando H. F. Weber que el calor específico del carbono aumenta á medida que crece la temperatura y otro tanto sucede con el silicio y el boro, cree que dicha ley pierde todo su valor científico.

Sin embargo, Hirn defiende la verdad que envuelve la misma y hace intervenir en el calorífico específico tres factores: 1.º el calor absorbido por las moléculas del cuerpo; 2.º el trabajo externo empleado á consecuencia del cambio de temperatura, y 3.º el trabajo interno necesario para representar la mutación de lugar que sufren las moléculas.

243. **Equivalente mecánico del calor.**—Los cuerpos, al variar de temperatura, como sucede en la formación de los vapores, pueden dar lugar al desarrollo de fuerzas que representan un verdadero efecto mecánico; en este concepto, el trabajo que produce la unidad de calor ó caloría, manifiesta el *equivalente mecánico*, toda vez que también las acciones mecánicas desarrollan calor.

Entre los diferentes procedimientos ideados en la determinación del equivalente mecánico figura el de Joule, haciendo uso de un calorímetro de agua, en cuyo interior podía tomar un arbol vertical provisto de paletas movimiento de rotación por medio de un cordón arrollado en toda la longitud de dicho arbol y que pasaba por una polea fija, terminando en su extremidad en un contrapeso que descendía por la acción de la gravedad

De este modo se dedujo como valor del equivalente mecánico del calor el número 424 kilográmetros, ó lo que es igual, el esfuerzo que realizaba un kilógramo de agua al pasar su temperatura de 0 á 1 grado, era precisamente el mismo que el que se necesitaba emplear para elevar 424 kilógramos á un metro de altura en un segundo de tiempo. Recíprocamente esta fuerza, manifestándose en un cuerpo en el descenso, ocasiona el aumento de un grado de temperatura.

## CAPITULO V.

### *Propagación calorífica.*

#### LECCIÓN 58.

##### CONDUCTIBILIDAD DE LOS CUERPOS PARA EL CALOR.

244. **Conductibilidad: experimentos de Ingenhousx y Desprez.**—Todos los cuerpos puestos en comunicación de los focos caloríficos aumentan de temperatura más ó ménos, estableciendo un movimiento vibratorio, cuya amplitud será dependiente de la homogeneidad que presenten en su estructura, ó de la mejor ó peor distribución del éter, dando lugar al fenómeno de *conductibilidad*.

Ingenhousx comprobó la diferente conductibilidad de los cuerpos sólidos, particularmente de los metales, disponiendo á estos en barras de la misma longitud, recubiertas de una ligera capa

de cera, y las fijó convenientemente en una de las caras laterales de un recipiente metálico rectangular que en su interior contenía agua á la temperatura de 100 grados, observando que no todos los metales fundían la misma cantidad de cera que recubría la superficie.

Despretz estudió también la conductibilidad de los metales disponiéndoles en forma de barras prismáticas con varios taladros, en cada uno de los cuales fijaba un termómetro. Un foco de calor colocado en una de las extremidades de la barra producía elevaciones diferentes en las columnas termométricas, de tal modo que las más próximas á la extremidad caldeada de la barra eran las que más altura tenían y vice-versa las más distantes.

245. **Estudios de Lambert, Wiedmann y la Rive.**—El primero de estos físicos dedujo del anterior experimento la siguiente ley. *Si las distancias al origen del calor crecen en progresión aritmética, las diferencias de temperatura sobre la del aire decrecen en su progresión geométrica.*—Wiedmann y Franz modificaron el experimento Desprez utilizando la pila termo-eléctrica en vez de destruir la continuidad de los metales. Por último los estudios de la Rive se refieren á la conductibilidad de las maderas, en las cuales resulta mayor esta propiedad en la dirección de las fibras.

246. **Conductibilidad de los líquidos: caldeo.**—Estos cuerpos, á excepcion del mercurio, son verdaderamente refractarios á la conductibilidad, como se puede comprobar con un sencillo experimento. En efecto, si en el interior de un tubo de cristal adelgazado, antes de llegar á sus extremidades convenientemente cerradas, colocamos una pequeña cantidad de hielo y todo el resto del tubo se llena de agua, sujetando este sencillo aparato con cierta inclinación encima de una lámpara de alcohol, cuya llama actúe en un punto más ó ménos distante de la extremidad cerrada que contiene el hielo, se observará el singular fenómeno de entrar en ebullición toda la superficie del agua, sin comunicar la temperatura propia de la ebullición ni otra menor al hielo, toda vez que este conserva su estado de solidez.

Los líquidos al sufrir la acción de un foco calorífico situado debajo del fondo de la vasija dan lugar á corrientes ascendentes y descendentes por la variable densidad que adquieren las distintas capas de su masa: se observa muy bien este efecto, hirviendo agua con serén en un vaso de cristal.

247. **Conductibilidad de los gases: estudios de Magnus.**—La extremada movilidad que nos presentan las moléculas gaseosas, así como la circunstancia que determina el estado de estos cuerpos, impide realizar directamente experiencias relativas á la conductibilidad; de todos modos es sabido que son también refractarios á ella lo mismo que los líquidos, á excepcion del hidrógeno que presenta una potencia conductora muy superior á los demás gases.

Los estudios practicados por Magnus han dado los resultados siguientes: 1º En el hidrógeno la temperatura que marca el termómetro es más alta que en to-

dos los otros gases: 2.<sup>o</sup> dicha temperatura es mayor en el hidrógeno que en el vacío y tanto mayor, cuanto más enrarecido está el gas: 3.<sup>o</sup> en los demás gases la temperatura es menor que en el vacío y tanto menos, cuanto más condensados se hallen.

## LECCIÓN 59.

### RADIACIÓN DEL CALOR.

248. **Radiación calorífica: sus leyes.**—Así como el sonido se propaga en los distintos medios con velocidades variables en el momento que el cuerpo sonoro pierde su equilibrio, así también el éter, puesto en movimiento vibratorio en un cuerpo, considerado como foco, puede también comunicar este movimiento al través de los espacios, dando lugar al fenómeno conocido con el nombre de *radiación*.

Las leyes, bajo las cuales se manifiesta este fenómeno, son las siguientes, análogas á las de propagación del sonido en los gases: 1.<sup>a</sup> *La radiación se efectua en línea recta*, porque, si se interpone una pantalla en la recta que une el depósito de un termómetro y un foco cualquiera de calor, deja sentir aquel la influencia de este. 2.<sup>a</sup> *La radiación se verifica en todas direcciones*, como puede observarse al colocar en todas las posiciones posibles un termómetro á la misma distancia de un foco calorífico. 3.<sup>a</sup> *La radiación se efectua en el vacío*, prácticamente lo comprobó Rumford haciendo uso de un matraz completamente vacío y que en su interior contiene un termómetro: si se introduce este aparato en agua caliente, el termómetro manifiesta una elevación de temperatura, apesar de no tener punto alguno de contacto con la superficie esférica del globo.

249. **Intensidad del calor radiante: sus leyes.**—Llamamos intensidad del calor radiante la cantidad de calor que recibe la unidad de superficie en la unidad de tiempo. Las leyes á que está sujeto este concepto son tres, pero la principal se formula del modo siguiente: *La intensidad del calor radiante está en razón inversa del cuadrado de la distancia*. Teóricamente se comprueba suponiendo un poco de calor en el centro de una esfera: esta recibirá por cada unidad de superficie una cantidad constante de calor; pues bien, si suponemos que dicha esfera se hace de doble radio, entonces la superficie se habrá hecho cuatro veces mayor, el foco radia la misma cantidad y la unidad de superficie recibirá una cuarta parte de calor por ser una distancia doble.

250. **Reflexión del calor: poder reflector.**—En el fenómeno general de la radiación se ha convenido en designar con el nombre de *rayos* las rectas imaginarias, representantes de las direc-

ciones que afecta la propagación calorífica, tomando aquellos el calificativo de *oscuros*, cuando impresionen al órgano de la vista. Estos rayos caloríficos presentan el fenómeno de cambiar de dirección en el momento que encuentran en su camino un cuerpo de superficie pulimentada, dando lugar á la reflexión lo mismo que el sonido; por lo tanto, dicho fenómeno obedece las mismas leyes que se observan en el choque de los cuerpos elásticos.

Un sencillo experimento pone de manifiesto la reflexión del calor. Efectivamente, si se colocan dos casquetes parabólicos metálicos, cuya superficie cóncava se halla perfectamente pulimentada, de modo que los respectivos ejes coincidan en una misma recta, y uno de ellos en su foco contiene un brasero con carbones encendidos y el otro una sustancia inflamable, como puede ser la yesca, se observará que al poco tiempo esta sustancia ha principiado á arder.

Como la reflexión se manifiesta en los rayos caloríficos, entre los cuales se incluye, no solo los poseedores de elevadas temperaturas, sino al propio tiempo los de temperaturas bajas, se deduce de aquí que la anterior experiencia puede realizarse también, colocando en vez de los carbones encendidos en uno de los espejos trozos de hielo y en el foco del otro un termómetro diferencial, que marcará el descenso de temperatura producido.

La propiedad que poseen los cuerpos de reflejar una parte de los rayos incidentes toma el *poder reflector*. Puede conocerse este poder en los variados cuerpos, disponiéndolos en forma de láminas y colocándoles en el foco de un reflector metálico que recoja los rayos caloríficos procedentes de un cubo de hoja de lata lleno de agua hirviendo para recibir después los rayos que reflejan las laminitas sujetas á este experimento sobre una de las esferas del termómetro diferencial de Leslie.

## LECCIÓN 60.

### TRASMISIÓN DEL CALOR.

251. **Emisión: poder emisor; absorción: poder absorbente.**—El fenómeno, por el cual los variados focos caloríficos propagan el calor con intensidades diferentes, es conocido con el nombre de *emisión*, y *poder emisor* es la propiedad que tienen los cuerpos de radiar en igualdad de temperatura y superficie cantidades variables de calor, ó lo que es lo mismo, producir amplitudes vibratorias con valores diferentes. El físico Leslie determinó los diferentes poderes emisivos correspondientes á varios metales, formando con estos recipientes cúbicos en donde encerraba agua á la temperatura de 100 grados, observando después los aumentos de temperatura que manifestaba su termómetro diferencial colocado en el foco de un reflector, situado al frente de cada una de las caras metálicas del tubo á igual distancia.

Melloni con su aparato determinó también los diferentes valores de los poderes emisivos, haciendo uso del mismo cubo montado en una regla metálica, que á su vez sostenía pantallas con orificios por donde pasaban los rayos caloríficos, cuya temperatura anotaba con la pila termo-eléctrica y el galvanómetro.



El fenómeno, que presenta el calor, de penetrar aparentemente en la masa de los cuerpos, dá lugar á la *absorción calorífica*. El *poder absorbente* depende del sincronismo que existe entre las vibraciones de los átomos, de donde emanan las ondulaciones del éter y las de otros átomos, con las cuales se encuentran aquellas.

La determinación del poder absorbente de los cuerpos fué estudiada por Leslie y Melloni, con sus respectivos aparatos, recubriendo aquel el termómetro diferencial con aquellas materias que sometía al experimento, y este disponiendo delante de la pila termo-eléctrica planchas delgadas de las mismas materias.

252. *Relacion entre ambos poderes.*—El estudio de los fenómenos de absorción y emisión sirvió de punto de partida al referido físico Leslie para comprobar con la experimentación las dos leyes siguientes: 1.<sup>a</sup> *Al comparar el poder emisivo de un cuerpo con su poder absorbente, la temperatura debe ser próximamente la misma.* 2.<sup>a</sup> *El calor absorbente y emisivo deben ser de la misma naturaleza, es decir, ambos oscuros ó luminosos.* La modificación introducida por Ritchie en el termómetro diferencial, comprueba satisfactoriamente todo esto.

253. *Trasmisión del calor al través de los cuerpos.*—Otra de las manifestaciones caloríficas es aquella por la cual el calor se dice atraviesa las láminas delgadas de los cuerpos, sin que estas aumenten sensiblemente de temperatura con relación al foco de calor.

Se explica este fenómeno por una verdadera reacción entre el éter del cuerpo y el del foco, de modo que el mayor ó menor espesor que presente la lámina inducirá á resultados diferentes.

Los cuerpos, considerados bajo este punto de vista, toman el calificativo de *diatérmanos* y *atérmanos*, según la facilidad ó resistencia que presenten en el acto de la trasmisión. Varias son las causas que modifican el poder *diatérmano*, entre las cuales podemos citar: 1.<sup>a</sup> *La naturaleza de las pantallas que atraviesa el rayo calorífico, así como su pulimento, número y espesor,* y 2.<sup>a</sup> *La naturaleza del foco calorífico.* Estas influencias se explican con el aparato Melloni, disponiendo los cuerpos destinados al experimento en láminas provistas de espesores diferentes, situadas en los correspondientes sostenes fijos en la regla metálica y á una pequeña distancia de la *pila termo-eléctrica*.

254. *Termócrosis.*—Los experimentos anteriormente citados indujeron al físico Melloni á suponer, con sobrado fundamento, que los rayos caloríficos, después de atravesar las sustancias *diatérmanas*, pudieran subdividirse en otros elementales de especies diferentes, representantes de una verdadera coloración calorífica, cuyo fenómeno fué conocido con el nombre de *termócrosis*.

Este fenómeno se estudia en la Óptica con el calificativo de dispersión ó descomposición de la luz.

## CAPITULO VI.

*Aplicaciones térmicas.*

## LECCIÓN 61.

PÉNDULOS COMPENSADORES: LÁMPARAS PARA MINEROS: CALDEO  
Y ENFRIAMIENTO.

255. **Péndulos compensadores.**—Reciben este nombre aquellos péndulos utilizables para la relojería que no varían sensiblemente de longitud, á pesar de las variaciones de temperatura.—Entre los varios sistemas conocidos uno de ellos es el de Harrison, formado por un bastidor compuesto de cinco varillas de latón y cuatro de acero, dispuestas de un modo tal que las dilataciones que sufren las primeras se encuentran contrarrestadas con las otras: en virtud de la desigual dilatación: el bastidor sostiene al disco en la forma acostumbrada. Otro de los sistemas de péndulos compensadores es el de Graham formado por un armazón de latón que sostiene dos vasitos que contienen mercurio, cuyas dilataciones y contracciones por la temperatura alteran la posición del centro de gravedad del mismo armazón que sustituye al disco.

256. **Lámparas de mineros.**—En virtud de la conductibilidad que nos ofrecen los metales, podemos formar tegidos especiales que, puestos en contacto con la llama, impidan la propagación de esta al espacio que la rodea. Teniendo presente este principio se han construido lámparas cuya llama está rodeada de un tubo de cristal y la parte más inmediata por otros dos de metal, uno de ellos con malla metálica. De este modo el minero puede iluminar aquellos sitios donde haya desprendimientos de gases inflamables sin peligro alguno.—Los progresos alcanzados hoy en el alumbrado eléctrico han permitido á Trouvé la construcción de lámparas eléctricas de muy buenas condiciones

257. **Caldeo: diferentes sistemas.**—Para librarnos de los rigores del invierno, utilizamos aparatos especiales que radian cantidades variables de calor, mediante las combustiones de los cuerpos. Figuran como aparatos de calefacción los siguientes:

1.º Hogares y chimeneas antiguas ó modernas, con ventilación ó sin ella, en donde se utiliza la combustión de la leña ó el carbón de piedra en receptáculos fijos que comunican con el exterior por medio de conductos especiales. 2.º Las estufas que son estos mismos calentadores portátiles, aprovechándose en ellos el carbón de

pedra, ó el gas. 3.º Caloríferos de circulación, compuestos de cañerías que atraviesan todas las paredes de un edificio, conduciendo aire ó agua á temperaturas elevadas, y 4.º los hornillos de varias clases que se utilizan en la industria frecuentemente, ó los de laboratorio empleando el gas del alumbrado, etc.

258. **Máquina Carré: obtención de hielo.**—También tenemos necesidad de obtener bajas temperaturas, elaborando hielo en aquellos países que la naturaleza no lo dá con la abundancia que deseamos y, á este fin, se han ideado aparatos especiales, como sucede con la denominada máquina Carré, de la cual se conocen tres sistemas; en uno se emplea el agua amoniacal, en otro el ácido sulfúrico para obtener con ambos pequeñas cantidades de hielo y, por último, el sistema adoptado para la obtención de 3 000 kilogramos en 24 horas, cuya descripción pertenece á la *Mecánica industrial*. Uno de los pequeños modelos Carré está reducido á una caldera de plomo con ácido sulfúrico, puesta en comunicación por medio de los correspondientes tubos con el depósito que contiene el agua que tratamos de congelar, y con una bomba aspirante destinada á producir el vacío, se facilita de este modo la evaporización rápida del agua y la absorción del vapor por el ácido hasta conseguir la congelación en muy poco tiempo.

Otro de los pequeños modelos Carré le forman dos receptáculos de palastro y forma cilíndrica; puestas ambos en comunicación por medio de un tubo, uno de ellos hace el oficio de caldera, por contener agua amoniacal que se destila al colocarla en comunicación con el fuego, mientras el otro, llamado congelador, recibe en su interior un cilindro metálico con el agua que se desea congelar y que, desde luego, se sumerge en una tina al principiar el experimento. Verificada la destilación, se retira la caldera del fuego y se coloca en la tina y el congelador en contacto del aire; en esta situación, se verifica otra nueva destilación, pero en sentido opuesto, y la cantidad de calor que sustrae el amoniaco gasificado del congelador es tal, que el agua se transforma en hielo.

Las principales máquinas conocidas hoy para elaborar hielo en grande escala son las de Tellier, que producen 200 kilogramos por hora, utilizando el frío que engendran la evaporización del éter metílico en el vacío; las inglesas de Atlas Company, la de Giffard que emplea el aire comprimido y en expansión y, por último, la de Pietec, fundada en la evaporización del ácido sulfuroso líquido, permite obtener 1.000 kilogramos de hielo por hora.

Con el empleo de las mezclas frigoríficas se usan las *garapiñeras* de familia de variadas formas y disposiciones.

## LECCIÓN 62.

### FUNDAMENTOS DE LAS MÁQUINAS DE VAPOR: GENERADORES.

259. **Máquinas de vapor: sus clases.**—Las máquinas de vapor son aquellos aparatos que la Mecánica utiliza como motores mediante la tensión del vapor del agua hirviendo.—Las clases de máquinas de vapor son muchas: unas reciben el nombre de *fijas*, porque, una vez instaladas en el sitio donde funcionan, es necesario desarmarlas para la traslación; otras llamadas *locomóviles*

pueden trasladarse fácilmente al sitio donde son necesarias; las hay también *semi-fijas*, porque poseen los caracteres de las anteriores. Las denominadas *locomotoras*, los *motores* de los vapores que surcan las aguas, etc., son otras tantas clases que utilizan la fuerza elástica del vapor para trasladarse todo el mecanismo á distancias y además pesos siempre considerables.

260 Experimentos preliminares.—Ya desde los tiempos más antiguos se conoció la propiedad que tenía la tensión del vapor de agua, al ser manejada convenientemente, de producir efectos dinámicos más ó menos grandes, como se puede apreciar con el siguiente sencillo experimento: si en el interior de un recipiente de pequeñas dimensiones se introduce agua, cubriendo el orificio de entrada con un tapón de corcho, se observará que al recibir el calor suficiente para producir la ebullición del agua, el vapor formado tiene una fuerza de tensión tan considerable, que obliga á lanzar el tapón de corcho á una gran altura.

Con el nombre de eolípilas se han conocido todos aquellos instrumentos destinados á poner de manifiesto los efectos producidos por la tensión del vapor de agua.

La eolípila de reacción estaba formada por un pequeño carro que sostenía una esfera y una lamparilla de alcohol: al producir el vapor el chorro formado chocaba contra las capas de aire, dando lugar á un movimiento de traslación en todo el aparato.

Papin fué el primero que aprovechó la fuerza elástica del vapor como fuerza que operase de un modo constante, dando á su aparato la forma siguiente: en el fondo de una simple bomba colocó una pequeña cantidad de agua que, calentada suficientemente, producía el vapor necesario para elevar el pistón y por lo tanto el tallo del mismo, el cual, unido á un contrapeso, por medio de una cadena que pasaba por las gargantas de dos poleas, descendía, y para conseguir la elevación del mismo contrapeso rociaba con agua fría el exterior de la bomba hasta conseguir la condensación de los vapores.

Newcomen introdujo importantes mejoras en dicho aparato para utilizarle con más ventajas en la elevación de pesos, principiando por sustituir el juego de poleas con un balancín ó palanca de primer género de brazos iguales y en uno de sus extremos fijaba el tallo de la bomba. Además el vapor no se formaba en el fondo del pistón, sino en un depósito metálico cerrado é independiente.

261. Calderas de las máquinas de vapor: sus clases.—Las *calderas* son todos aquellos aparatos destinados á servir de recipientes á grandes cantidades de agua que por el aumento de temperatura que adquieren se trasforman en vapor. Estas calderas ó generadores son de dos clases, unas denominadas *tubulares* y otras *ordímarias*. Estas últimas se hallan formadas por un gran cilindro metálico terminadas ambas bases por casquetes esféricos, situadas horizontalmente en un hornillo de gran tiro para facilitar la combustión y que comunican por medio de los correspondientes conductos con otros dos cilindros de la misma longitud, pero de menor sección llamados los *hervidores*: el agua llena completamente estos y los dos tercios del gran cilindro.—Las llamadas *tubulares*

son también grandes cilindros taladradas sus bases por orificios á los cuales se aplican tubos que atraviesan todo el largo de la caldera, dispuestos de un modo tal, que todos los productos de la combustión pasan por el interior de los mismos tubos. Por lo tanto el agua que les rodea, y al propio tiempo llena la capacidad interior de la caldera, entra en ebullición muy pronto por la gran superficie de calefacción que presentan los mismos tubos.

262. **Aparatos de seguridad que deben llevar.**—Todas las calderas van provistas de diferentes aparatos de seguridad que al propio tiempo que sirven de indicadores regulan la marcha de todo el mecanismo. Estos aparatos son los siguientes: *Abertura de limpieza* dispuesta para cerrarse de dentro á afuera y que puede fijarse con fuertes tornillos; tiene por objeto facilitar la limpieza del interior, haciendo desaparecer las costras calizas formadas por la ebullición del agua: la *válvula de seguridad*, formada por un orificio cónico truncado cubierto con el correspondiente tapón, colocado en una palanca de primer género que sostiene un contrapeso, el cual permite tener constantemente cerrado el indicado orificio de modo que, cuando el exceso de vapor se manifiesta en el interior de la caldera, en vez de ejercer una presión considerable sobre las paredes de la misma, comunica con el exterior, venciendo la resistencia del contrapeso: llevan además el *silbato de alarma* que anuncia la falta de agua ó el exceso de vapor: el *indicador de nivel*, que manifiesta la altura del agua, el *manómetro*, que mide la tensión, y los *tubos*, necesarios para establecer la comunicación con la caja de distribución del motor, así como también con las bombas de alimentación y del condensador.

263. **Causas de explosión.**—Sin embargo de ser muchas las pruebas á que se someten las calderas antes de funcionar, puede acontecer su explosión acompañada de efectos siempre desastrosos, y precisamente el entendido manejo de los aparatos de seguridad previene en ciertos casos dichos efectos. Las causas productoras, entre otras muchas, son las siguientes: la falta de agua, el exceso de vapor, la formación de depósitos calizos, el estado esférico y la mala circulación del calor.

## LECCIÓN 63.

### MÁQUINAS FIJAS Y LOCOMÓVILES.

264. **Máquina de doble efecto de Watt.**—Las máquinas fundamentales de Papin y Newcomen recibieron importantes modificaciones hasta llegar á la forma y disposición que permitían ser consideradas como un perfecto instrumento conforme lo dispuso

Watt. La máquina de vapor debida á este físico se halla formada en primer lugar por una bomba vertical, cuyo pistón puede tomar un movimiento de ascenso y descenso al ser impelido por una corriente de vapor que actua sobre sus dos bases, á cuyo efecto antes de pasar al cuerpo de bomba desde el generador se acumula en una caja denominada de *distribución*. Esta pieza sirve para dar dirección al vapor por el intermedio de la llamada *válvula en D*, dotada de un movimiento tal, que cuando se halla abierto el orificio que comunica con la parte superior del cuerpo de bomba tiene cerrado el de la inferior. Los movimientos de ascenso y descenso del tallo ó vástago del pistón se comunican al *balancín* en uno de sus extremos y el otro á dos palancas angulares articuladas que reciben los nombres de *biela* y *manivela* dispuestas de modo que en las posiciones que toman por los impulsos del pistón, imprimen un movimiento rotatorio á un gran volante que regula, en virtud de la inercia al ponerse en movimiento, la marcha de todo el aparato. Los movimientos del balancín se aprovechan para hacer funcionar dos bombas, una que aspira el agua de un depósito para dirigirla á la caldera ó generador de vapor y otra que dirige al mismo sitio el agua formada en un depósito que recibe el nombre de *condensador* por haber ido á parar á él el vapor después de haber actuado sobre y debajo del pistón. El eje del volante puede poner en movimiento por medio de un excéntrico y una serie de varillas, la válvula en D de la caja de distribución y además el llamado *regulador*; este le forman dos péndulos de bastante peso que al adquirir el movimiento, de rotación en virtud de la fuerza centrífuga alteran su distancia de separación y comunican este movimiento á la referida válvula que de este modo regula la entrada del vapor en la bomba.

265. **Sistemas especiales.**—La máquina de doble efecto de Watt recibe en los tiempos presentes formas diferentes que á su vez han dado lugar á diversos sistemas entre los cuales se citan las llamadas *horizontales* por actuar en esta dirección el pistón.—El balancín se ha suprimido en muchos sistemas efectuándose la comunicación del pistón directamente con la biela y la manivela.—Existen también sistemas en que el generador de vapor y la máquina forman un mismo cuerpo, ocupando de este modo el menor espacio posible.

En general toman los nombres de máquinas de condensación ó sin condensación, según que posean ó carezcan de esta parte: de alta, media y baja presión cuando esta es valorable más de cuatro atmósferas, de dos á cuatro y de una á dos respectivamente: y por último, con expansión ó sin expansión, según que actúe el vapor en todo ó en parte del movimiento del pistón.

266. **Locomóviles: sus elementos.**—Las locomóviles son máquinas de vapor dispuestas de modo que pueden trasportarse fácilmente, según el sitio á donde deben utilizar su fuerza motora

En general son máquinas horizontales que forman cuerpo con una caldera tubular provista de una larga chimenea que puede doblarse para no ocupar tanto espacio cuando no funciona: el todo de este aparato se halla sostenido en un gran bastidor con cuatro ruedas, dos de ellas de gran radio para de este modo conducirse desde un sitio á otro fácilmente con el empleo de la fuerza animal. Como motor horizontal tienen situada la bomba, el volante, biela, manivela y regulador en la parte superior de la caldera.

## LECCIÓN 64.

### LOCOMOTORAS Y MÁQUINAS DE AIRE CALIENTE Y DE GAS.

267. **Locomotoras.**—Las locomotoras, según su mismo nombre indica, son máquinas de vapor de alta presión, en las cuales la fuerza elástica del vapor se utiliza para que, imprimiendo un movimiento de rotación al volante, pueda este deslizarse á lo largo de rails, impeliendo no sólo á todo el aparato, sino también á pesos convenientemente colocados en vehículos unidos á la misma.

Una locomotora está formada por un gran bastidor ó plataforma, montada sobre cuatro ruedas, que sirve de sólido sostén á una caldera tabular que en la parte anterior termina en un recipiente denominado *caja de humo*, por desembocar en ella los tubos de la caldera y dar salida á los productos de la combustión por una chimenea que facilita el tiro; en la parte posterior se halla colocada la *caja de fuego* para contener el combustible á manera de hornillo. El vapor formado en la caldera se acumula en la denominada *cámara de los vapores*, de figura de campana, en cuyo interior arranca un tubo que puede abrirse ó cerrarse á voluntad y que, dividiéndose en dos brazos laterales en la parte anterior, dirige de este modo por su interior el vapor á dos bombas horizontales situadas muy próximas á las ruedas delanteras. En estas bombas existen las correspondientes cajas de distribución y los tallos se articulan de un modo especial con la biela y manivela que comunican con los volantes situados en el espacio interior que dejan entre sí las ruedas de sostén. Por último, poseen además estas máquinas cuantos aparatos de seguridad deben acompañar á las calderas, así como también no sólo los medios de dirigir el vapor de un modo conveniente para aumentar ó disminuir la velocidad, variando en un caso y en otro la dirección, sino también aquellas particularidades que se refieren á la disminución de los rozamientos, disponiendo las ruedas de la locomotora y de los carruajes que arrastra en forma de bisel que se ajusta á los rails, para de este modo disminuir los rozamientos.

268. **Motores de aire caliente: sistema Laubereau.**—Así como en las anteriores máquinas el calor se transforma en trabajo, mediante la expansibilidad del vapor del agua, así también el aire caliente, convenientemente dilatado, puede considerarse como otro motor aprovechable para los mismos fines que las máquinas de vapor.

La parte principal de estas máquinas la forman dos cilindros de la misma altura, pero de sección desigual, que se comunican por ambas bases. El cilindro de mayor sección contiene en su interior una masa de yeso endurecido, cilíndrica,

cuya base inferior, que es cóncava, recibe la acción de un mechero de gas, y la superior la forma una doble tapa, por donde discurre sin cesar una corriente de agua fría, mediante una bomba movida por la misma máquina. El cilindro pequeño contiene un émbolo provisto de tallo, biela, manivela, eje y volante, como una máquina de vapor; este émbolo sufre la impulsión correspondiente á la dilatación del aire encerrado en el cilindro mayor y, como esto se verifica alternativamente, el émbolo asciende y desciende. Este sistema es el de Laubereau, pero se conocen otros varios.

269. **Motores de gas.**—Lenoir y Hugon se consideran los inventores de los dos sistemas de motores de gas que hoy conocemos. En estos motores la combustión de una mezcla de aire y de gas, que tiene lugar alternativamente en el interior de una bomba, es el principio de impulso que determina el movimiento.

En el sistema Lenoir una chispa eléctrica produce explosión necesaria y en el de Hugon, mucho más generalizado, dos surtidores de gas que alternativamente se apagan y encienden, merced á un mecanismo muy sencillo y bien entendido.

## SECCIÓN SEGUNDA—Luz.

### CAPITULO I.

#### *Ideas fundamentales.*

#### LECCIÓN 65.

##### Luz y fenómenos luminosos: manantiales: teorías.

270. **La luz y los fenómenos luminosos.**—Así como nos damos cuenta de los fenómenos caloríficos por las impresiones que observamos en el tacto, apreciadas por la llamada variación de temperatura, así también la retina, que forma la parte más delicada del ojo, nos dá cuenta de los colores de los objetos y de sus formas. Hay una causa ó agente especial por el cual *vemos* los cuerpos: esta causa ó agente es la *luz*; la materia, al manifestar la acción de la luz, caracteriza hechos especiales y variados que forman los llamados *fenómenos ópticos ó luminosos*.

271. **Manantiales luminosos en general.**—La Naturaleza nos presenta cuerpos dotados de la manifestación luminosa, como sucede con el sol y las estrellas; gozan además el caracter de ser *permanentes* en la producción lumínica por contraposición á otros que gozan de esta cualidad *accidentalmente*, pudiendo ser *naturales*, como el gusano de luz, otra infinidad de seres y la fosforita, ó *artificiales*, como las combustiones. Entre estas son muy notables



las que producen el magnesio y los gases oxígeno é hidrógeno, al quemarse en presencia de la cal, formando la luz oxídrica ó la luz de Dumonh. Existen tambien cuerpos que manifiestan poder luminoso, por haberlo recibido de los anteriores: la luna y todos los cuerpos iluminados pueden servir de ejemplo.

272. La presión como manantial luminoso: experimento de Cailletet: la fosforescencia.—Comprimiendo oxígeno con el eslabón neumático, provisto el pistón de un trozo de yezca, la temperatura que se desarrolla es capaz de producir la inflamación de aquella sustancia; este sencillo experimento prueba que la presión origina luz. En nuestros tiempos Cailletet ha conseguido hacer una llama doscientas veces más luminosa dentro de tubos de cristal con aire comprimido á la presión de 40 atmósferas; de este modo, una pequenísimá chispa imperceptible produce una iluminación extraordinariamente brillante en un gran espacio.

La fosforescencia, considerada como manantial lumínico, es una de las manifestaciones luminosas que poseen ciertas sustancias en determinadas condiciones. Estas manifestaciones dan lugar: 1.º, á la denominada fosforescencia espontánea, que presentan muchos seres; 2.º, la fosforescencia por elevación de temperatura, como sucede con el diamante y el espató fluor, cuando se les somete á una temperatura de 400 grados; 3.º, la fosforescencia por efectos mecánicos (el trabajo transformado en luz), como se observa al frotar en la oscuridad dos cristales de cuarzo y, por último, la fosforescencia por insolación al sujetar ciertos cuerpos á la presencia de focos luminosos intensos, como en los sulfuros de bário, cálcio y stróncio. Las llamadas flores fosforescentes y los estudios del profesor Norton, relativos á la fabricación de barnices para recubrir las fachadas de las casas, obteniendo luz de este modo por las noches, son aplicaciones de la fosforescencia por insolación.

273. ¿Qué es la luz, según las antiguas teorías?—Las opiniones adoptadas para explicar la naturaleza de la luz, son las mismas que las que se refieren á esta cuestión en el calor, es decir, la hipótesis de la radiación, las de las ondulaciones y las teorías modernas. Supone la primera de estas hipótesis en la luz una materia sumamente ténue, desprendida de los cuerpos que la poseen con una velocidad infinita y que, al penetrar en el ojo, provocan una verdadera reacción en la retina, causa de la visión. La hipótesis de las ondulaciones admite que las moléculas de los focos luminosos están animadas de un rápido movimiento vibratorio que se comunica al éter, sustancia eminentemente sutil, propagándose en todos sentidos, del propio modo que las ondas sonoras se transmiten en la atmósfera.

274. La luz y la teoría de la unidad de fuerzas.—La teoría moderna, al admitir la existencia simplemente de la materia cósmica, puesta en vibración para engendrar todo el orden de fenómenos físicos, diferencia las ondulaciones que producen el calor, de las de la luz, por el *tiempo* que necesitan emplear; así aquellas tienen demasiada lentitud para impresionar la retina, mientras

que las originarias de la luz poseen una velocidad mucho mayor, es decir, se producen en la misma unidad de tiempo con mayor rapidez. Por lo tanto, si los fenómenos caloríficos son dependientes de la amplitud etérea, ó sea del espacio recorrido, los ópticos son dependientes del tiempo empleado.

## CAPITULO II.

### *Trasmisión de la luz.*

#### LECCIÓN 66.

##### LEYES DE PROPAGACIÓN DE LA LUZ Y VELOCIDAD.

275. **Propagación de la luz: rayos y haz luminoso.**—Para que nosotros *veamos* los cuerpos, ó lo que es igual, para que la retina pueda impresionarse en presencia de los cuerpos luminosos ó iluminados, es forzoso admitir una comunicación de movimiento vibratorio entre el éter del foco y el contenido en el espacio de separación á semejanza de la radiación del calor, dando lugar á la *propagación de la luz*.—Los rayos luminosos tienen por lo tanto el mismo caracter que los caloríficos y nos representan la línea formada por los elementos etéreos puestos en vibración, diferenciándose unos de otros simplemente por el tiempo empleado.

La reunión de varios rayos sensiblemente paralelos, constituyen el *haz*.

276. **Leyes de propagación de la luz.**—Las leyes á que obedece la marcha de los rayos que parten de un punto luminoso son tres: 1.<sup>a</sup> La luz se propaga en línea recta; 2.<sup>a</sup> Los rayos luminosos atraviesan los espacios vacíos de materia ponderable; 3.<sup>a</sup> Los rayos luminosos se dispersan en todas direcciones. Estas tres leyes se comprueban muy fácilmente.

277. **Velocidad de la luz.**—Los primeros ensayos para calcular la velocidad de la luz fueron debidos al astrónomo Røemer que observó el retraso que ofrecía uno de los satélites de Júpiter en las inmersiones producidas por la interposición de este planeta, según la distancia de separación de la tierra por la posición que tenía en la órbita. Hecha la observación á la mayor distancia del astro, el retraso anotado en dicho satélite de Júpiter ascendía á 16 minutos y 36 segundos, luego esto dependía del tiempo que necesita la luz para atravesar el eje de la órbita terrestre y, sa-

biendo á cuanto asciende éste en kilómetros, el cociente que resulta de dividir dicha distancia por el total de segundos dará la velocidad de la luz, es decir, 308.000 kilómetros por segundo.

Los procedimientos de Foucault, Fizeau y Cornu, son muy ingeniosos y han producido excelentes resultados particularmente el del último; pero su descripción no pertenece á tratados elementales como el presente.

278. **Sombra y penumbra.**—Los cuerpos opacos puestos en frente de los luminosos reciben simplemente la luz por la superficie que mira á ellos y los rayos luminosos al propagarse en todos sentidos limitan el contorno del cuerpo quedando un espacio detrás de este privado completamente de luz, el cual recibe el nombre de *sombra*: es por consiguiente de la misma figura que el cuerpo opaco como se observa interceptando dicho espacio con una pantalla.

Suponiendo el foco de luz reducido á un punto matemático, el contorno de la sombra es fácilmente distinguible y limitado con limpieza, pero cuando dicho foco ocupa una extensión más ó menos considerable, entonces el cruzamiento de los rayos de puntos opuestos determinan otro espacio que no se halla tan privado de luz como la sombra y que recibe el nombre especial de *penumbra*.

## LECCIÓN 67.

### INTENSIDAD DE LA LUZ.

279. **Intensidad de la luz: su ley y comprobación.**—Las superficies de los cuerpos, en presencia de los diferentes focos luminosos, se pueden presentar más ó menos iluminadas, según el valor que tenga la potencia del foco, de modo que, al relacionar aquella superficie con otra escogida como tipo ó unidad, determinamos lo que se conoce con el nombre de *intensidad de la luz*. Esta intensidad se halla sujeta á una ley formulada del mismo modo que la del calor y el sonido: *la intensidad de la luz está en razón inversa del cuadrado de la distancia*. Dicha ley puede comprobarse, haciendo la misma consideración teórico-práctica con que se demostró la ley de la intensidad del calor.

280. **Fotómetros: sistemas de Bouguer, Rumford, Bunsen y Burel, Dumas y Regnault: unidades.**—Los fotómetros son instrumentos que tienen por objeto determinar la intensidad de los focos luminosos con respecto á otro que se toma como unidad. Sirven también para comprobar experimentalmente la ley de la intensidad de la luz.

Las principales clases ó sistemas de fotómetros son las siguientes: 1.º El Fotómetro Bouguer está formado por una lámina de cristal deslustrado, dispuesta verticalmente y en frente de la cual puede situarse, en un plano perpendicular á la misma, una delgada tabla pintada de negro; si se coloca á una distancia cualquiera una bujía y á una distancia doble un candelabro con cuatro bujías, las dos superficies en que ha dividido la tabla á la pantalla, aparecerán igualmente

iluminadas; pero esto no se verificará en el momento de alterar las distancias de los focos luminosos. 2.<sup>o</sup> El fotómetro de Ramford está dispuesto del mismo modo: pero se observa en él la desigual intensidad que adquieren las sombras proyectadas por un estilete vertical, al ser iluminado por dos luces de intensidades variables, siempre que no se altere la referida relación de distancia. 3.<sup>o</sup> Bunsen hizo uso de un fotómetro muy sencillo, formado por una hoja de papel blanco con una mancha de aceite que, al ser iluminada por dos luces de la misma intensidad y á igual distancia, no aparece visible. Este sistema ha sido satisfactoriamente modificado por Burel, que ha construido un instrumento de mucha más precisión que los anteriores. 4.<sup>o</sup> Dumas y Regnault, ventajosamente conocidos en la Física, nos han proporcionado un magnífico fotómetro, que es, sin disputa, un verdadero modelo, en el cual se cumplen todas las condiciones que deben reunir los instrumentos de gran exactitud en sus resultados.

Las unidades de medida, escogidas en la mayor parte de los fotómetros, son las bujías esteáricas; pero en estos dos últimos se utiliza la lámpara Carcel, de movimiento uniforme, alimentada por aceite de colza purificado, de cuyo combustible consume cuarenta y dos gramos en una hora.

281. Paso de la luz por pequeños orificios.—Uno de los fenómenos primarios, observados en los rayos luminosos, es la representación, con todos sus detalles, de los cuerpos luminosos ó iluminados en las superficies pláneas situadas en el interior de recipientes privados de luz, llamados cámaras oscuras, cuando penetran por diminutos orificios practicados convenientemente en las paredes de dichas cámaras.

Este fenómeno reconoce como fundamento un cruzamiento de los rayos luminosos en el orificio de entrada y se presenta con bastante frecuencia, al observar las múltiples imágenes del sol que aparecen en la sombra producida por los árboles, cuando atraviesan los rayos luminosos por algunos espacios que dejan entre sí las hojas, lo cual viene á comprobar también que se efectúa la citada reproducción, cualquiera que sea la forma de los orificios.

## CAPITULO III.

### *Reflexión de la luz.*

#### LECCIÓN 68.

##### LEYES DE REFLEXIÓN: REFLEXIÓN EN LOS ESPEJOS PLANOS.

282. Reflexión de la luz: sus leyes: métodos comprobantes de Tyndal: procedimientos astronómicos.—Al recibir un rayo de luz en la cámara oscura con cierta inclinación sobre la superficie de un cuerpo perfectamente pulimentado toma una inclinación especial dando lugar al fenómeno de la *reflexión*.

Este cambio de dirección se verifica en las mismas condiciones que la reflexión de los cuerpos elásticos durante el choque ó en el sonido y también en el calor.

Las leyes son dos, formuladas del modo siguiente: 1.<sup>a</sup> *El ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son iguales.* 2.<sup>a</sup> *El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado son tres rectas que se hallan en un plano perpendicular á la superficie reflectante.* Entre los diferentes procedimientos que pueden emplearse para dar á conocer experimentalmente estas leyes, merece indicarse el siguiente, debido á Tindal: en la parte superior de una vasija de cristal que contenga mercurio se coloca una regla horizontal de modo que desde su parte central deje pendiente una plomada, que coincida con la superficie del mercurio. Haciendo llegar un rayo luminoso á ese mismo punto que pase también por otro de la regla horizontal, se observará la imagen del punto luminoso reflejada en el fondo del líquido metálico y debajo de la plomada solamente al situar el ojo en la división de la regla que equidista de aquellos por donde marcha el rayo luminoso.

El método astronómico es más exacto y está reducido á lo siguiente: se hace uso de una vasija de cristal llena de mercurio limpio y un trípode que sostiene un círculo metálico colocado verticalmente, dividido en partes iguales y provisto de dos anteojos que giran en el centro del mismo. Por uno de estos anteojos se dirige la visual á un astro directamente y por el otro se enfila otra segunda visual en la dirección reflejada por la superficie del líquido metálico. Los ángulos formados por ambas direcciones de los anteojos y una vertical que pasa por el centro ó vértice no solo son iguales entre sí, sino iguales respectivamente á los que forman el rayo incidente del astro observado sobre la superficie del mercurio, el reflejado sobre la misma y la vertical que pasa por el punto de incidencia.

283. **Espejos: imágenes en los espejos planos.**—En óptica se conocen con el nombre de *espejos* todas aquellas superficies perfectamente pulimentadas, que presentan los cuerpos para reflejar en ella los rayos luminosos. Los espejos reciben el calificativo de planos y curvos, pudiendo á su vez estos últimos ser cóncavos ó convexos, según la disposición geométrica que ofrezcan las superficies reflectantes.

Los espejos planos representan las imágenes de los cuerpos luminosos ó iluminados, situados en frente de ellos, de la misma forma, tamaño y disposición que los objetos de donde proceden, es decir, que el objeto y su imagen son simétricos entre sí, como puede observarse prácticamente ó también haciendo uso de una sencilla consideración geométrica.

284. **Multiplicación de las imágenes en los espejos planos.**—Si dos espejos se colocan en una posición tal que formen entre sí un ángulo diedro recto y en el espacio de separación se sitúa un cuerpo luminoso cualquiera, el número de imágenes producidas es tres: dos en cada uno de los espejos y la tercera dependiente de las otras que pueden considerarse como nuevos cuerpos luminosos capaces de representar á una nueva imagen. Si los dos espejos forman un ángulo de 45 grados, las imágenes producidas son siete: las dos primeras, una en cada espejo, procedentes de las reflexiones directas que el cuerpo luminoso produce y las otras

son debidas á las reflexiones sucesivas que producen las imágenes formadas.

De este modo se ha venido á determinar el número de imágenes observadas en dos espejos inclinados convenientemente, según el valor angular. La fórmula

$$\alpha = \frac{360}{\alpha} - 1$$

nos dice á cuánto asciende este número, en donde  $\alpha$  representa el valor angular. De esta misma expresión se deduce que cuando  $\alpha = 0$  es decir, los espejos son paralelos y el número de imágenes obtenidas es igual al infinito, como prácticamente se observa, examinando nuestra imagen producida en dos espejos verticales.

285. **Reflexión irregular.**—La luz incide también sobre superficies poco pulimentadas y entonces los rayos reflejados se difunden por el espacio, constituyendo la *reflexión irregular*. La reflexión irregular produce la *luz difusa*, que es la que permite iluminar los cuerpos para ser vistos.

## LECCIÓN 69.

### REFLEXIÓN DE LA LUZ EN LOS ESPEJOS ESFÉRICOS.

286. **Espejos esféricos: elementos que los forman: sus clases.**—Las superficies curvas pulimentadas del mismo lado del centro geométrico correspondiente, dán lugar á los llamados *espejos cóncavos* y aquellas, cuya superficie está pulimentada por la cara opuesta al centro, son las que dán lugar á los *espejos convexos*. La generación de ambos es la misma que la de las superficies curvas que estudia la Geometría, así es que se pueden considerar formadas por elementos planos extremadamente pequeños y en número infinito.

En todo espejo curvo hay que estudiar las partes siguientes: *centro de curvatura*, punto situado en el espacio, del cual equidistan todos los de la superficie curva: *centro de figura*, punto situado en la superficie curva, que cumple la condición de distar igualmente del contorno circular que limita el espejo: *sección principal*, la curva resultante de cortar la superficie esférica por un plano que pase por el centro de curvatura: *eje principal* y *secundario*, aquellas rectas imaginarias que pasan por los dos centros de figura y curvatura ó simplemente por este último, y *radios* las rectas que parten del centro y terminan en un punto de la superficie.

287. **Focos: su determinación en los cóncavos y en los convexos.**—Los rayos luminosos que inciden sobre la superficie de un espejo cóncavo, no sólo se reflejan, siguiendo las leyes generales, sino que también concurren en un punto situado en el espacio de separación de los dos centros, dando lugar á los denominados *focos*.

Los espejos cóncavos producen tres clases de focos: 1.º El *principal*, que se halla colocado en el punto medio de los dos centros en el eje principal, y está formado por la concurrencia de

rayos reflejados que, al incidir sobre el espejo, tienen una dirección paralela al mismo eje principal. 2.º El *foco conjugado* más próximo al centro de curvatura y producido por los rayos luminosos que forman un ángulo con el eje principal, y 3.º El *foco virtual*, que se supone colocado en la parte posterior de este espejo, constituido por la concurrencia de rayos luminosos procedentes de un punto situado entre los centros de figura y curvatura: gráficamente se representa este foco, prolongando los rayos reflejados en dirección opuesta á la radiación.

El foco principal se determina experimentalmente colocando un espejo en frente del sol, suponiendo que el paralelismo de sus rayos incidentes depende de la distancia infinita, y aproximando al espejo un trozo de cristal deslustrado, este manifiesta el sitio ocupado por el foco. El conjugado, como procede siempre de puntos luminosos situados á una distancia finita del espejo, se determina experimentalmente del mismo modo que la anterior, sin más que hacer uso de una bujía encendida.

En los espejos convexos los rayos luminosos paralelos ó divergentes al eje principal, después de reflejarse al incidir sobre la superficie de estos espejos, siguiendo las leyes generales, toman una dirección opuesta; así es que no pueden concurrir en un punto delante del espejo, dando lugar á focos reales ó conjugados, pero en cambio, al suponerles prolongados por la parte posterior, pueden encontrarse dando lugar á focos virtuales.

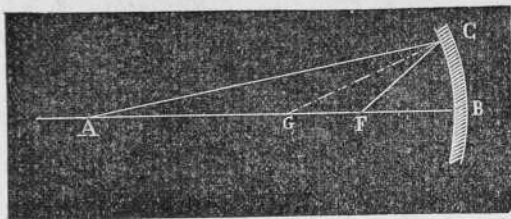
288. **Imágenes: su formación en los mismos.**—Los cuerpos luminosos ó iluminados producen, en presencia de los espejos, representaciones dependientes de la serie de focos que determinan la concurrencia de los rayos procedentes de los infinitos puntos luminosos que ofrece la superficie de los mismos cuerpos. Estas imágenes en los espejos cóncavos son de dos clases: las unas más pequeñas que el objeto y á su vez invertidas, siempre que el objeto esté situado á una distancia mayor que el radio de curvatura; las otras amplificadas y directas, en el supuesto de estar colocado el objeto á una distancia menor que el radio de curvatura.

Las primeras se observan en una pantalla de vidrio deslustrado, colocada entre el objeto y el espejo en el sitio ocupado por el foco de éste; las segundas proceden de focos virtuales y son las que se ven, colocando delante del espejo un objeto en cualquier espacio más ó menos próximo á uno de los dos focos principal ó conjugado.

Un sencillo procedimiento geométrico permite determinar gráficamente estas dos clases de imágenes que presentan los espejos cóncavos.

Las imágenes en los espejos convexos tendrán el mismo carácter que sus focos; así es que se representan en la parte posterior del espejo, lo mismo que en los planos, directa pero notablemente disminuida de tamaño, con respecto al cuerpo que la produce, y tanto menor cuanto mayor sea la distancia de separación entre el espejo y el mismo objeto.

289. **Fórmula de los espejos.**—Sea BC la sección de un espejo cóncavo, A un punto luminoso y F su foco. Si representamos  $AB = AC$  para arcos de pocos grados por la



cantidad  $p$ ; por  $p'$  la distancia  $FB = FC$  en arcos también de pocos grados ( $a$ ) y por  $R$ , radios de curvatura, las distancias  $GB$  y  $GC$ . Teniendo presente que según la Geometría en el triángulo  $ACF$  la bisectriz  $CG$  divide al lado opuesto  $AF$  en dos segmentos inversamente proporcionales á los otros dos lados podemos formular la presente ecuación:

$$\frac{GF}{AG} = \frac{FC}{AC} \text{ de donde}$$

$$GF \times AC = AG \times FC \quad (1) \text{ pero}$$

$GF = GB - FB$  y  $AG = AB - GB$  así es que la ecuación (1) tomará la forma  $(GB - FB) AC = (AB - GB) FC$ , en la cual haciendo figurar los convenios establecidos será  $(R - p') p = (p - R) p'$ ; realizando las operaciones indicadas  $Rp - pp' = pp' - Rp'$  ó también  $Rp + Rp' = 2pp'$  que dividiendo todos sus términos por  $Rpp'$  se convierte en

$$\frac{Rp}{Rpp'} + \frac{Rp'}{Rpp'} = \frac{2pp'}{Rpp'}$$

$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{2}{R}$ . Esta fórmula puede discutirse algebraicamente para deducir los valores que toman las cantidades  $p'$ ,  $p$  y  $R$  en los diversos casos que pueden presentarse.

En los espejos convexos como el foco es virtual, este y el centro se hallan del mismo lado, así es que  $p'$  y  $R$  tienen el mismo signo y  $p$  por lo tanto un signo contrario, lo cual obligará á tomar la fórmula últimamente deducida la forma  $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{2}{R}$  propia para los espejos convexos.—Ambas fórmulas no son rigurosamente exactas, pero se aproximan tanto mas á la verdad cuanto menor es la abertura del espejo.

290. **Espejos cilíndricos y cónicos.**—Como su mismo nombre lo indica, los espejos pueden tener la superficie dispuesta en cilindros y conos respectivamente, de manera que los objetos luminosos situados delante de sus respectivas superficies, presentan las imágenes notablemente deformadas, de tal modo, que dan lugar á las llamadas *anamórfosis*, las cuales se manifiestan colocando dichos espejos encima de hojas de papel, que tengan pintadas aquellas anamórfosis, aparecerán en la parte posterior del espejo reducidas á sus dimensiones y proporciones regulares.

## CAPITULO IV.

### Refracción de la luz.

#### LECCIÓN 70.

##### LEYES DE LA REFRACCIÓN: PRISMAS É ÍNDICES DE REFRACCIÓN.

291. **Refracción de la luz: sus leyes.**—Los rayos luminosos cuando llegan á incidir sobre la superficie de un cuerpo diáfano, no solamente producen el fenómeno de la reflexión, sino que le atraviesan al mismo, cambiando de dirección y dando lugar de este

(a) Geométricamente estas igualdades no son ciertas, pero en el caso presente se aproximan tanto á serlo, que el error cometido es despreciable.



modo al fenómeno de *refracción*. Cuanto menor sea el ángulo que forme el rayo incidente con la superficie del cuerpo, tanto mayor espacio tendrá que recorrer en el interior del cuerpo, lo cual obligará á establecer un retraso en la vibración etérea, y esta es precisamente la explicación que da la teoría moderna á este fenómeno.

Dos son las leyes á las cuales se halla sometido el fenómeno de la refracción: 1.<sup>a</sup> *Si un rayo luminoso pasa de un medio menos denso á otro más denso, se aproxima á la normal levantada en el punto de incidencia y, por el contrario, se separa de dicha normal en el caso opuesto.* 2.<sup>a</sup> *El seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción se hallan en una relación constante.*

Se comprueban experimentalmente estas leyes, haciendo uso de un aparato que se utiliza también para las leyes de la reflexión. Se halla formado por una gran rueda de madera dividida en cuatro cuadrantes de 90 grados cada uno y en el centro se halla colocado un vaso de cristal semicilíndrico que hace el oficio de cuerpo diáfano: dos reglas colocadas en la dirección de los radios sostienen en sus extremos respectivamente un portaluz que dirige á dicho vaso un rayo luminoso y el otro una pantalla que determina la dirección del rayo refractado.

292. **Prismas ópticos: estudio de la refracción en los mismos.**—Todos aquellos cuerpos ó medios diáfanos, limitados por superficies planas, reciben el nombre de *prismas ópticos*; pero muy particularmente los formados por prismas triangulares geométricos de cristal. Los objetos luminosos vistos á través de los prismas aparecen notablemente desviados de la posición que ocupan al representar su imagen por la prolongación de los rayos refractados. Esta desviación es dependiente de la materia que forman los medios refringentes y del ángulo comprendido por las caras del cuerpo, como se comprueba respectivamente por el poliprisma y el prisma de ángulo variable. Del mismo modo, cuando la refracción se efectúa á través de prismas que presenten caras paralelas, los rayos luminosos é incidentes toman una dirección paralela con respecto á los refractados, después de atravesar el medio diáfano.

293. **Índice de refracción: su determinación.**—El índice de refracción no es otra cosa sinó la relación que existe en los valores numéricos de los senos de los ángulos de incidencia y de refracción, de tal modo, que se puede considerar aquella en los cuerpos, á quienes se refiere, como un carácter distintivo.

El índice de refracción en los cuerpos sólidos se determina dándoles la forma de prismas triangulares, midiendo el ángulo de emergencia y el denominado de mínima desviación en el supuesto de que esta toma valores diferentes en un mismo medio refringente. La determinación de estos ángulos se consigue haciendo uso de *goniómetros*, sustituyendo después los valores hallados en la fórmula

$$n = \frac{\text{sen} \left( \frac{A+d}{2} \right)}{\text{sen} \frac{A}{2}}.$$

Biot aplicó este procedimiento para los cuerpos líquidos

utilizando cavidades cilíndricas convenientemente dispuestas en prismas de cris-

tal. Por último Arago para los gases, hizo uso de un tubo de cristal cerrado por sus bases con láminas de cristal inclinadas 143 grados y dispuesto de modo que pueda establecer su comunicación con la máquina neumática.

294. **Ángulo límite: reflexión total.** En el fenómeno general de la refracción se observa una particularidad; efectivamente, cuando un rayo luminoso pasa de un medio á otro menos refringente, puede resultar un valor de  $90^\circ$  para el ángulo de refracción, que toma por esta razón el nombre de *ángulo límite*, y en este caso, al propagarse dicho rayo en el mismo medio, se refleja interiormente en el medio diáfano, formando la *reflexión total*.

## LECCIÓN 71.

### REFRACCIÓN EN LOS LENTES.

295. **Lentes: sus elementos.**—Los cuerpos diáfanos cuando se hallan limitados por superficies curvas, ó por estas y planas reciben el nombre de *lentes*.—Estos siempre proceden de secciones de cuerpos diáfanos esféricos convenientemente dispuestos.

En ellos hay que estudiar análogos elementos que en los espejos. *Centros de curvatura* que representan los puntos situados en el espacio equidistantes de todos los de la superficie esférica, pudiendo estos centros ser en número de dos cuando las superficies curvas que forman los lentes sean dos también: *centro óptico*, á semejanza del centro de figura de los espejos, está representado por un punto colocado en el interior del lente y que se corresponde con el punto central geométrico: *eje principal* es aquella recta que pasa por el centro óptico y el de curvatura: eje secundario es el que simplemente pasa por el centro óptico: por último, la *sección principal* se halla representada por la superficie á que da lugar el lente al ser cortado por un plano que pasa por el centro óptico, siendo al propio tiempo perpendicular al eje principal.

296. **Lentes convergentes y divergentes.**—Los lentes toman el calificativo de *convergentes* cuando dirigen los rayos luminosos que atraviesan por su masa hacia un punto del espacio, y también el de *divergentes* en el caso contrario, es decir, aquellos rayos atraviesan los espacios después de haber pasado los lentes tomando direcciones opuestas, de tal modo que prolongados en el sentido de su propagación no se encuentran.

Los lentes convergentes son de tres clases: *plano-convexos*, formados por una superficie plana y otra convexa; *bi-convexos* por dos superficies convexas cuyos centros geométricos se hallan en espacios opuestos y *menisco convergente* por dos superficies curvas cuyos centros se hallan en un mismo espacio, pero sus radios de curvatura son diferentes. En todos estos la sección principal presenta mayor extensión en la parte central que en los bordes.—Los lentes divergentes son de tres clases también, *plano-cóncavos*, *bi-cóncavos* y *menisco divergentes* de tal modo dispuestos que la sección en su parte central ofrece menor extensión que en los bordes.

297. **Focos en los lentes convergentes y divergentes.**—La dirección que toman los rayos luminosos, después de atravesar los lentes convergentes, da lugar á los focos que tienen el mismo carácter que los de los espejos cóncavos, es decir, que se hallan

representados por el foco real, el conjugado y el virtual, según que la distancia de separación del punto luminoso y el lente sea respectivamente ó infinita, mayor ó menor que el radio de curvatura. Experimentalmente se manifiestan también del mismo modo que en los espejos cóncavos.

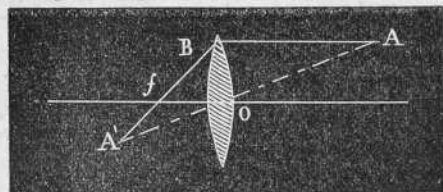
Los rayos luminosos procedentes de un punto situado á una distancia finita ó infinita, después de refractados en cualquiera de las tres clases de lentes divergentes toman direcciones opuestas de tal modo que no pueden cortarse en el sentido de su propagación, y por lo tanto el foco producido es virtual.

298. **Imágenes en los lentes convergentes y divergentes.**—Las imágenes en los lentes convergentes y divergentes son de dos clases, *reales* y *virtuales*. Las primeras son las representantes de los focos conjugados, se presentan más pequeñas que el objeto de donde proceden y se hallan invertidas. Las segundas, por el contrario, son directas y amplificadas: los cuerpos para producir las primeras están colocados á una distancia mayor que la focal y para las segundas á una distancia menor.

Las imágenes de los lentes divergentes son virtuales, pues siempre son el resultado de focos de este mismo nombre, aparecen más pequeñas que el objeto y son directas.

Tanto en unos como en otros, se pueden dar á conocer las imágenes experimentalmente operando del mismo modo que en los espejos curvos y también por construcciones geométricas sencillas.

299. **Fórmulas de los lentes.**—Los lentes, lo mismo que los espejos pueden representar con una expresión literal la relación entre las distancias focal y la de un punto luminoso para de este modo resolver cuantos problemas de óptica se refieran con estas cuestiones. Establezcamos los siguientes convenios.



$AB$  } siendo el ángulo  
 $A O$  } de  $A$  de poco número de grados.  
 $of = f$ .

$A' B'$  } siendo el ángulo  
 $A' O$  } en  $A'$  de poco número de grados.  
 (Véase la nota anterior.)

Los triángulos  $AA'B$  y  $A'Of$  son semejantes de modo que pueden presentar la siguiente proporción relacionando sus lados homólogos  $\frac{AA'}{AB} = \frac{OA'}{of}$  (1) pero  $AA' = AO + OA' = p + p'$  luego sus-

tituyendo este valor y los del convenio establecido tomará la ecuación (1) la forma  $\frac{p+p'}{AB} = \frac{p'}{f}$   
 ó también  $\frac{p}{p} + \frac{p'}{p} = \frac{p'}{f}$  la cual dividiendo todos sus términos por  $p'$   $\frac{p}{pp'} + \frac{p'}{pp'} = \frac{p'}{f p'}$

y suprimiendo factores comunes  $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$  cuya fórmula corresponde á los lentes bi-convexas. En los lentes bi-cóncavos  $p'$  y  $p$  conservan el mismo signo; pero  $p$  afecta signo contrario de modo que su fórmula se deducirá fácilmente de la anterior y estará representada por

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

En estas fórmulas lo mismo que en las de los espejos, la circunstancia de partir de cantidades que se consideran como iguales, no siéndolo geométricamente, hace que no sean matemáticamente ciertos los resultados alcanzados, pero el error que se comete es inapreciable en la mayoría de los casos.

## CAPITULO V.

*Dispersión de la luz.*

## LECCIÓN 72.

## DISPERSIÓN Y RECOMPOSICIÓN DE LA LUZ.

300. **Descomposición de la luz del sol y espectro solar.**— Todo rayo luminoso al penetrar por un orificio de pequeñas dimensiones en el interior de la cámara oscura después de atravesar un prisma diáfano, además de refractarse, según las leyes generales, se divide en otros siete rayos que podemos denominar elementales dotados de coloraciones distintas, dando lugar al fenómeno conocido con los nombres de *dispersión*, *descomposición*, y *análisis prismático* de la luz. Recibiendo en una pantalla blanca el cono que producen los citados rayos elementales, aparece la imágen del foco luminoso, como pueda ser el sol, en forma oblonga y teñida con los colores rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violado, dando lugar al *espectro solar*.

301 **Explicación teórica de este fenómeno.**—La teoría moderna explica este fenómeno admitiendo los retrasos que deben experimentar en el acto de la vibración, las moléculas etéreas, atendiendo á los diferentes espacios que recorren á consecuencia de la inclinación que tienen las caras emergentes del prisma analizador. Estos retrasos serán causa de la diferente rapidez que en el acto de la salida del prisma tendrán dichos elementos, y así como el oído admite, por el diferente número de vibraciones, las siete notas fundamentales de otros tantos sonidos, así también la vista se impresiona desigualmente con cada uno de los siete colores que producen el espectro.

Una prueba de esta verdad son los resultados siguientes alcanzados por los físicos mas notables de nuestros tiempos:

| COLORES.            | ESPESOR DE LA ONDA EN MILÍMETROS. | VIBRACIONES EN UN SEGUNDO. |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Violado. . . . .    | 0,000000406                       | 734.000000000000           |
| Añil. . . . .       | 0,000000434                       | 685.000000000000           |
| Azul. . . . .       | 0,000000450                       | 663.000000000000           |
| Verde. . . . .      | 0,000000530                       | 581.000000000000           |
| Amarillo. . . . .   | 0,000000551                       | 544.000000000000           |
| Anaranjado. . . . . | 0,000000570                       | 540.000000000000           |
| Rojo. . . . .       | 0,000000645                       | 477.000000000000           |

302. Los colores de la luz dispersada son simples y desigualmente refrangibles.—La división del rayo analizado en el prisma ha servido de punto de partida para comprobar la simplicidad de cada uno de los denominados *rayos elementales*, haciendo uso de un procedimiento bien sencillo: si en un punto cualquiera del espectro solar proyectado en una pantalla se realiza un orificio, el rayo que produce la coloración en el espacio á donde se halla el orificio se propagará por la parte posterior de la pantalla, y, recibéndole sobre un segundo prisma, se observará que permanece en su coloración primitiva sin experimentar otra nueva descomposición.

Los valores de los ángulos que forman los rayos elementales al salir del prisma, nos representan cantidades variables, de donde se deduce que dichos rayos son desigualmente refrangibles. Esto se manifiesta pegando sobre un cartón negro dos tiras de papel, una roja y la otra violada, las cuales aparecen desviadas de su posición, mucho más la primera que la segunda, cuando las examinamos á través de un prisma diáfano.

303. **Recomposición de la luz: experimentos demostrativos.**—Los rayos elementales aislados por el análisis prismático pueden reunirse nuevamente formando la luz blanca de las mismas condiciones que tenía antes de atravesar el medio diáfano. Varios experimentos sirven de comprobación de este fenómeno. 1.º Recibiendo cada color del espectro en un pequeño espejo plano movable en todas direcciones con el fin de yustaponer las siete imágenes coloreadas del sol en un punto en donde aparezca la imagen blanca: 2.º Haciendo incidir el cono divergente sobre la superficie de un espejo cóncavo, ó un lente convergente, para representar el foco formado por uno ú otro sobre una pantalla de vidrio deslustrado: 3.º Observando el color blanco que adquiere una rueda dotada de un rápido movimiento de rotación cuando una de sus superficies se halla iluminada en varios sectores con los colores espectrales: y 4.º Recibiendo los rayos elementales sobre un prisma dispuesto á una pequeña distancia del analizador, pero de modo que ambos tengan colocados en posiciones inversas los respectivos ángulos diedros de emergencia.

304. Los colores de los cuerpos, según W. Stein.—Según W. Stein la vista humana nunca ve los átomos aislados y solo percibe las agrupaciones que los mismos producen: estas agrupaciones forman las moléculas ópticas. Cuando un cuerpo tiene sus átomos distantes, como sucede en la mayoría de los gases, no da lugar á la formación de moléculas ópticas y entonces es invisible. Los átomos reunidos vibran dando lugar á ondas de valores distintos, de ondulaciones susceptibles de combinarse con otros grupos, cuyas ondulaciones se relacionan con las anteriores y esto

engendra una impresión también distinta en nuestra retina que dá origen al color en el cuerpo, ó parte del cuerpo, causa del efecto observado.

## LECCIÓN 73.

### ESPECTRO Y ANÁLISIS ESPECTRAL.

305. **Estudio especial del espectro solar.**—El examen detenido de los rayos elementales, procedentes del análisis prismático de la luz del sol, ha dado lugar al conocimiento de los diferentes poderes luminosos, caloríficos y químicos que cada uno de ellos presenta. Los primeros se revelan á primera vista, sin más que colocar en el espectro una hoja de papel impreso ó manuscrito, apareciendo, á igualdad de distancia, mucho más iluminada la parte que ocupa la franja amarilla, que la morada.

Los estudios realizados por Draper, haciendo pasar una corriente eléctrica por un alambre de platino, para de este modo convertirle en un foco luminoso capaz de representar los diferentes colores del espectro despues de ser refractados por un prisma, vienen á poner de manifiesto este diferente poder luminoso. Las observaciones verificadas en cada uno de los rayos luminosos por medio de el termómetro diferencial de Leslie y del aparato Melloni han venido también á comprobar el diferente poder calorífico. La acción que ejercen los rayos del espectro sobre los diferentes cuerpos, dando lugar á fenómenos de composición y descomposición ha servido como punto de partida para conocer las denominadas *propiedades químicas* de los diferentes rayos, los cuales según Becquerel reciben los calificativos de *continuadores* y *fosforogénicos*; los primeros llamados así porque, si bien es cierto no intervienen por sí solos en las acciones químicas, tienen sin embargo, la propiedad de continuarlas, y los segundos comunican la propiedad de la fosforescencia á ciertos cuerpos, como sucede con el sulfuro de bário, que aparece luminoso en la oscuridad cuando ha estado expuesto á la acción de ciertos rayos.

306. **Rayas de Fraunhofer: análisis espectral.**—Produciendo el espectro solar en ciertas condiciones, se observa la particularidad de no presentarse continuo en las franjas coloreadas, sinó cortado en diferentes sitios por espacios privados de luz, en número variable, los cuales descubiertos por Fraunhofer, fueron conocidos con el nombre de *rayas*. Estas al principio se hallaban reducidas á un pequeño número, pero después han aumentado considerablemente, hasta el punto de contarse hoy más de 3.000. Presentan la particularidad, no sólo de ocupar posiciones constantes é invariables en el espectro solar, sinó también en los diferentes cuerpos luminosos naturales ó artificiales.

Esta última circunstancia, estudiada con el detalle que merece, ha servido de base para el denominado *análisis espectral*, que permite conocer por la disposición y número de las rayas espectrales

la naturaleza de los cuerpos luminosos que las producen. De este modo, no sólo se han podido descubrir nuevos cuerpos simples, sino averiguar la composición de los astros.

Cada cuerpo simple, convertido en foco luminoso, dá lugar á un espectro especial, caracterizado por una banda más brillante fija en un sitio invariable y de color propio; así sabemos que la del sódio es amarilla, el céσιο tiene dos azules, el tálio una verde y así en los demás casos.

307. **Espectroscopio de Kirchhoff modificado por Duboscq.**—El aparato empleado en esta clase de investigaciones recibe el nombre de *espectroscopio*, el cual se halla formado por un prisma diáfano, situado entre tres tubos que convergen sus ejes en el centro del mismo prisma. Uno de ellos hace el oficio de ante-ojo, el otro de directriz de los rayos luminosos que produce el foco que se analiza y el tercero proyecta fuertemente iluminada la imagen de un cristal deslustrado dividido en partes iguales, llamado *micrómetro* que, al yustaponerse aquella en el espectro formado, permite determinar las distancias que ocupan las rayas. El todo de este aparato se halla montado sobre una sólida columna de metal y los cuerpos empleados en el experimento pueden someterse á la incandescencia por medio de lámparas de gas convenientemente dispuestas. El espectroscopio que se utiliza en las observaciones astronómicas, vá acompañado de cuantos órganos se hacen necesarios en el estudio detenido de tan importante cuestión.

308. **Aberración de refrangibilidad: acromatismo.**—Las imágenes de los cuerpos vistos á través de medios diáfanos, como puedan ser los prismas y las lentes, aparecen irisados los contornos con los colores del espectro, cuyo fenómeno, dependiente de la descomposición de la luz, recibe el nombre de *aberración de refrangibilidad*. Como en ciertas ocasiones este fenómeno, altera las condiciones de la imagen observada, puede desaparecer, sin más que yustaponer á los cuerpos diáfanos otros que cambien la dirección de los rayos refractados, tal sucede en la combinación de prismas formados por sustancias desigualmente refrangibles y de ángulo refringente variable, ó también lentes de diferente naturaleza ó de curvaturas diversas, dando lugar á los medios acromáticos que impiden el fenómeno de la aberración. Se conoce, por lo tanto, con el nombre de *acromatismo* el fenómeno de la refracción de la luz sin descomposición.

## CAPITULO VI.

*Fenómenos ópticos especiales.*

## LECCIÓN 74.

## DOBLE REFRACCIÓN, DIFRACCIÓN, INTERFERENCIAS.

309. Doble refracción: sus leyes.—Ciertos cuerpos diáfanos ofrecen la particularidad de presentar dobles las imágenes de los objetos vistos á su través en ciertas direcciones, dando lugar al fenómeno de la *doble refracción*. Reciben los nombres de *rayo ordinario* y *extraordinario* los que sirven para explicar por su dirección las condiciones de las dos imágenes producidas. En estos cristales se llama *eje* aquella línea que indica la dirección por donde se manifiesta la refracción sencilla y según Brewster coincide con el eje de cristalización.

Estos cuerpos diáfanos pueden ser de uno ó de dos ejes.

Todo plano que pase por el eje óptico y además sea perpendicular á una cara del cristal determina la llamada *sección principal*.

Las leyes de la doble refracción son las siguientes: 1.<sup>a</sup> *El rayo ordinario, sea cualquiera el ángulo que forme con el plano de incidencia, sigue siempre las leyes generales de la refracción sencilla.* 2.<sup>a</sup> *En toda sección perpendicular al eje, el rayo extraordinario sigue también estas dos leyes como el ordinario, pero su índice de refracción no es el mismo que el de este último rayo.* 3.<sup>a</sup> *En toda sección principal no sigue el rayo extraordinario más que la segunda ley de la refracción.* Estas son las principales leyes referidas á cristales de un eje, pues las que se refieren á cristales de dos ejes pueden formularse en el siguiente principio: *en toda sección perpendicular á la línea media, uno de los rayos refractados sigue las leyes generales de la refracción sencilla, y en toda sección perpendicular á la línea supletoria sigue el otro las citadas leyes.* Entiéndese en esta ley por *línea media* la bisectriz del ángulo formado por los ejes, y por *línea supletoria* la bisectriz del ángulo suplementario al de los ejes.

La doble refracción se explica en la teoría moderna, admitiendo la diferente condensación del éter á consecuencia de la especial agrupación de las partículas materiales en el acto de cristalizar.

310. Difracción y franjas.—Se dá el nombre de *difracción* el efecto observado en los rayos luminosos al pasar por el contorno de un cuerpo, ó por pequeñas aberturas, de tal modo que parece que sufren un cambio de dirección. Puede observarse este fenómeno, haciendo penetrar en la cámara oscura un haz luminoso por una abertura cubierta con un vidrio rojo, que se refracte en un lente para provocar una dirección divergente, y después de formar en el espacio el correspondiente foco, cortando el cono



de la luz formado con una pantalla opaca de borde delgado. De este modo se observará en otra segunda pantalla, colocada á la conveniente distancia, la producción de una série de franjas oscuras y luminosas que se debilitan gradualmente formadas algunas de ellas en el espacio ocupado por la penumbra.

311. *Interferencias.*—Con este nombre se designan los efectos producidos por la intersección de rayos luminosos, procedentes de un mismo foco y que llevan direcciones determinadas por ángulos de muy poco número de grados.

Puede observarse este fenómeno haciendo pasar al interior de la cámara oscura un haz luminoso á través de un cristal rojo y recibido después en un lente semicilíndrico de foco corto y capaz de dirigir los rayos luminosos en forma de cono divergente, con el fin de que puedan cortarse entre sí, después de ser reflejados en dos espejos unidos formando un ángulo diedro muy obtuso.

Tanto este fenómeno como el anterior se explican por el choque mútuo de los rayos que modifica en el momento de producirse la rapidez de la vibración etérea.

312. *Colores de láminas ténues y fenómeno de resalto.*—Los cuerpos diáfanos, sea cualquiera el estado en que se presenten, estando dispuestos en láminas delgadas, aparecen coloreados con matices muy vivos, particularmente cuando son vistos por reflexión.

Comprimiendo un disco plano de cristal contra un lente convergente pudo examinar Newton los anillos coloreados, deduciendo leyes muy importantes. Pueden apreciarse también insuflando por medio de un tubo dentro de un globo de cristal la disolución de jabón hasta formar la burbuja.

El fenómeno de resalto se manifiesta por apariciones espectrales, al observar el paso de los rayos luminosos á través de espacios longitudinales muy estrechos, diáfanos y opacos alternativamente, como sucede en el cristal rayado por el diamante en *centésimas de milímetro*.

Estos fenómenos se explican por las *interferencias*, de las cuales se pueden considerar como un caso particular.

## LECCIÓN 75.

### FENÓMENO DE LA POLARIZACIÓN.

313. *Polarización por reflexión y por simple y doble refracción.*—Los rayos luminosos una vez reflejados ó refractados no vuelven á efectuar estos mismos cambios de dirección, cuando inciden en ciertas condiciones sobre la superficie de los cuerpos, dando lugar á los fenómenos conocidos con el nombre de *polarización por reflexión y refracción*. Del mismo modo los cristales birefringentes no dan lugar á la formación de la imagen extraordinaria ó la ordinaria, cuando se interpone una lámina de turmalina, cuyo fenómeno se designa con el calificativo de *polarización por doble refracción*.

Estos fenómenos se explican por la teoría moderna, admitiendo un valor límite en la rapidez de las vibraciones etéreas y en la especial disposición de la materia cósmica.

314. **Ángulo y plano de polarización: ley de Brewster.**—Se llama *ángulo de polarización* en una sustancia, el formado por el rayo incidente en aquella posición en que se polariza y la superficie del cuerpo, y *plano de polarización* el correspondiente á la reflexión en el cual se polariza la luz.

Brewster ha deducido que *el ángulo de polarización es el de incidencia, para el cual el rayo reflejado es perpendicular al refractado*. En esta ley no se hallan comprendidos los cristales birrefringentes.

315. **Diferentes sistemas de polariscopios.**—Los *polariscopios* son todos aquellos aparatos que sirven para apreciar la polarización de la luz y determinar el plano de polarización. Los polariscopios ó analizadores usados frecuentemente en la ciencia, son los siguientes: 1.º El *espejo negro*. 2.º La *turmalina parda* tallada paralelamente á su eje de cristalización. 3.º El *prisma birrefringente* formado con el espato de Islandia. 4.º El *prisma de Nicol*, ó sea un romboedro de espato islándico cortado por un plano perpendicular al que determinan las diagonales mayores de las bases; y 5.º El *polariscopio de Noremborg*. Este último aparato le forma una peana con un espejo plano en la cara superior que está provista de dos columnas que sostienen un disco con una abertura cuadrangular giratoria y un espejo negro con la inclinación 35º; sostienen también estas columnas un diafragma horizontal y una lámina de cristal que puede girar en un plano vertical.

316. **Polarización rotatoria: leyes de Biot.**—Toma este nombre la desviación observada á la izquierda ó la derecha de un rayo de luz polarizada que atraviesa una lámina de cuarzo tallada perpendicularmente al eje de cristalización, en el cual continúa polarizado. Las sustancias sobre las cuales se observa este fenómeno, es preciso hacerlas girar en un sentido ó en otro, por cuya razón reciben los calificativos de *levógiras* y *destrógiras*, citándose entre aquellas la esencia de trementina y la goma arábica, y entre estas el azúcar de caña y la disolución alcohólica de alcanfor.

Biot dió á conocer las siguientes leyes referentes á la polarización rotatoria: 1.ª La rotación del plano de polarización no es la misma para los diversos colores simples, sinó que es tanto mayor, cuanto más refrangibles son estos colores. 2.ª En un mismo color simple y en láminas de un mismo cristal la rotación es proporcional al espesor.

317. **Aplicaciones importantes.**—Se han construido polariscopios especiales para observar este fenómeno en los líquidos, cada uno de los cuales presenta un valor constante en el ángulo de polarización, lo cual permite utilizar estos instrumentos como verdaderos objetos de análisis químico. Entre estos instrumentos se cita el sacarímetro de Seleil, utilizable en la determinación de

la cantidad de azúcar que contiene la orina en la enfermedad conocida en Medicina con el nombre de *diabetes sacarina*.

318. **Coloraciones de luz polarizada.**—En el examen de los rayos luminosos polarizados que atraviesan cristales birefringentes se observa la formación de anillos ó bandas coloreadas y oscuras que dan lugar al fenómeno conocido con el nombre de *polarización cromática*. Estos verdaderos espectros pueden estudiarse fácilmente con las pirzas de turmalina, que no son otra cosa más sinó dos placas montadas en un alambre de cobre, entre las cuales se puede colocar el cristal birefringente.

## CAPITULO VII.

### *Aplicaciones ópticas.*

#### LECCIÓN 76.

##### APARATOS DE PROYECCIÓN.

319. **Porta-luz; reflectores; faros.**—En muchos experimentos de Física es preciso dirigir por el interior de la cámara oscura haces de luz solar, sea cualquiera la inclinación del sol y esto se consigue fácilmente con el porta-luz. Dicho instrumento le forma un diafragma que puede fijarse en la ventanilla de la cámara oscura provisto al exterior de un espejo plano montado en un mecanismo que le permite girar vertical y horizontalmente: al orificio del diafragma se acomoda un tubo que penetra en la cámara. Variando la inclinación del espejo plano se consigue reflejar los rayos del sol hasta que tengan la dirección conveniente.

Los espejos cóncavos, cuando tienen á muy pequeña distancia de su superficie un foco de luz, reflejan los rayos de este en una dirección determinada, lo cual es muy conveniente, siempre que deseamos iluminar espacios en largos trayectos; en este principio estriba la construcción de los reflectores.

Los faros son focos luminosos, situados en los puertos, que radian luces especiales que sirven de señales á las embarcaciones durante la noche; en estos se utiliza el poder dispersivo de los lentes convergentes, cuando están próximos á puntos luminosos y, para que la radiación se produzca en buenas condiciones, se hace uso de los llamados *lentes de escalones*; en la mayoría de los faros el aceite en combustión es la materia empleada, si bien hoy principia á usarse con muy buenos resultados la luz eléctrica.

320. **Cámara oscura: fotografía.**—La primitiva *cámara oscura* debida al físico Porta se hallaba formada por una caja rectangular dispuesta en corredera para aumentar ó disminuir su longitud: en una de sus caras llevaba un orificio, en la cual podía fijarse un lente bi-convexo y en la pared opuesta á este orificio un espejo

plano dispuesto con una inclinación de 45°; por último, sobre este espejo y en la cara superior de la caja un cristal deslustrado que hacía el oficio de pantalla. Todo objeto vivamente iluminado situado en frente del lente, hace que sus rayos se refracten y, antes de formar la imagen correspondiente, son reflejados en el espejo para formar ésta sobre el cristal deslustrado: basta colocar encima de esta pantalla una hoja de papel trasluciente para que en él aparezca la imagen de tal modo, que con un lápiz se puede marcar sus diversos detalles.

La más interesante aplicación que ha podido deducirse de la cámara oscura, ha sido, á no dudar, la *Fotografía*, arte que permite fijar en la pantalla las imágenes de cuerpos, utilizando los procedimientos químicos. La cámara oscura fotográfica difiere algun tanto de la que acabamos de describir; está formada también por una caja de madera dispuesta en corredera, provista del correspondiente lente con montura micrométrica, y en la pared opuesta á la ocupada por este, se halla fija la pantalla de cristal deslustrado; todo el aparato puede colocarse en un tripode de madera, que permita dar las posiciones convenientes. La obtención de retratos comprende varias operaciones en cada una de las dos partes que abraza, y son las siguientes: *Obtención de la prueba negativa* sobre una lámina de cristal, es decir, de una imagen que tenga las tintas invertidas, ó lo que es lo mismo, en donde aparezcan oscuras las partes claras del objeto y vice-versa. La primera operación que comprende, es la colocación de la cámara delante del cuerpo que se trata de representar, de modo que aparezca la imagen en la pantalla con la mayor pureza posible; hecho esto, se prepara una lámina de cristal limpia perfectamente con alcohol, extendiendo por una de sus superficies una capa de colodion, preparación química especial formada por el éter, el algodón pólvora y bromuro, amónico; una vez seca esta capa, se sumerge en un baño formado por 100 partes de agua y 10 de nitrato de plata. En la actualidad se preparan en gran escala placas de cristal con gelatina bromurada y sensibilizada por el nitrato de plata que, al propio tiempo que permite obtener las pruebas instantáneamente dispensan estas dos manipulaciones. Efectuadas estas operaciones, se sustituye el cristal raspado por la otra lámina preparada y se deja expuesta el tiempo aconsejado por la práctica para, inmediatamente, proceder á la revelación de la imagen, sumergiendo el cristal en un baño formado por 25 partes de sulfato de hierro, 35 de ácido acético, 50 de alcohol y 500 de agua; al cabo de cierto tiempo, aparece la imagen, procediendo después á fijarla, sumergiendola nuevamente en otro baño formado por el cianuro potásico y el agua destilada, perfeccionando todas estas operaciones con repetidos lavados que completan la obtención de la denominada prueba negativa. La *formación de la prueba positiva* sobre el papel, es decir, el verdadero retrato, se efectúa preparando una hoja de papel en el baño sensibilizador, y después de hallarse completamente seco, se yustapone á la prueba negativa de cristal, utilizando un marco de madera, formando una prensa y exponiendo todo á la acción directa de los rayos solares; estos ennegrecen la parte de papel que se halla enfrente de las partes claras que, en la negativa, formaban las oscuras; hecho esto, se somete la prueba positiva al lavado, así como al de virado con el empleo del cloruro de oro, y más tarde se fija en una cartulina, recubriéndole finalmente con el barniz conservador.—La práctica de este arte exige, además, el cumplimiento de reglas especiales y otra série de operaciones que no corresponde dar á conocer en estas generalidades, y que todas tienen el objeto de perfeccionar este utilísimo invento en los variados casos á que se aplica.

321. *Aplicaciones de la Fotografía.*—Muy importantes y numerosas son estas, pudiéndose considerar divididas en los grupos siguientes: 1.º *Aplicaciones artísticas*, para la obtención de retra-

tos, monumentos, paisajes, etc. 2.º *Aplicaciones científicas*, las cuales permiten, previas ciertas modificaciones introducidas en telescopios y microscopios, obtener dibujos interesantísimos de los estudios que corresponden al astrónomo ó al naturalista, presentando en todos sus detalles fenómenos que pasan desapercibidos, por las circunstancias especiales de su producción, y sirviendo de poderoso medio de ilustración popular. 3.º *Aplicaciones industriales*; estas se refieren á la combinación de la Fotografía con la tipografía, litografía, ó el arte del grabador, dando lugar á la Fototipia, Heliografía, Fotozincografía, Fotograbado, etc., con las cuales se consigue toda clase de reproducciones de grabados, dibujos, etc., dispensando el enojoso trabajo del dibujante y el grabador y, en general, dar á las pruebas fotográficas las condiciones de las tiradas de imprenta ó de litografía.

322. *Linterna mágica: fantasmagoría*.—Otro de los instrumentos ópticos conocidos es el llamado *Linterna mágica*, que, como su mismo nombre lo indica, es una linterna de hoja de latu ó metal, de forma variable, que tiene en su centro una lámpara provista del correspondiente reflector; lleva además un orificio, al cual se acomoda un tubo provisto en cada una de sus extremidades de un lente convergente, plano-convexo el situado delante del foco de luz y biconvexo en el extremo opuesto. Basta colocar entre el lente plano-convexo y la lámpara una lámina de cristal, que tenga pintadas en su superficie pequeñas figuras, empleando colores bien transparentes, para que puedan proyectarse notablemente aumentadas las imágenes en una pantalla formada por un gran lienzo blanco.

La linterna construida en condiciones de precisión y con el empleo de buenos juegos de lentes, utilizando además, como foco de iluminación, la lámpara Carcell, el gas del alumbrado, gas oxihídrico ó también la luz eléctrica forman los llamados *aparatos de proyección*, que tan útiles son en la enseñanza ilustrada y en muchos experimentos de Física.

Puede sacarse mucho partido de este instrumento, dotándole de todos aquellos órganos accesorios, que tengan por objeto poner en movimiento las figuras, formando la llamada *fantasmagoría*, de gran aplicación en la física recreativa.

## LECCIÓN 77.

### MICROSCOPIOS.

323. *Microscopio solar y foto-eléctrico*.—La linterna mágica ha servido de fundamento para la construcción de estos instrumentos ópticos; el *microscopio solar* y el *foto-eléctrico*, en los cuales se halla sustituida la lámpara de aceite por la luz solar y eléctrica respectivamente. El primero de dichos instrumentos está formado por un espejo plano montado en una armadura metálica

dispuesta de un modo tal que puede girar en todos sentidos para que, hallándose fijo en la cámara oscura se dirijan convenientemente los rayos luminosos del sol por un tubo metálico provisto de dos lentes, uno de ellos de pequeño radio, y reunidos en un foco en el cual se halla colocado un objeto pequeño situado á una distancia menor que la focal de otro tercer lente. Este da lugar á una imagen notablemente amplificada é invertida que puede recibirse en una pantalla blanca situada verticalmente á una distancia tanto mayor cuanto más amplificada se desee aquella.

En el microscopio foto-eléctrico se halla sustituido el portaluz del anterior microscopio por una linterna, en cuyo centro están colocados los trozos de carbón que puestos en comunicación con una poderosa pila dan lugar á luz eléctrica que ilumina el objeto que ha de proyectar su imagen amplificada lo mismo que el microscopio solar. En la actualidad se sustituyen ventajosamente las baterías por máquinas magneto ó dinamo eléctricas.

**324. Microscopio simple.**—Los lentes convergentes dan lugar á imágenes amplificadas y directas cuando los objetos se hallan más cerca del foco principal, de modo que es posible aprovechar esta propiedad para la construcción de los microscopios simples formados por un lente montado en su correspondiente armadura que permite todas las posiciones posibles para mayor comodidad del observador.

Los llamados anteojos del grabador, relojero, etc., son verdaderos microscopios simples.

**325. Microscopios compuestos de Amici y Nacet: microespectroscopio y microscopio fotográfico.**—La reunión de dos lentes dispuestos de un modo tal que la imagen producida por uno de ellos en presencia del otro sufra una nueva amplificación, ha dado lugar al llamado *microscopio compuesto*.—Un lente toma el nombre de *objetivo* y el otro el de *ocular* por la proximidad que tienen respectivamente con el objeto y el ojo del observador. Muchos son los sistemas de microscopios conocidos, entre ellos los más dignos de conocerse, son los dos siguientes:

*El microscopio de Amici* está formado por un tubo encorvado en ángulo recto en cuyo vértice se halla colocado un prisma refringente de sección rectangular y en cada una de las extremidades del mismo tubo se hallan dispuestos los lentes ocular y objetivo. Estos pueden separarse ó alejarse á voluntad.—El objeto que se trata de examinar se sitúa en una plataforma de diafragma iluminada por un espejito situado en la parte inferior: todo el aparato está montado en un sostén que da solidez al mismo y que permite al propio tiempo dotarle de los movimientos necesarios para el mejor examen de los objetos.

*El microscopio Nacet* tiene los lentes en los extremos de un tubo recto colocado verticalmente en un soporte especial fijo á su vez en un cilindro hueco que hace el oficio de base y cuyo eje se

corresponde con el del tubo: este cilindro tiene una abertura que permite paso á los rayos luminosos, los cuales, convenientemente dirigidos por un espejo situado en el interior, iluminan un diafragma que forma la base superior del cilindro en donde se coloca el objeto. El sostén se halla dispuesto de tal modo que puede el tubo tomar las posiciones que se deseen para enfocar el aparato con facilidad. El modelo denominado de *báscula* permite inclinar el tubo para hacer más cómoda la posición del observador.

Este microscopio puede tener dos tubos dirigidos á una misma plataforma, dando lugar al *bi-ocular* para examinar el objeto con los dos ojos, y también puede ser *múltiple* para que tres ó más personas examinen al mismo tiempo un objeto.— Tanto este microscopio como el anterior van acompañados de todos aquellos órganos necesarios para la perfección de los experimentos, así como para las preparaciones microscópicas, las cuales se disponen entre dos delgadas láminas de cristal. El espectroscopio puede estar unido al microscopio y con el auxilio de tan preciosos instrumentos suministrar á la ciencia importantísimos estudios.

El microscopio puede combinarse con la cámara oscura y entonces las imágenes que nos proporciona el primero de aquellos aparatos, quedan fotografiadas con toda pureza y riqueza de detalles. Llevan también los micrómetros que permiten apreciar el aumento de las imágenes con relación al objeto. También se puede conseguir por medio de la denominada cámara clara que es un prisma cuadrangular que se puede fijar en un punto muy próximo al objetivo y, dirigiendo la visual por un orificio que presenta el estuchito en donde está encerrado el prisma, se proyecta la imagen en un papel blanco colocado horizontalmente y allí se podrá seguir con la punta de un lapicero el contorno de la imagen, la cual mediante la comparación con una de las partes del milímetro del micrómetro dará el aumento pedido.

326. **Importancia de estos instrumentos.**—El hombre no puede ver ciertos detalles que ofrece la organización de los cuerpos y con los microscopios se resuelve esta cuestión, los tejidos de los seres orgánicos, la circulación de la sangre examinada por medio de la cola de un renacuajo, los glóbulos de la sangre, la cristalización de una sal disuelta en el agua, operando con una sola gota, los infusorios que viven en el vinagre, en el agua, etc.; todo puede examinarse detalladamente, prestando de este modo un auxilio á las Ciencias naturales en general y muy particularmente á la Química analítica, á la Fisiología y á la Medicina.

## LECCIÓN 78.

### ANTEOJOS Y TELESCOPIOS.

327. **Anteojos astronómicos: sistemas importantes.**—Los anteojos tienen por objeto la formación de imágenes amplificadas de objetos que, por la distancia á que se hallan situados de nosotros, á pesar de sus grandes dimensiones, se nos presentan de reducido tamaño. El que lleva el calificativo de *astronómico*, sirve para el examen de las imágenes de los cuerpos celestes y, en

general, se halla formado por tubos de metal, de dimensiones variables, provistos, en sus dos extremidades, de dos lentes convergentes; uno de ellos hace el oficio de *objetivo*, y recibe los rayos paralelos del astro para producir una imagen más pequeña é invertida que, situada á una distancia menor que la focal del otro lente denominado *ocular*, es amplificada convenientemente.

Este aparato posee además un sólido trípode de metal, que permite con un montaje especial dotar al anteojo de todos los movimientos que se requiere para adquirir la inclinación conveniente, al usarle en las observaciones astronómicas. En ocasiones se dá tales dimensiones á los anteojos, por el tamaño de lentes, que es preciso disponer soportes que reclaman una construcción especial.

328. *Círculo meridiano de Bischoffsheim*.—Entre los diferentes anteojos astronómicos dados á conocer, merece indicarse el denominado círculo meridiano instalado recientemente en el Observatorio astronómico de París, debido á la generosidad de Bischoffsheim, que ha sufragado los cuantiosos gastos que exige la construcción de un aparato tan perfecto y que tiene por objeto exclusivo el examen del paso de los astros por el meridiano, haciendo uso de todos los medios que posee la ciencia para realizar aquel estudio en las mejores condiciones de observación.

329. *Anteojo de Galileo ó gemelo de teatro y de marina: anteojo terrestre*.—El *Anteojo de Galileo*, llamado también *gemelo de teatro*, le forman dos lentes: uno de ellos convergente, que hace el oficio de objetivo, y el otro ocular divergente, colocado en los extremos de un tubo á una distancia tal, que la imagen invertida y más pequeña, que había de producir el objetivo, es amplificada y nuevamente invertida por el ocular, obligando á los rayos luminosos á tomar direcciones divergentes, antes de producir aquella primitiva imagen.

La forma que ordinariamente afecta este aparato, es propia para la visión biocular, montando los lentes en un tornillo micrométrico para la mejor adaptación á los ojos de los diferentes observadores.

La satisfacción de todas las condiciones que se refieren á la claridad de las imágenes, curvatura y bondad de los lentes, dá por resultado el anteojo de *marina* ó de *campana*, por cumplir todas las exigencias que indica su nombre.

El *anteojo terrestre* no es otra cosa que la combinación de dos anteojos astronómicos para conseguir, de este modo, la percepción directa de las imágenes de objetos situados á largas distancias en la superficie de la tierra. Con el objeto de hacer más cómodo el manejo de este instrumento, el tubo que le forma se dispone en varias partes de desigual diámetro y que pueden enchufar los unos dentro de los otros ocupando de este modo un reducido espacio que facilita el transporte.

330. *Telescopio de Gregory y Newton*.—Con los anteojos astronómicos antes citados se consigue el examen de los astros por verdadera refracción y también por medio de la reflexión, en cuyo caso toman el nombre de *telescopios*. Entre estos aparatos, podemos citar como fundamentales los de Gregory y Newton. El



telescopio de Gregory le forma un tubo de madera ó metal de grandes dimensiones, prismático ó cilíndrico, abierto por una de sus extremidades y cerrado por la otra con un espejo cóncavo taladrado por su centro, para acomodar en este punto un lente bi-convexo y otro segundo espejo cóncavo de menores dimensiones en frente del anterior y situado muy cerca de la extremidad opuesta. Los rayos luminosos del astro, que penetran por el tubo, son reflejados en el espejo del fondo, cruzándose convenientemente para sufrir despues una nueva reflexión en el segundo espejo, dando lugar á una imagen formada cerca del lente, que es el encargado de referirla al ojo convenientemente amplificada. El telescopio de Newton se diferencia del anterior en no tener mas espejo que el del fondo y este, á su vez, nõ se halla taladrado, de modo, que los rayos luminosos, que á él van á parar, producen la imagen del astro más pequeña, y esta, á su vez, dirige los rayos en sentido perpendicular al eje del espejo, y siendo refractados en un prisma de sección rectangular el conveniente lente bi-convexo, es el encargado de la amplificación.

331. **Indicación de los telescopios modernos.**—El fundamento de construcción de los telescopios modernos más perfeccionados puede decirse que no ha variado mucho de los que acabamos de indicar, diferenciándose primeramente en las grandes dimensiones con que se construyen, lo cual exige poderosos medios para facilitar los movimientos y, en segundo lugar, la perfección en estos mismos cambios de posición, si han de gozar de la conveniente exactitud, que se necesita, como condición indispensable, en los trabajos astronómicos. De este carácter son los telescopios Herschell, Foucault, Huyghens y Lord Rosse.

Este último exige una verdadera construcción de piedra, que sostiene todo el mecanismo necesario para los movimientos y balaustradas para la observación; el tubo mide 16 metros el espejo plateado un metro de diámetro; se halla instalado en el Observatorio de Parsonstown (Irlanda). El de Foucault, instalado en el observatorio de París, mide 7 metros.

También se construyen telescopios acompañados de aparatos fotográficos, que obtienen una reproducción fotográfica de los astros, como sucede con el del coronel Tennant. Por último, hoy se conocen también los tele-espectroscopios, entre los cuales figura el de Lockyer, para el examen de las protuberancias.

## LECCIÓN 79.

### EL OJO CONSIDERADO COMO INSTRUMENTO ÓPTICO.

332. **Ojo humano: su descripción.**—El ojo es el órgano destinado á ver los objetos: en el hombre es doble y su conocimiento descriptivo pertenece á las ciencias anatómicas; sin embargo, su mecanismo se puede explicar por las leyes de la luz, así es que no hay dificultad en considerarle como un instrumento de óptica.

El ojo se halla formado por elementos accidentales y esenciales, figurando entre los primeros las pestañas, párpados y cejas, que auxilian la función de la visión, y entre los segundos, el globo del ojo, así llamado por su forma, el cual está constituido por la reunión de varias membranas y humores: las membranas son la *córnea*, que forma la envoltura externa; la *esclerótica*, que se inserta en la anterior á manera de cristal de reloj y la envoltura interna yuxtapuesta á la *córnea* y que recibe el nombre de *coroidea*. Existe además un tabique denominado *iris* que divide el interior del ojo en dos cámaras, una anterior y otra posterior, presentando al propio tiempo un orificio en su centro que recibe el nombre de *pupila*. Los humores son tres de diferente refrangibilidad; el *acuoso* en la cámara anterior, el *vitreo* en la posterior y el *crystalino* que afecta la forma de un lente biconvexo situado detrás de la pupila. Por último, la *retina*, membrana situada en el interior, comprende la red nerviosa encargada de recibir las impresiones que han de comunicarse por el nervio óptico al cerebro.

333. **Visión: teoría física.**—Esta sencilla descripción revela desde luego la analogía que presenta el ojo con la *cámara oscura*, en donde el cristalino y la retina hacen respectivamente el oficio de lente y pantalla, de modo que la teoría de dicho instrumento se aplica perfectamente á este órgano en el acto de producirse la visión. Los rayos luminosos procedentes de los cuerpos se refractan en el cristalino, penetrando por él simplemente los recogidos por la pupila á manera de diafragma, para mas tarde dar lugar á una imagen invertida en el fondo de la retina.

Esta última condición, la apreciación de la distancia y el tamaño de los objetos, la facultad del ojo para acomodarse á todas distancias, la simplicidad de las dos imágenes, el tiempo que necesita la retina para impresionarse y el relieve de los cuerpos, son circunstancias que se producen en la visión y envuelven otros tantos problemas que á la fisiología corresponde resolver, en presencia de los datos que suministre la óptica.

Se construyen ciertos instrumentos que tienen por objeto explicar las referidas particularidades, muchos de ellos bastante conocidos, como sucede con el estereoscopio ideado por Brewster y de cuya descripción prescindimos por ser demasiado conocido: sirve para explicar el relieve de los objetos, el fanakisticopio de Plateau y el zoótropo, verdaderos aparatos de física recreativa sirven también para explicar el tiempo que necesita el ojo para impresionarse.

334. **Defectos principales del órgano de la vista.**—Entre las diferentes afecciones mas comunes que ofrece el órgano de la vista, figuran la miopia y el presbitismo, la diplopia y la acromatopsia. Depende la primera de estas afecciones de un exceso de convexidad de la *córnea* ó del cristalino, y de este modo la imagen se produce antes de llegar a la retina: el *presbitismo* es el defecto contrario, así es que la imagen se produce á una distancia mayor de las existentes entre la retina y el cristalino: la *diplopia* dá lugar á impresiones dobles por cada objeto, y la *acromatopsia* incapacita la impresión de ciertos colores.

335. **Gafas ó anteojos: fórmulas.**—Los miopes y los presbitas pueden remediar sus respectivos defectos con la aplicación de las gafas ó anteojos que no son otra cosa sinó lentes bi-cóncavos ó biconvexos montados en las correspondientes armaduras de formas variables y conocidas, para conseguir de este modo refracciones

de los rayos luminosos antes de llegar estos al cristalino y efectuar la coincidencia de la imagen en la retina. Como la miopía y el presbitismo se presenta en diferentes grados, es preciso disponer las gafas con diversos valores las curvaturas de los lentes en ellas empleados, los cuales forman los denominados *números*.

Las fórmulas  $f = \frac{p d}{p-d}$   $f = \frac{p d}{d-p}$  determinan el valor de dichos *números* para los miopes y presbitas: En ellas  $p$  representa la distancia á la cual la persona afecta percibe los objetos con claridad;  $d$  la distancia de la vista distinta, ó lo que es lo mismo, aquella á que deben hallarse situados los objetos para ser vistos con claridad que, para un órgano bien conformado se calcula ascienden á 11 pulgadas francesas. Dichas fórmulas se deducen fácilmente de la general de los lentes sustituyendo en ella  $d$  por  $p'$  y hallando el valor de la cantidad  $f$ .

336. **Oftalmoscopio Follin.**—Recibe este nombre un aparato que sirve para examinar el interior del ojo. Está formado por un reflector esférico provisto de un orificio en su centro por donde dirige el observador una visual al ojo que examina, iluminándole además poderosamente por la reflexión que proyecta en dicho espejo una lámpara: un lente bi-convexo colocado muy cerca del ojo observado, amplifica la imagen, formando de este modo un pequeño telescopio que permite al observador apreciar toda clase de detalles en el órgano de la vista.

## SECCIÓN TERCERA—Electricidad.

### CAPITULO I.

#### *Ideas fundamentales y electricidad por las acciones mecánicas.*

### LECCIÓN 80.

#### MANANTIALES ELÉCTRICOS: TEORÍAS Y CONSECUENCIAS PRIMARIAS.

337. **Electricidad y sus manantiales: fenómenos fundamentales.**—La electricidad es una fuerza, agente ó causa productora de todos aquellos fenómenos que se hacen presentes por atracciones y repulsiones, apariencias luminosas, elevaciones de temperatura, descomposiciones químicas y por conmociones más ó menos violentas en el organismo.

Los mismos orígenes productores de los fenómenos térmicos y ópticos engendran los eléctricos; así el frotamiento, presión, es-

foliación, etc., en el grupo de las acciones mecánicas y las reacciones químicas se consideran como manantiales eléctricos.

Esto en cuanto referencia á los procedimientos que emplea el hombre, pero la Naturaleza revela también manantiales eléctricos y con tanta extensión como el calor y la luz que recibimos del sol, según se observa en las tempestades que engendran el rayo cuyos efectos llegan hasta nosotros.

La circunstancia de reconocer los tres órdenes de fenómenos físicos, ó sea los caloríficos, luminosos y eléctricos un mismo origen, nos manifiesta claramente el fundamento de la teoría moderna que reduce á una sola las fuerzas naturales.

Cuando frotamos una barra de cristal con un trozo de tela, se observa que, aproximandola á cuerpos ligeros como pajitas, trozos de papel, etc., estos son atraídos vivamente por la barra. Igualmente resultados observamos, cuando se opera con una barra de lacre.

Si aproximamos á dos *péndulos eléctricos*, formados por una bolita de médula de sauco, libremente suspendida de una hebra de seda cualquiera de ambas barras y después les colocamos á una pequeña distancia, veremos en los dos pendulos una viva repulsión.

Idéntico resultado alcanzaremos al volverles á aproximar después de haberles tocado con una barra de lacre frotada convenientemente. Tocado uno de ellos con el cristal y otro con el lacre, notaremos una viva atracción en los mismos péndulos.

De tan sencillos fenómenos fundamentales se deduce la ley formulada en estos términos: *Electricidades del mismo nombre se repelen y de nombre contrario se atraen.*

Del mismo modo, dos discos de diferente naturaleza con mangos de cristal, dos cintas de seda cruzadas, la piel de gato, adquieren en el momento de la frotación el poder de la electrización que provocan atracciones ó repulsiones en el péndulo eléctrico.

Todas las acciones mecánicas son susceptibles de provocar la electrización; así es que no solo la percusión y frotamiento la producen, sino también la presión, como lo comprueban sencillos experimentos: en efecto, basta comprimir con suavidad entre los dedos un cristal de espato islándico convenientemente dispuesto en un soporte que le permita moverse libremente, para que al aproximarle un cuerpo electrizado presente las atracciones y repulsiones que caracterizan el estado eléctrico.

Estos mismos resultados se observan en los discos de Becquerel formados por dos láminas circulares de zinc y cobre convenientemente aisladas: compriniendo el uno contra el otro hay desarrollo de electricidad. Otro tanto observó Libes, al comprimir un disco metálico y aislado contra un trozo de tafetán engomado.

338. **Hipótesis de Symmer y Franklin: teoría moderna.**—Symmer creyó explicar la causa de los fenómenos eléctricos, admitiendo dos flúidos suficientemente combinados en todos los cuerpos para formar el estado neutro ó natural; pero que, una vez roto este equilibrio, se manifestaba obrando por repulsión contra sí mismo y por atracción entre ambos, á los que dió los nombres de fluidos *vítreo* y *resinoso*.—Franklin admitió solamente un solo flúido imponderable, que obraba por repulsión sobre sus propias moléculas, y por atracción sobre las de la materia; este flúido suponía que todos los cuerpos le poseían y cuando alteraban su equi-

libro, aparecía en aumento, tomando el nombre de electricidad *positiva*, ó por el contrario, en disminución formando la *negativa*, análogas ambas á las llamadas vítrea y resinosa.

La ciencia moderna, contraria á estas opiniones y, aparte de las ideas de Grove y Faraday que admiten una polarización de la materia ordinaria que obra por atracción ó por repulsión en una dirección determinada, ha llevado esta cuestión á otro terreno. Si la vibración etérea, en cuanto se refiere á la amplitud y tiempo ó rapidez, determina los órdenes de fenómenos térmicos ó luminosos, también la velocidad de la misma vibración en sus diferentes circunstancias servirá de base á los fenómenos eléctricos. Desde el momento que se rompe el equilibrio de la materia cósmica ó etérea, se presenta ó una condensación de la misma ó un enrarecimiento, es decir, un *aumento* ó una *disminución* de velocidad, que es lo que el último de dichos físicos llamaba electricidad *positiva* y *negativa*.—En el lenguaje científico aun se conservan estas denominaciones para la explicación de los fenómenos eléctricos; pero siempre teniendo en cuenta el carácter con que se aplican.

## LECCIÓN 81.

### MEDIDA DE LAS ACCIONES ELÉCTRICAS Y MANIFESTACIONES DE LA ELECTRICIDAD.

339. *Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas.*—Las mútuas acciones que entre sí ejercen los cuerpos electrizados, permiten medir con bastante exactitud y siempre de un modo relativo las fuerzas que provocan las atracciones y repulsiones de los cuerpos electrizados. Las leyes, bajo las cuales se manifiesta su acción, son las siguientes: 1.<sup>a</sup> *Las atracciones y repulsiones están en razón inversa del cuadrado de la distancia.* 2.<sup>a</sup> *A igualdad de distancia son proporcionales á las cantidades de electricidad que poseen los cuerpos, es decir, al valor relativo á la velocidad en la vibración etérea.* El aparato empleado para la comprobación experimental es la balanza de Coulomb: se compone este instrumento de un gran cilindro de cristal, desde cuya base superior se eleva, á partir del centro, un tubo también de cristal, que termina en un micrómetro que sostiene una lámina muy delgada de platino, cuyo ángulo de torsión puede apreciarse por este mismo micrómetro.—Pendiente de la extremidad inferior de la lámina se halla una aguja de goma laca provista de un disco de papel dorado: además en toda la circunferencia del cilindro se halla pegada una cinta dividida en 360° y una varilla de cristal terminada en otro

disco de papel dorado, formando lo que se denomina el *plano de prueba* y puede introducirse en el cilindro grande enfrente de la aguja de goma laca.

Para comprobar la 1.<sup>a</sup> ley referente á las repulsiones se dispone el aparato de modo que la aguja pendiente de la lámina de platino y el plano que prueba se correspondan con el cero del cuadrante del gran cilindro; hecho esto se saca el plano de prueba y se aproxima á un foco de electricidad é inmediatamente se vuelve á introducir en el gran cilindro y en el momento se observará una repulsión en la aguja; supongamos que ha llegado en este movimiento hasta la división 20, si damos vuelta al micrómetro para retorcer por la parte inferior á la lámina hasta reducir la repulsión á 10, ó sea á la mitad, habrá necesidad de correr el disco del micrómetro 70 divisiones: por lo tanto, la torsión total de la lámina será 80°, es decir, cuádruple de las que corresponden á una distancia doble.

Con respecto á las atracciones puede demostrarse del mismo modo, dando al plano de prueba y disco electricidades contrarias y equilibrando su acción por medio de la torsión del alambre.

Para comprobar la segunda ley basta anotar las repulsiones ó atracciones de la aguja, cuando se introduce el plano de prueba después de haber tocado una, dos, tres ó cuatro veces con otro disco del mismo tamaño y se observará que los valores obtenidos son la mitad, la cuarta, octava parte de la primera.

340. **Manifestaciones de electricidad en los cuerpos: experimentos.**—La superficie de los cuerpos es la parte donde se manifiesta la electrización. Se comprueba experimentalmente haciendo uso de una esfera metálica y hueca electrizada; si tocamos interiormente con una barra metálica provista de un mango de vidrio y la aproximamos á un pendulillo muy sensible, este no acusará la presencia de electricidad; pero tocando cualquier punto de la superficie, en todos se observa desviación en el péndulo.—Los hemisferios de Biot, el cono de muselina de Faraday y otros muchos aparatos vienen á comprobar estos mismos efectos. Dichos experimentos también se pueden verificar empleando en vez de péndulo eléctrico la balanza de Coulomb para examinar los movimientos que produce la aguja.

Esta tendencia de la electricidad á dirigirse á la superficie de los cuerpos no es real, sinó aparente, toda vez que en el interior de la masa las opuestas direcciones de la electricidad en cada una de las partículas y la resistencia que estas mismas oponen á propagar el movimiento impide su aparición, circunstancia que no se opone en la superficie.

Con el experimento anterior, al tocar con el plano de prueba en cualquier punto de la superficie, provocan todos el mismo valor en la desviación del péndulo, ó lo que es igual, se halla igualmente repartida en toda la superficie. Pero si se hace esto mismo en un ovóide de metal, convenientemente electrizado, se observa que produce mayores movimientos en el *péndulo ó aguja de la balanza* en la parte estrecha que en la ancha, hasta el punto que un cuerpo aguzado efectúa rápidamente la comunicación al aire atmosférico.

Todo lo dicho viene á justificar la idea vertida anteriormente, que la acumulación de la masa es un verdadero obstáculo para comunicar el movimiento vibratorio etéreo.

341. **Conductibilidad eléctrica.**—Los cuerpos, bajo el punto de vista de la facilidad ó dificultad que presentan de volver al equilibrio, después que fué alterado por un exceso ó defecto de velocidad etérea, se acostumbran á dividir en dos grupos: cuerpos *buenos conductores* y *malos conductores*. Entre los primeros se colocan los metales, los ácidos concentrados, el cuerpo humano y el aire húmedo; en el segundo las gomas, resinas, el vidrio, porcelana, piedras preciosas y el aire seco. Estos últimos cuerpos reciben el nombre de *aisladores*, porque impiden la comunicación de velocidad etérea á través de los buenos conductores, entre los cuales se incluye también la tierra con el nombre de *depósito común*.

Abandonando un cuerpo conductor electrizado y aislado, vemos que con el tiempo pierde su electrización. Las causas que provocan esta pérdida son muchas, entre ellas, la conductibilidad del aire, su humedad y la naturaleza y estado de los aisladores.

En el vacío conservan la electrización los cuerpos conductores mucho tiempo, cuya circunstancia despertó la idea de admitir en la propagación eléctrica la presencia de un medio ponderable.

## LECCIÓN 82.

### ELECTRICIDAD POR INFLUENCIA Y MÁQUINA ELÉCTRICA DE RAMSDEN.

342. **Electricidad por influencia.**—La electricidad que adquiere en presencia de un foco eléctrico un cuerpo buen conductor y aislado se llama por *influencia* ó por *inducción*. Para dar á conocer este fenómeno utilizó Æpinus un cilindro de metal terminado en sus extremos por casquetes esféricos y provisto de dos péndulos eléctricos, sostenido además por columnas de cristal: este aparato al colocarle en frente de un foco eléctrico, los dos péndulos se separan de su posición de equilibrio, el más próximo al foco se dirige hacia él y el más distante en sentido opuesto. Puesto á continuación de este cilindro otro igual reproduce el fenómeno. También es posible comprobar semejante resultado con el aparato de Riess.

Cuando se aproxima al foco electrizado el cilindro, alterase el equilibrio del éter, la disminución de velocidad iniciada en el extremo más próximo al foco trata de volver á su primitivo estado y en el otro extremo hay una verdadera condensación ó aumento de velocidad, roto por lo tanto el equilibrio del conductor, los péndulos con sus desviaciones serán los encargados de manifestar esta nueva situación.

Aproximando un cuerpo buen conductor á otro electrizado (á una pequeña distancia) en el espacio de separación se presenta instantáneamente una ráfaga luminosa acompañada de un sonido especial que forma la *chispa eléctrica*.

La chispa eléctrica se explica por la electrización por influencia: en efecto, siendo pequeño el espacio de separación, hay un verdadero choque entre los elementos etéreos puestos en movimiento, unos dotados de gran velocidad y que parten del cuerpo electrizado al conductor, y otros que poseen una velocidad mucho menor y que se dirigen del conductor al cuerpo, resultando, además de esta mútua acción, el equilibrio.

343. **Máquina eléctrica: descripción de la de Ramden.**—La electrización por influencia, se utiliza para la construcción de instrumentos conocidos con el nombre de *máquinas eléctricas*, que tienen por objeto dar origen á un foco de electricidad por las acciones mecánicas. Esta máquina inventada por Ramden se halla compuesta primeramente por cuatro almohadillas rellenas de crin, colocadas dos en la parte superior y las otras dos en la inferior de un montante de madera dispuesto en forma de arco; un disco de cristal pasa por entre las almohadillas á frote bastante fuerte y puede tomar un movimiento de rotación mediante un eje terminado en manubrio. Dos grandes cilindros horizontales sostenidos por columnas de cristal se hallan dispuestos en frente del disco y se unen por el lado opuesto por medio de otro tercer cilindro de menor sección: estos cilindros en los extremos próximos al disco terminan en peines formados por tubos que tienen la figura de U, que rodean el disco y se hallan erizados de puntas. Todos estos órganos se hallan situados en una sólida plataforma de madera que hace el oficio de base á la máquina.

La manera que tiene de funcionar dicho aparato es muy sencilla; cuando el disco adquiere el movimiento de rotación es frotado por las almohadillas y queda electrizado por el aumento de velocidad etérea. Este ejerce influencia sobre los conductores, altera su equilibrio provocando aumentos y disminuciones de velocidad, que tienden á equilibrar el disco al propagarse con violencia por las puntas y en efecto lo consiguen por los aumentos que se manifiestan en los conductores. El disco vuelve nuevamente á romper su equilibrio por el nuevo frotamiento y se coloca en circunstancias favorables para producir la anterior acción que se repite sin interrupción todo el tiempo que está girando. Como en el acto del frotamiento las almohadillas también rompen el equilibrio del éter por una disminución de velocidad, ésta se comunica á la tierra por medio de una cadena.

344. **Electróforo de resina.**—Con este instrumento es posible desarrollar electricidad mediante la percusión. Se compone de una torta resinosa y un disco de madera recubierto con papel de estaño y provisto además del correspondiente mango aislador. Si frotamos ó golpeamos aquella con una piel de gato y aplicamos el disco, ejerciendo un ligero contacto con la mano, se observará que saltará una chispa al aproximar un cuerpo conductor al disco de madera separado ya de la torta de resina.

## LECCIÓN 83.

### MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y SUS EFECTOS.

345. **Idea general de las máquinas eléctricas de Nairne, Armstrong, Winter, Carré y otros.**—Además de la máquina eléctrica de disco ó de Ramsden existen infinidad de sistemas más ó menos perfectos, entre los cuales pueden citarse las siguientes:



La de Nairne tiene igual disposición que la de Ramsden, con la diferencia de hallarse sustituido el disco de cristal por un gran cilindro de esta misma sustancia colocado en medio de los dos conductores con un eje paralelo á los mismos y montado de modo que puede tomar un movimiento de rotacion. Uno de los cilindros vá provisto de una almohadilla que frota al cilindro de cristal, y por lo tanto donde se manifiesta la electricidad negativa. El otro cilindro vá erizado en toda su longitud de un peine, por lo cual en el mismo se hace presente la electricidad positiva.

Armstrong, observando la electrización de una plancha metálica por el choque de una corriente de vapor, dispuso su máquina dotándola en el primer lugar de una caldera de vapor aislada con sus columnas de cristal; el vapor formado se reúne en un estuche rectangular del cual puede salir en forma de surtidor para chocar contra una plancha metálica erizada de puntas y sostenida en un soporte que á su vez comunica con una gran esfera metálica y aislada, en la cual se manifiesta la electricidad positiva.

Además se conoce la de Winter, usada en Austria con buenos resultados, es muy sencilla; la forma un disco de cristal que gira en un plano vertical, y en ambos lados del mismo tiene dos esferas metálicas de diferente volumen: la mayor lleva dos anillas que hacen el oficio de peine, y la menor vá armada de dos almohadillas. Así en la esfera mayor se presenta la electricidad positiva, y en la menor la negativa.

Se conocen otros sistemas como la de Val-Marum, Hotz, Carré y Tøepler: esta, presentada como la más moderna en la última Exposición de electricidad en París, es una verdadera modificación de la de Hotz y susceptible además de formarse con veinte discos aumentando de este modo notablemente la producción y consumo de electricidad.

346. Efectos producidos por las máquinas eléctricas.—Los efectos que pueden darse á conocer con este aparato, se han dividido en los tres grupos siguientes: fisiológicos, físicos y químicos. Entre los primeros se incluyen las impresiones que sufre el cuerpo humano en el momento de aproximarle á uno de los conductores de las máquinas para sufrir la chispa. Del mismo modo, los efectos observados por una persona que forma parte de los conductores, hallándose situada encima del banquillo aislador.

Los efectos físicos pueden subdividirse en mecánicos, caloríficos y luminosos. Entre los mecánicos se citan el *campanario eléctrico*, formado por tres timbres sonoros sostenidos de una barra metálica por cadenas los de los extremos, y el del centro por una hebra de seda y además por una cadena que comunica con la tierra: entre los dos espacios que entre sí dejan los timbres se hallan suspendidas por hebras de seda esferitas de metal.

La *danza eléctrica*, el *granito eléctrico* y el *molinete eléctrico* son también efectos observados en la máquina eléctrica de carácter mecánico.

Entre los efectos caloríficos se incluyen la inflamación de ciertas sustancias como el éter ordinario, el alcohol, la pólvora, etc., cuando en el interior de su masa salta la chispa eléctrica.

Por último, entre los efectos luminosos se citan infinidad de experiencias muy curiosas, tales como en el llamado *tubo centellante* que no es otra cosa mas que un tubo de cristal que tiene pegados en toda la superficie, siguiendo una dirección de hélice, una série de pedacitos de papel estaño que no se tocan entre sí, de modo que si una de sus virolas se pone en comunicación con la máquina eléctrica, y por la otra con el suelo, saltará una chispa eléctrica por cada uno de los espacios que dejan entre sí los trozos de papel. En análogo fundamento estriba la construcción del *cuadro mágico*, *globo centellante* y *torniquete mágico*; la chispa eléctrica, al pasar también por el aire enrarecido dá lugar á las ráfagas luminosas de un efecto sorprendente.

Entre los efectos químicos se incluyen los que hacen referencia á las composiciones y descomposiciones químicas, como puede darse á conocer en el *Pistoleta de Volta*. Recibe este nombre un recipiente metálico de forma variable atravesado por una varilla también metálica que casi toca á una de las paredes interiores: si previamente introducimos en este recipiente dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno en el acto de saltar la chispa interiormente, se verifica la combinación de ambos gases, formando agua acompañada de una fuerza expansiva tan notable, que arroja el tapón que cubre el aparato á una gran distancia, produciendo una fuerte detonación que dá nombre á este experimento.

## LECCIÓN 84.

### ELECTRICIDAD CONDENSADA: CONDENSADORES Y SUS EFECTOS.

347. Electricidad condensada ó latente: condensador de *Æpinus*.—Se dice que la electricidad es *condensada* ó *latente* cuando se manifiesta en los cuerpos buenos conductores con velocidades etéreas casi iguales, pero separadas por cuerpos aisladores. Los aparatos empleados para darla á conocer reciben el nombre de *condensadores*, y entre ellos el de *Æpinus* puede considerarse como el más fundamental. Este instrumento se halla formado por dos platillos de metal convenientemente aislados y provistos de péndulos eléctricos que pueden colocarse el uno enfrente del otro y en el espacio intermedio otro tercer disco de cristal. Para operar con dicho aparato se yustaponen á ambas caras de la lámina de cristal los discos metálicos, uno de ellos puesto en comunicación con la máquina eléctrica y que recibe el nombre de *colector*, y el otro en comunicación con el suelo y que llamaremos *condensador*.

El platillo colector recibe la velocidad etérea de la máquina que obra por influencia al través del cristal sobre la lámina condensadora, y esta neutraliza

dicha acción con la disminución de velocidad que opone, pues su aumento se ha propagado al *depósito común*: el éter, por lo tanto, del cristal, contrarrestará ambas acciones: sin embargo, mientras el péndulo del platillo colector diverge, el del otro se halla en su posición normal, apesar de hallarse electrizado, una vez que en el acto de separar los platillos y sus comunicaciones ambos péndulos divergen. Ahora bien, si realizamos alternativamente una serie de contactos con la mano á cada uno de los platillos se facilitará la comunicación de las velocidades que poseen al depósito común y quedará descargado *lentamente* el aparato; por el contrario si comunicamos el platillo colector con el condensador, antes de conseguirlo, salta la chispa con mayor intensidad que en la máquina y que representa la *descarga instantánea*.

348. **Excitadores.**—Reciben este nombre los instrumentos destinados á producir la descarga instantánea de los condensadores lo cual se verifica siempre que se establece una comunicación directa con los dos platillos por medio de un cuerpo buen conductor. Estos excitadores le forman barras de metal de forma curva y articuladas por sus extremidades, pudiendo además llevar algunos mangos de cristal con el objeto de que el experimentador no sufra la menor conmoción en el acto de la descarga, que por realizarse repentinamente toma el nombre de instantánea.

349. **Botella de Leyden: teoría y descarga.**—Con este nombre se conoce otro de los condensadores destinados á producir chispas de gran intensidad. Está formado por un frasco de cristal que en su interior contiene sustancias buenas conductoras, que suelen ser trozos de papel dorado y de estaño: por toda la superficie exterior se halla cubierta con una hoja de papel metálico y además una varilla de metal encorvada en forma de arco atravesada por el tapón del expresado frasco.

Este sencillo instrumento representa los mismos órganos que el condensador de *Æpinus*: en efecto, hace el oficio de platillo colector la llamada armadura interna constituida por los cuerpos metálicos encerrados en el interior del frasco: el platillo condensador es la armadura exterior ó la hoja de papel metálico pegada en la superficie: por último, la lámina aisladora la forma el cristal que constituye el frasco. Comprendida la teoría y descarga lenta é instantánea del ya citado condensador, se comprenderá también esto mismo con respecto á la botella de Leyden. Hay mas, cuando se dispone el aparato de manera que sus armaduras puedan separarse fácilmente, podemos comprobar la manifestación de la electricidad en las dos superficies de la lámina aisladora.

350. **Baterías eléctricas.**—Estos importantes aparatos se hallan formados por la reunión de varias botellas de Leyden empleando frascos de gollete ancho, dispuestos de modo que comuniquen entre sí por sus armaduras, las internas con varillas de metal y las externas con hojas de papel de estaño pegadas en el interior de un cajón de madera que sirve además de soporte común á todas ellas. Dos anillas de metal colocadas al exterior de la caja establecen también su comunicación con las armaduras exteriores.

351 **Efectos generales producidos por estos aparatos.**—La división adoptada para dar á conocer los efectos producidos por la máquina eléctrica, se utiliza para la descripción de los pre-

sentes. Así es que se pueden considerar de tres clases; físicos, químicos y fisiológicos: entre los físicos se incluyen los experimentos del *taladra-cartas*, *taladra-cristales* y otros muy curiosos. Para dar á conocer aquellos se hace uso del *excitador universal* formado por dos varillas aguzadas en punta, situadas la una enfrente de la otra y sostenidas además por columnas de cristal. Colocando entre las dos puntas la lámina que se desea taladrar y estableciendo comunicación de una de las varillas con la armadura exterior y la otra con la interior, auxiliándose de un excitador, salta una chispa de una intensidad suficiente para oradar la lámina. Entre efectos caloríficos se pueden considerar la inflamación de líquidos como el alcohol y el éter; procediendo de la misma manera que antes y haciendo uso de pequeños vasos dispuestos á propósito. El enrojecimiento y fusión de muchos metales se consigue también por el paso de la chispa eléctrica procedente de la descarga de una botella ó batería. Como efecto luminoso se cita la botella centellante que no difiere de la ordinaria más que en cuanto á la longitud de la varilla y disposición de los cuerpos que forman ambas armaduras: en ellas las chispas son muchas y producen un efecto sorprendente, tal es el observado en el globo mágico.

Entre los efectos químicos se citan la composición ó síntesis del agua y otros cuerpos, haciendo uso de los eudiómetros.

Por último, los efectos fisiológicos están caracterizados por las impresiones más ó menos violentas que se sienten en las articulaciones del cuerpo humano, cuando sufre las descargas de la chispa al tocar con ambas manos cada una de las armaduras. Esta impresión pueden sufrirla al mismo tiempo muchas personas que se hallen unidas entre sí formando cadena. En ocasiones es tan grande y dolorosa la impresión producida que puede ocasionar la muerte del hombre y animales de gran talla, y muy particularmente haciendo uso de poderosas baterías.

## CAPITULO II.

### *Electricidad por las acciones químicas.*

#### LECCIÓN 85.

EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES: PILA DE VOLTA: SUS ELEMENTOS.

352. **Electricidad desarrollada por las acciones químicas.**— Las acciones químicas se pueden considerar como un manantial

de electricidad de gran importancia, y un sencillo experimento con el electrómetro condensador de Volta viene á comprobarlo.—Está formado este útil aparato por un electrómetro de panes de oro que termina en dos platillos metálicos, uno de ellos provisto de un mango aislador y el otro que comunica con las hojuelas: entre ambos discos se puede colocar una lámina mala conductora. Para conocer si un cuerpo se halla electrizado basta simplemente ponerle en contacto con el platillo inferior y la mano con el superior, elevar con violencia este último y observar si las hojuelas divergen.

La teoría de este aparato se comprende teniendo en cuenta la de los condensadores de los cuales forma parte.

Para utilizar dicho instrumento en el caso presente basta colocar encima del platillo superior papel húmedo y una cápsula de zinc, en la cual se pone agua acidulada con ácido sulfúrico: sumerjiendo después en ella una lámina de platino que comunique con el suelo y además tocando con el dedo el platillo superior, al romper las comunicaciones y levantar rápidamente este, las hojuelas diverjen, anunciando la presencia de electricidad.

Si introducimos dos pedazos de diferentes metales como pueden ser el zinc y el cobre en un vaso que contenga agua acidulada y verificamos contacto entre ambos metales, una reacción química provoca el desenvolvimiento de electricidad, la cual para diferenciarla de la obtenida por frotamiento, presión ó percusión ha recibido el calificativo de *galvánica ó voltáica* como recuerdo de los físicos notables que dieron fundamentos de constitución á esta interesante parte de la ciencia.

353. Experimentos de Galvani y Volta.—Los experimentos realizados por Galvani y Volta fueron los siguientes: el primero observó las convulsiones que manifestaba una rana recién muerta y desollada en el momento de establecer comunicación por medio de dos láminas de zinc y cobre entre los nervios lumbares y los músculos de las extremidades abdominales. El segundo, haciendo uso de su electrómetro condensador, observaba la divergencia de las hojuelas de oro cuando interrumpía el contacto que tenía el disco inferior con una lámina formada por los metales zinc y cobre soldados entre sí y establecía la comunicación con el depósito común del platillo superior por medio del dedo.

Galvani explicó las contracciones de la rana, admitiendo la existencia de una electricidad inherente al animal que designó con el nombre de fluido vital. Volta como resumen de los trabajos realizados en la discusión sostenida con Galvani vino á deducir que dos sustancias heterogéneas puestas en contacto se constituyen siempre en estado eléctrico, positivo en una de ellas y negativo en la otra.

354. Pila de Volta.—*Pila* fué el nombre que recibió el primer aparato para el desarrollo de la electricidad por las acciones químicas: estaba compuesto por una serie de discos de cobre, zinc y paño humedecido en agua acidulada colocados en este orden, unos encima de otros, formando columna y sujetos convenientemente por tres barras de cristal.

*Tensión de una pila* es la tendencia que la electricidad manifiesta para vencer los obstáculos que puedan oponerse á su propagación: la tensión depende del número de pares formados por la reunión de los discos ó cuerpos empleados en su construcción. Los *polos* son los puntos donde se manifiesta la electricidad positiva y la negativa, por cuya razón toman estos mismos nombres. *Electrodos ó réóforos*

son dos alambres puestos en comunicación con los polos de la pila y que, atendiendo á su buena conductibilidad, se propaga por ellos la electricidad, formando la corriente en el momento que se hallan unidos por los extremos. Todas estas ideas son generales á las variadas clases de pilas.

Al poner en contacto los cuerpos, la acción química determina una violenta agitación del éter: la diferente constitución molecular de ambos cuerpos hace que se acumule en uno de ellos y abandone el otro, manifestando un verdadero desequilibrio en el éter por exceso ó por defecto: si el circuito está cerrado se mantiene latente la electrización ínterin la causa del desequilibrio etéreo continúe actuando.

355. Pila de Wollaston.—Reciben tambien este nombre una de las modificaciones más importantes de la pila de Volta: dicho aparato le forma una lámina de zinc rodeada por ambas caras con una hoja de cobre doblada por la parte inferior y separados ambos metales por unos trocitos de madera: todo se introduce en un vaso de cristal, formando lo que se denomina un *par*. Los pares se unen convenientemente por láminas metálicas que comunican los zinc con los cobres y todos ellos se colocan en un cajón de madera que permite, mediante un larguero que sostiene las láminas, hacer que funcione ó suspenda la acción, elevando ó introduciendo las láminas en los vasos de cristal.

## LECCIÓN 86.

### DIFERENTES CLASES DE PILAS.

356. Descripción de las pilas de Bunsen, Grenet y Trouvé.—Los sistemas de pilas son numerosos, entre los cuales, podemos citar los siguientes, que ofrecen resultados verdaderamente satisfactorios.

La pila de Bunsen está compuesta de un recipiente de cristal ó porcelana, que contiene próximamente la mitad de su capacidad agua con ácido sulfúrico en la proporción de un 10 por 100; en el interior de este líquido se coloca un cilindro de zinc y, concéntrico á este, un vaso de tierra porosa, lleno por su mitad de ácido nítrico, en el cual se halla sumergido un cilindro macizo de carbón.

Varios elementos dispuestos de este modo se reúnen entre sí, comunicando cada cilindro de zinc con el carbón perteneciente al par inmediato, formando así la batería.

La de Grenet se halla formada por un matraz de cristal, que en la parte esférica contiene la disolución de bicromato potásico, y ácido sulfúrico en el agua. En esta disolución penetran dos reglas de carbón y en el espacio intermedio otra de zinc, dispuesta en una corredera que permite elevarla ó ponerla en contacto con la expresada solución para suspender á voluntad la corriente.

Mr. Gustavo Trouvé, tan conocido hoy por sus importantes descubrimientos, ha modificado la anterior pila, resultando otra nueva que se puede considerar como

indispensable en los laboratorios. La forman seis vasos cuadrangulares de ebonita que contiene la solución (1 kilogramo de bicromato, 3,7 de ácido sulfúrico y 8 de agua) repartida convenientemente: en cada vaso penetran dos láminas rectangulares de carbón que en los espacios intermedios llevan otra de zinc y se unen doblemente estas planchas por pinzas de cobre y sostenidas todas ellas por tres cadenas que se fijan en un eje horizontal colocado en la parte superior de dos cojinetes de hierro situados en los costados de un cajón de madera que sostiene toda la pila. El eje vá provisto de un manubrio que permite elevar las planchas para evitar la comunicación con el líquido excitatriz, cortando la corriente, ó poniéndoles parte en contacto para graduar su acción.

357. Pilas de Daniell, Callaud y Leclanche.—Los sistemas de pilas anteriormente descritos presentan gran intensidad en las corrientes y su duración es muy corta; ofrecen en cambio mayor constancia y duración las siguientes: 1.<sup>a</sup> La de Daniell compuesta de un vaso exterior con agua, dentro del cual se coloca un cilindro de zinc y en el espacio interior un vaso poroso, con una solución concentrada de sulfato de cobre que contiene una lámina de este metal que, además de unirse al zinc del elemento inmediato para formar la batería, lleva una cápsula para depositar cristales de sulfato de cobre.

Verité substituyó esta última pieza por un matraz con la referida sal, dando lugar á la pila de globo.

2.<sup>a</sup> La pila Callaud está formada por un vaso de vidrio, en cuyo fondo se coloca una lámina de cobre, sostenida por un alambre del mismo metal recubierto por una sustancia aisladora. Encima del disco existe una capa de cristales de sulfato de cobre; además, en la parte superior y, sostenido por los bordes del vaso, se fija un cilindro de zinc y toda la capacidad restante se llena de agua; las baterías se forman, uniendo las láminas de cobre con los cilindros de zinc.

La pila Minotto es una modificación de la anterior con la sola diferencia de agregar sobre los cristales de sal cuprica otra pequeña capa de arena, que impide la completa saturación de todas las capas de agua de la disolución salina.

3.<sup>a</sup> La pila Leclanche está constituida por un vaso de cristal que contiene, como líquido excitatriz, una solución de sal amoniaco destinada á recibir un paquete formado por dos conglomerados de peróxido de manganeso y cok, una lámina de carbón y una teja de tierra porosa, por la cual pasa una barrita de zinc, que puede comunicar con el carbón del par inmediato en la batería.

358. Pilas secundarias: sistema Planté y otros.—Se llaman pilas secundarias ó acumuladores aquellas baterías, cuyos elementos, puestos en comunicación por un tiempo más ó menos grande con un circuito volático, adquieren las propiedades de este, produciendo efectos mucho mayores que las pilas que han servido para su carga. Estos aparatos son en la electricidad procedentes de las acciones químicas, lo que los condensadores en la electricidad por frotamiento. La disposición ideada por Planté es la siguiente: en

un vaso que contiene agua acidulada, se introducen dos largas láminas de plomo arrolladas sobre sí mismas y separadas entre sí por un trozo de tela que impide el contacto; ambas planchas pueden comunicar con los polos de una batería Bunsen de 3 ó 4 pares, el tiempo que sea necesario para producir el desprendimiento de gases y, una vez conseguido esto, se encuentra en disposición la pila secundaria de manifestar sus efectos por un tiempo más ó menos considerable, pero siempre mucho mayor que en las pilas que desarrollan su fuerza electro-motriz.

En la actualidad esta clase de pilas, son objeto de preferente estudio por parte de los físicos contemporáneos en vista de los magníficos resultados que producen *almacenando*, digámoslo así, grandes cantidades de electricidad, utilizable en numerosas aplicaciones y algunos de los sistemas dados á conocer satisfacen perfectamente á los fines propuestos, pero es de esperar que lleguen á mayor grado de perfección. Pertenecen á este sistema las pilas de Faure que recubre el plomo con una capa minúscula y la de Kabah que forma paquetes de docientas hojas finísimas de plomo acanalado.

## LECCIÓN 87.

### EFFECTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LAS PILAS.

359. **Efectos mecánicos, luminosos, caloríficos y fisiológicos de las pilas.**—Los efectos mecánicos se manifiestan por los arrastres que provocan en ciertos cuerpos las corrientes. Para dar á conocer algunos de estos basta colocar una gotita de mercurio en la parte media de un pequeño nivel de agua acidulando ligeramente este líquido: si introducimos en cada uno de los dos brazos del tubo los reóforos de una pila se observará el movimiento de la gota de mercurio en dirección de la corriente.

Entre los efectos luminosos figura el importante experimento del arco voltaico, el cual se reproduce siempre que pongamos en comunicación con los reóforos de una batería poderosa dos conos de carbón unidos por sus vértices: estos aparecen enseguida incandescentes y al separarles á una pequeña distancia forman una llama de gran intensidad luminosa que solo es comparable con la luz del sol. La llama eléctrica formada de este modo necesita el concurso de los aparatos reguladores y reflectores, si se desea continuidad y perfección en las iluminaciones tan sorprendentes que producen.

Son notables los estudios que hoy se hacen acerca de esta importante cuestión, como veremos en el capítulo VI.

Los efectos caloríficos se hallan representados por la fusión y volatilización de muchos cuerpos, entre ellos el plomo, estaño, zinc, cobre y otros varios. El carbón, único cuerpo infusible, por la acción de la pila ha sido reblandecido por Despretz, haciendo uso de una batería de 600 elementos.



Por último, los efectos fisiológicos se manifiestan por las impresiones de dolor que experimenta el cuerpo humano al servir de medio conductor para la reconstitución de ambas electricidades.

Los animales recién muertos, puestos en comunicación con las corrientes, realizan movimientos especiales, observándose esto mismo en los cadáveres humanos; sin embargo, cesan estas manifestaciones en el momento de paralizar su acción la pila.

360. Efectos químicos de la pila: descomposición de los óxidos, ácidos y sales.—Los efectos químicos producidos por las corrientes de electricidad voltáica tienen una intensidad mucho mayor y un carácter más general que los dados á conocer en la electricidad por frotamiento: de todos modos se encuentran representados por la propiedad característica de facilitar las composiciones y descomposiciones de la materia. Con el nombre de *Electro-química* se han dado á conocer todas aquellas cuestiones que se relacionan con el estudio de este efecto. El acto de unirse dos ó más cuerpos simples ó desdoblarse un cuerpo compuesto en sus elementos forma la *electrolización* ó *electrólisis*, en cuyo caso los cuerpos sometidos á esta acción reciben el nombre de *electrólitos*, pudiendo ser *electro positivos* ó *electro-negativos*, según el polo de la pila á donde se dirijan en el acto de la descomposición.

La descomposición de los cuerpos compuestos conocidos con el nombre de *ácidos* se verifica siempre dirigiéndose el oxígeno al polo positivo y el otro cuerpo al negativo. Otro tanto sucede con los óxidos y como ejemplo de descomposición de estos merece citarse la de la potasa realizada por el físico Davy, haciendo uso de una batería Bunsen de 250 pares.

Seebeck perfeccionó este procedimiento, poniendo en contacto la potasa por el mercurio con el cual se unia en el momento de ser aislada y para separarla de este líquido metálico hacia uso de la destilación, impidiendo de este modo su combinación inmediata con el oxígeno del aire.

La descomposición de las sales se efectúa de modo que el ácido vá siempre en dirección del polo positivo y el óxido se dirige al negativo.

Para comprobar esta verdad se puede hacer uso de un tubo de cristal encorbado en forma de U que contenga sulfato de sosa en disolución en el agua adicionando además una cantidad de tintura de violetas que suministre al líquido un color violado: introduciendo los reóforos de la pila en cada uno de los brazos del tubo al cabo de cierto tiempo aparecen teñidos de color rojo y verde que indican la completa descomposición de la sal.

361. Descomposición del agua.—Este clásico experimento se efectúa por el intermedio del *voltámetro*; consiste este aparato en una copa de cristal taladrada por su fondo con dos alambres de platino, cuyos extremos pueden ponerse en contacto con los reóforos de una pila. Echando agua en dicha copa, basta cubrir los extremos de los alambres con una campanita de cristal, llena también de agua, para que, al cabo de algun tiempo, se manifiesten en cada una de ellas los gases oxígeno é hidrógeno, de tal modo, que el volumen ocupado por este es precisamente el doble del de aquel.

362. Efectos de las corrientes eléctricas de gran tensión, según Planté. — Planté, utilizando 400 elementos secundarios, ha observado los efectos que producen estas corrientes, al sumergir uno de los reóforos en soluciones de nitrato potásico y el otro, provisto de un alambre de platino, en un tubo de cristal colocado en la misma solución; la luz que se produce por la chispa es verdaderamente deslumbradora. Ha observado también análogos efectos, al operar con un trozo de cristal de roca y, por último, los surcos luminosos de variadas formas han quedado grabados fuertemente, cuya circunstancia permite utilizar estos experimentos, como fundamento para un nuevo grabado sobre el cristal.

## LECCIÓN 88.

### ANTECEDENTES PARA ESTUDIO DE LOS EFECTOS MAGNÉTICOS

#### DE LAS PILAS.

363. Efectos magnéticos de las pilas: Imanes: sus clases. — Las corrientes eléctricas manifiestan otros efectos denominados *magnéticos* por hacer referencia á cuerpos especiales dotados de la propiedad de atracción á semejanza de los electrizados y este estudio forma una parte especial de la ciencia conocida con el nombre de *Electro-magnetismo*.

La base, por lo tanto, en el estudio de este ramo de la ciencia, son los *imanes*. Toman este nombre ciertos óxidos de hierro que se hallan repartidos en la naturaleza y en los cuales se observa la propiedad de atraer al hierro y otras sustancias denominadas magnéticas.

Dichos cuerpos se llaman imanes *naturales*, para diferenciarlos de los *artificiales*, que son barras de acero templado ó hierro dulce, que gozan de la propiedad atractiva, mediante los procedimientos á que el hombre les ha sujetado. En ellos se observa el efecto atractivo, precisamente, en los extremos, formando los llamados *polos*, en contraposición de la parte central que constituye la *línea neutra*, en donde dicho efecto de atracción se anula. Los polos se llaman *norte* ó *boreal* y *sur* ó *austral*, porque dichos extremos se dirigen á los puntos de este mismo nombre en la tierra, cuando la barra se suspende libremente en equilibrio por un punto próximo al centro de gravedad. (a)

364. Experimentos de Erstedt. — Erstedt dió á conocer un importante efecto de las pilas voltaicas diferente de los llamados físicos, químicos, y fisiológicos: hizo pasar una corriente por un alambre recto colocado en la dirección de una barra imanada sostenida en equilibrio de un eje vertical y observó la desviación

(a) La causa ó fuerza que provoca tan extraños fenómenos en los imanes, se designó con el nombre de *Magnetismo*; pero hoy, en virtud de los estudios practicados, se consideran estos hechos como dependientes de la *Electricidad*.

que afectaba á la izquierda de la corriente refiriéndose al polo austral de la misma. En esta desviación la barra tiende á colocarse tanto más perpendicular á la corriente cuanto mayor inclinación tenga esta. Si se dispone la corriente verticalmente enfrente del polo austral resulta desviación de este polo hacia el E. cuando la corriente es ascendente y hácia el O. cuando es descendente.

365. Acciones mútuas que ejercen los imanes unos sobre otros.—Leyes de las atracciones y repulsiones magnéticas.—Estas acciones se encuentran formuladas en la siguiente ley dada á conocer en los cuerpos electrizados por medio de los péndulos eléctricos. *Polos del mismo nombre se repelen y de nombre contrario se atraen.* En efecto, si suspendemos una barrita ó aguja imanada de los extremos de una hebra de seda á manera de péndulo ó simplemente haciendo uso de un eje vertical, basta aproximar al polo norte el de otra barra imanada y observar la repulsión que se produce; por el contrario, si aproximamos al mismo polo de la aguja el polo sur de la barra imanada se obtendrá una atracción: en el polo sur se manifiestan también los mismos efectos.

*Las atracciones y repulsiones magnéticas se encuentran en razón inversa del cuadrado de la distancia.* Esta ley es análoga á las atracciones y repulsiones observadas en los cuerpos electrizados y se comprueba también haciendo uso de la balanza de Coulomb, substituyendo en este aparato en vez de la aguja de goma laca una barrita imanada y en vez del plano de prueba otra segunda barra de las mismas condiciones.

366. Magnetismo terrestre-meridiano magnético.—La tierra ejerce una acción bien manifiesta sobre los imanes, la cual toma el nombre de *magnetismo terrestre*.

Esta acción no es atractiva, sino simplemente directriz y para convencernos de ello no tendríamos que hacer otra cosa, sino suspender un imán en forma de aguja en la superficie del agua auxiliándonos de un trocito de corcho y se observaría que no tomaba movimiento de traslación, pero en cambio oscilaría para después de cierto número de oscilaciones colocarse en una dirección determinada á la cual volvería siempre que por una fuerza extraña la separásemos de su posición de equilibrio.

Aquella línea que suponemos pasa por los dos extremos de una aguja imanada libremente suspendida de un estilete vertical es el meridiano magnético. Esta línea suficientemente prolongada por toda la superficie de la tierra dividiría á esta en dos grandes hemisferios, lo mismo que el meridiano terrestre lo hace en los llamados oriental y occidental.

367. Declinación é inclinación brujular: variaciones magnéticas.—El meridiano magnético y el terrestre no se corresponden en una misma línea, forman un ángulo, cuyo valor da origen á la denominada *declinación magnética*.

Una aguja imanada suspendida por su centro de gravedad en

un eje horizontal forma con el horizonte un ángulo, cuyo valor determina la *inclinación magnética*.

Los aparatos destinados á medir los valores de ambos ángulos se denominan *brújulas* de declinación ó inclinación respectivamente. La brújula de declinación se encuentra formada por una aguja imanada libremente suspendida de un eje vertical situado en el centro de un círculo graduado que forma la base de una caja cilíndrica cubierta por un cristal: en la dirección del diámetro O. — 180 se halla colocado un antejo ó una alidada para dirigir visuales. La declinación magnética se halla colocando la brújula de manera que, dirigiendo una visual que coincida con el meridiano astronómico, y el número de grados que marque en esta posición la aguja determinará el valor apetecido.

Este aparato es muy usado en Topografía, pues con él se aprecian ángulos en el terreno y también en la navegación, formando lo que se denomina brújula marina para utilizarla en la determinación del rumbo que deben seguir las embarcaciones.

La brújula de inclinación la forma también una aguja suspendida de un eje horizontal situada en el centro de un cuadrante vertical. Este aparato se dice que coincide con el *meridiano magnético*, en el momento que la aguja se halla vertical y por lo tanto haciendo girar todo el aparato un cuarto completo de vuelta la nueva posición que entonces toma la aguja será el correspondiente á la llamada *inclinación*.

Los valores de las declinaciones en un mismo punto de la superficie de la tierra no son durante el tiempo cantidades constantes y forman las llamadas *variaciones*, estas son regulares ó accidentales: las primeras se denominan *seculares*, *anuales* y *diurnas*, por presentarse con el trascurso de los siglos, años y días respectivamente y las segundas se denominan *perturbaciones*, las cuales no reconocen causa constante en su producción

## LECCIÓN 89.

### EFFECTOS MAGNÉTICOS DE LAS PILAS.

368. Imanación por la electricidad, por los imanes y por la acción de la tierra.—Si tomamos una barra de acero la rodeamos de alambre de cobre recubierto de seda y por donde discurra una corriente eléctrica, la barra adquiere la propiedad de la imanación.

Por el intermedio de los imanes puede también comunicarse la imanación siguiendo uno de estos cuatro métodos: 1.º Por *influencia*: aproximando una barra imanada á un pequeño cilindro de hierro en el momento de ser atraído, queda convertido en un verdadero imán capaz de atraer y sostener á otro segundo y este á su vez á un tercero, etc. 2.º Por *simple fricción* para lo cual basta recorrer la barra que se trate de imanar en toda su longitud con uno de los polos de un imán. 3.º Por *doble contacto* suspendiendo la barra de los dos polos opuestos de otras dos que se hallen imanadas y así las cosas realizar fricciones desde el centro á cada uno de los extremos alternativamente, empleando dos imanes colocados con una inclinación de 45 grados. 4.º Por *contacto separado*, dejando resbalar al mismo tiempo, desde el centro á los extremos, dos imanes con la misma inclinación que en el anterior procedimiento. La *acción de la tierra* manifiesta también la imanación disponiendo las barras en la dirección de los polos de nuestro globo.

En los imanes no solo para manejarlos con más comodidad, sino también para conservar durante el tiempo su poder magnético, se hace preciso disponerlos con las llamadas *armaduras*.

Las armaduras varían, según que los imanes sean naturales, en forma de barras rectangulares ó curvas y en herradura, aislados ó reunidos, formando lo que se denominan haces ó manojos magnéticos.

369. **Electro-imanés.**—Leyes de Lenz y Jacobi: **magnetismo remanente.**—Las corrientes de las pilas pueden influir sobre el hierro dulce de tal modo que manifieste la propiedad de la imanación, dando lugar á los electro-imanés: en efecto, si se arrolla un alambre en espiral sobre la superficie de una barra de hierro en el momento que pasa una corriente adquiere la imanación, la cual cesa tan pronto como se interrumpe la comunicación con la pila.

Lenz y Jacobi han deducido las leyes siguientes: 1.<sup>a</sup> *La potencia de un electro-imán es proporcional á la intensidad de la corriente.* 2.<sup>a</sup> *También es proporcional al número de vueltas de la hélice magnética.* 3.<sup>a</sup> *Lo es igualmente á la raíz cuadrada del diámetro de la barra.* La debil imanación que conserva frecuentemente el hierro de los electro-imanés, después de interrumpida la corriente, es lo que se designa con el nombre de *magnetismo remanente*.

370. **Acción de los imanes sobre las corrientes.**—Así como las corrientes actúan sobre los imanes, estos también pueden influir sobre aquellas: basta suspender libremente un alambre de cobre en forma de rectángulo haciendo uso de un soporte especial, y al mismo tiempo puesto en comunicación con una pila, para que al acercar un imán poderoso tome un movimiento el alambre, colocándose en un plano casi perpendicular.

371. **Galvanómetro.**—Los fenómenos observados en las corrientes actuando sobre los imanes, sirvieron de base para la construcción de un aparato destinado en la apreciación de la intensidad de aquellas conocido con el nombre de *Galvanómetro*. Este instrumento se halla formado por un bastidor de madera que tiene en su contorno un alambre de cobre recubierto de seda, sobre este bastidor hay un círculo de metal dividido en grados, por cuyo centro puede oscilar una aguja imanada, puesta en comunicación con otra situada en el hueco del bastidor, sostenidas ambas por un soporte metálico mediante una hebra de seda. Una base de madera contiene todo el aparato, que además se halla cubierto por una campana de cristal. Los extremos del alambre que rodea al bastidor comunican con unas prensitas, á donde se fijan los réóforos de las pilas, cuya intensidad ó corriente se trata de examinar por la desviación observada en la aguja.

372. **Diamagnetismo.**—Con este nombre se conoce en la ciencia el estudio de las acciones ejercidas por los imanes sobre todas las sustancias. Faraday dió el nombre de sustancias *diamagnéticas* á los cuerpos repelidos por los electro-imanés y *paramagnéticas* á las que son atraídas. El aparato de que hizo uso estaba reducido

á dos electro-imanés de gran potencia colocados uno á continuación del otro y dispuestos de modo que podían aproximarse más ó menos mediante una disposición especial del soporte que hacía el oficio de base. El diamagnetismo en los cuerpos sólidos se manifestaba tallándoles en forma de pequeños cubos suspendidos de hebras de seda retorcidas y que provocaban de este modo al desarrollarse un rápido movimiento de rotación, el cual quedaba paralizado al pasar la corriente por los electro-imanés, siempre que los cuerpos se hallasen colocados en el espacio que entre sí dejan aquellos.

La elevación ó depresión observada en la superficie de un líquido dispuesto en una pequeña cápsula de cristal y la posición horizontal que toma la llama de una bujía, cuando se hallan situados en el espacio que dejan entre sí dos electro-imanés, dan á conocer el diamagnetismo de los líquidos y de los gases respectivamente. Taladrando en toda su longitud las barras de hierro dulce y disponiéndolas en forma de polariscopos, se pueden observar efectos ópticos de gran importancia.

## LECCIÓN 90.

### EFFECTOS DINÁMICOS DE LAS PILAS.

373. **Efectos dinámicos de las pilas: electro-dinámica.**— Cuando los conductores de corrientes se disponen de modo que puedan moverse libremente, se observa en ellos ciertos hechos notables que han servido para dar lugar á una interesante parte de la electricidad, conocida con el calificativo de *electro-dinámica*.

Se ha convenido en representar con la palabra *corriente* los alambres metálicos dispuestos para dejar paso libre, en virtud de su buena conductibilidad, á la electricidad y toman diferentes nombres, según la forma que tienen aquellos; así es que se denominan paralelas, angulares, circulares, sinuosas, etc., cuyas voces dejan comprender fácilmente las direcciones que afectan.

374. **Acciones de las corrientes unas sobre otras.**— El estudio de las atracciones y repulsiones que presentan las corrientes, actuando unas sobre otras, comprende varios casos, entre ellos, los más importantes son los siguientes:

1.º *Acción de las corrientes paralelas.* La ley, que comprende esta acción, se formula del modo siguiente: *dos corrientes paralelas, dirigidas en un mismo sentido, se atraen: pero en sentido contrario se repelen.* Para comprobar esta ley se hace uso del aparato de Ampere, que se halla formado por una plataforma de madera, sobre la cual se elevan dos columnas de metal, que en su parte superior terminan en un sostén, en cuyo centro y por la parte inferior se hallan colocadas dos pequeñas cápsulas de cobre, cada una de las cuales comunica con una de las columnas. Basta suspender de estas cápsulas un alambre doblado en forma de rectán-

gulo, dispuesto de modo que la dirección que tome la corriente de una pila, al pasar por los lados verticales, sea la misma que la que sigue en las columnas, ó vice-versa, dando otra disposición al alambre, para que observemos las atracciones ó repulsiones.

2.º *Formando ángulo.* Si se aproximan ó alejan ambas del vértice, *se atraen*; pero si una se dirige al vértice y la otra se aparta del mismo punto, *se repelen*. Para comprobar experimentalmente esta ley, se suspende del referido aparato una corriente rectangular y aproximando á ella un bastidor de madera que tenga arrollado en su contorno un alambre recubierto de seda, puesto en comunicación con una pila y de modo que forme ángulo, observaremos de este modo el movimiento provocado por las atracciones y repulsiones enunciadas en esta ley.

3.º *Acción de una corriente circular sobre una corriente finita movil al rededor de su extremidad.* La corriente finita adquiere un movimiento de *rotación* por la acción de la circular. Para comprobar este movimiento conviene disponer el experimento de este modo. Al rededor de un depósito, lleno de agua acidulada, se arrolla un alambre conductor, cuyas dos extremidades se ponen en comunicación con los reóforos de una pila, auxiliándose de los correspondientes botones; en el centro del depósito se levanta una pequeña columna de metal, destinada á sostener en la parte superior un alambre dos veces encorvado en ángulo recto y que en sus extremidades sostiene una lámina de cobre plegada en circunferencia.

Todas estas acciones y otras muchísimas más, al disponer las corrientes formando otro orden de combinaciones, han sido estudiadas por el físico Ampere.

375. **Solenóides.**—Con este nombre se designa un sistema de corrientes circulares iguales y paralelas en comunicación con otra rectilínea, formadas por un solo alambre de cobre recubierto de seda y plegado sobre sí mismo. Un solenóide libremente suspendido y puesto en frente de una corriente rectilínea, produce las mismas atracciones y repulsiones que produce un imán. Obsérvase entre dos solenóides ó un solenóide y un imán las mismas atracciones y repulsiones que en dos imanes.

376. **Acción de la tierra sobre los solenóides y sobre las corrientes.**—Todo solenóide, suspendido libremente en su posición de equilibrio, toma una dirección completamente paralela á la de una aguja de declinación. Del mismo modo una corriente vertical movable al rededor de un eje que es paralelo á ella, se coloca en un plano perpendicular al meridiano magnético; por último, la acción de la tierra sobre las corrientes horizontales comunica á las mismas un movimiento de rotación, así como aquellas corrientes cerradas y movibles al rededor de un eje vertical se sitúan siempre en un plano perpendicular al meridiano magnético.

377. **Teoría de Ampere.** Este distinguido físico, en comprobación de los hechos anteriores, supuso que el magnetismo no era otra cosa sino el resultado de corrientes eléctricas cerradas, que existen en las mismas partículas de los cuerpos magnéticos. Como consecuencia de esto, la materia, cuando no manifiesta la propiedad magnética, está orientada de un modo cualquiera, así como cuando presentan las propiedades correspondientes á la imanación, ván dirigidas en un mismo sentido.

### CAPITULO III.

#### *Electricidad por el calor.*

#### LECCIÓN 91.

##### EXPERIMENTOS FUNDAMENTALES Y PILAS TERMO-ELÉCTRICAS.

378. **Electricidad por el calor: experimento de Seebeck.**—El calor engendra el estado eléctrico en ciertos cuerpos, muy particularmente en la turmalina que desde las temperaturas de 15 á 150° manifiesta su electrización como puede observarse al colocarla en un soporte móvil alrededor de un eje vertical, situando en frente un cuerpo electrizado con el que realiza atracciones y repulsiones.

El espato islándico, el diamante, el azufre, la esmeralda y el cuarzo también manifiestan este mismo fenómeno.

Las corrientes eléctricas no solamente pueden producirse por las acciones mecánicas ó por las acciones químicas, sino también por la temperatura, dando origen á las llamadas corrientes *termo-eléctricas* como se comprueba por el experimento de Seebeck. Este físico tomó una barra de bismuto sobre la cual soldó en sus dos extremidades otra lámina de cobre, dejando en la parte del centro un espacio de separación en el cual colocó una aguja imanada: observó que al calentar una de las soldaduras, la referida aguja se separó de la dirección del meridiano magnético, acusando la presencia de una corriente que sería tanto mas enérgica cuanto mayor fuese la diferencia de temperatura entre las dos soldaduras.

379. **Causa de las corrientes termo-eléctricas, pilas termo-eléctricas.**—La desigual conductibilidad de los metales soldados determinará desigualdad de valores en la amplitud vibratoria que á su vez influirá notablemente en el equilibrio del etér y como consecuencia dará origen á un aumento en la velocidad etérea propio para cada cuerpo y que no será igual en cada uno de los metales soldados.



Las pilas termo-eléctricas son aquellos aparatos que utilizan estas propiedades de los metales para el desarrollo de corrientes.

380. Pilas termo-eléctricas de Pouillet, Becqueret, Novili y Peltier.—Varios son los sistemas de *pilas termo-eléctricas* entre ellas merece citarse la de Pouillet que utiliza varias láminas de cobre y bismuto, cuyas soldaduras somete alternativamente, unas al calor producido por lámparas de alcohol en combustión y otras á cero grados, rodeándolas de hielo. Las barras soldadas están fijas en un armazón de madera que puede subir ó bajar á voluntad, para de este modo penetrar unas en las vasijas con hielo, y otras en el agua caliente.

Puede utilizarse también el sulfuro de cobre y el mélichor compuesto de 90 partes de cobre y 10 de níquel, como lo ha realizado Edmundo Bezquerel en su importante pila termo-eléctrica, puesta en acción con los mecheros de gas.

La pila termo-eléctrica de Novili la forman varias series de barras de antimonio soldadas con otras barras de bismuto de tal suerte, que todas las soldaduras pares se hallan á un mismo lado y las impares á otro. Reúnense cierto número de elementos iguales dándoles la forma de un prisma rectangular rodeado de un bastidor metálico que sostiene los botones á donde se fijan los réforos. Esta pila unida con el galvanómetro forma el importante aparato llamado *termo-multiplicador*, que tantas aplicaciones tiene en el estudio del calor.

Peltier ha ideado un instrumento muy sensible en la apreciación de temperatura, que denomina pinza termo eléctrica, formada por dos U, cuyos brazos son de antimonio y bismuto, colocadas una en frente de la otra por las soldaduras; la barra de bismuto de una U comunica con la de antimonio de la otra y las dos restantes con el galvanómetro que aprecia con los movimientos de su aguja la corriente eléctrica formada á expensas de la variación más insignificante de temperatura que presenten ambas soldaduras

## CAPITULO IV.

### *Electricidad por inducción.*

#### LECCIÓN 92.

##### DIVERSOS CASOS DE INDUCCIÓN ELÉCTRICA.

381. Inducción por las corrientes voltáicas y de electricidad por frotamiento.—La electricidad voltáica puede dar origen, lo mismo que la de frotamiento, al fenómeno de electrización por influencia que en este caso toma el nombre de *inducción*. La corriente que produce el fenómeno toma el nombre de *inductora* y la que se manifiesta en presencia de esta se llama *inducida*. Las

corrientes voltaicas producen inducción sin más que disponerlas arrolladas en un carrete de madera que pueda ser introducido en otro segundo carrete de mayor sección puesto en comunicación con un galvanómetro, cuya aguja se desvía del cero en el momento de introducir ó sacar bruscamente la corriente que procede de la pila del carrete de mayor sección.

La inducción por la electricidad debida al frotamiento se manifiesta muy sencillamente con el aparato de Matteucci formado por dos platillos de cristal que tienen en cada una de sus caras arrollado en espiral un alambre de cobre, pudiendo además los platillos aproximarse ó alejarse á una distancia conveniente.

Para experimentar con este aparato basta descargar una botella de Leiden entre los dos extremos de uno de los alambres, en la seguridad que otra persona que tenga asidos con ambas manos los extremos del alambre situado en el otro disco, sentirá la impresión correspondiente.

382. **Inducción por las corrientes discontinuas.**—La inducción por las corrientes voltaicas también se manifiesta, disponiendo el experimento con un carrete de madera que contenga arrollados dos alambres: los extremos de uno de ellos largo y delgado puestos en comunicación con un galvanómetro y los del otro, corto y grueso, con los reóforos de una pila, observándose en aquel la presencia eléctrica por la inducción que provocó éste.

383. **Ley de Lenz.**—Acerca de la inducción producida entre un circuito cerrado y una corriente en actividad formuló Lenz el siguiente principio: 1.<sup>a</sup> *Una corriente que se aproxima, ó cuya intensidad aumenta, engendra una corriente inducida inversa:* 2.<sup>a</sup> *Una corriente que se aleja ó cuya intensidad disminuye, desarrolla una corriente inducida directa.*

384. **Inducción por la acción de los imanes: inducción producida por estos en los cuerpos dotados de movimiento.**—En el momento de introducir ó sacar con rapidez una barra imanada en el interior de un carrete de madera que se halle rodeado de alambre, convenientemente aislado y en comunicación con el galvanómetro, la aguja de éste se desviará de su posición, anunciando la presencia de una corriente inducida.

Ambos hechos pueden utilizarse en la confirmación de la teoría de Ampere sobre la naturaleza de la causa de los fenómenos magnéticos.

Con respecto á la inducción producida por los imanes en los cuerpos que se hallan en movimiento puede patentizarse con el experimento siguiente: en una caja de madera que en la cara superior tenga una lámina de cristal colóquese interiormente un disco metálico dispuesto de modo que mediante dos poleas y una cuerda sin fin pueda adquirir un rápido movimiento de rotación: encima de la lámina de cristal puede situarse un estilete vertical que sostenga una barra imanada y se observará que en el momento de la rotación del disco esta se separa del meridiano.

385. Inducción de una corriente sobre sí misma: *extracorrientes*.—Se ha comprobado que al recibir el cuerpo humano los reóforos de una pila, cuando estos tienen una longitud grande y han estado arrollados en un carrete, la impresión es mucho más sensible que cuando no han cumplido esta circunstancia. Faraday explicó este fenómeno, admitiendo una acción inductora de la corriente sobre sí misma en cada una de las vueltas, corriente directa, es decir en el mismo sentido que la principal y que se designa con el nombre de *extracorrente de apertura* al abrir ó romper el circuito y *extracorrente de cierre* al cerrar el mismo circuito con la circunstancia que esta es inversa con respecto á la principal.

## LECCIÓN 93.

### MÁQUINAS MAGNETO-ELÉCTRICAS Y DINAMO-ELÉCTRICAS.

386. Máquinas magneto-eléctricas: sistema Pixii, Clarke, Nollet y Gramme.—Se llaman máquinas *magneto-eléctricas* todos aquellos aparatos destinados á producir corrientes de gran intensidad, utilizando la inducción por los imanes. Dichos aparatos están formados por una combinación de imanes y carretes dispuestos de modo que puedan tomar unos ú otros un rápido movimiento de rotación, poseyendo además una pieza denominada *conmutador* destinado á invertir las corrientes alternativas que se desarrollan y dirigirlas siempre en un mismo sentido. En el aparato de Pixii los imanes son los que se hallan dotados del movimiento de rotación, permaneciendo fijos los carretes de inducción; por el contrario en el aparato Clarke, éstos son movibles y los imanes se hallan fijos en un plano vertical. El movimiento de rotación se efectúa por engranajes angulares ó por poleas con cuerda sin fin. El aparato Nollet le constituyen seis series de imanes dispuestos en un gran armazón de hierro fundido, de forma cilíndrica y por los espacios de separación discurren numerosas series de carretes horizontales montados en un gran cilindro que permite tomar un rápido movimiento de revolución, mediante un motor industrial.

La máquina Gramme, modelo de Laboratorio se compone de un haz de imanes poderosos en forma de herradura delante de cuyos polos gira un anillo de hierro dulce; cada punto de este anillo se convierte á su vez en polo magnético, adquiriendo un máximun de imanación y llegando á ser nulo durante una sola vuelta á este fin se halla rodeado de treinta bobinas las que por la imanación variable del hierro son atravesadas constantemente por poderosas corrientes inducidas, quince en un sentido y quince en otro. Estas

corrientes se recogen merced á una disposición muy ingeniosa: el alambre antes de ser arrollado en la bobina se ata á una varilla metálica que contiene también el alambre en la bobina inmediata, de aquí si la corriente desarrollada en una bobina no puede deslizarse por la varilla metálica recorre la bobina siguiente y refuerza la corriente inducida de esta. Lleva además un volante dentado que merced á un manubrio imprime un movimiento de rotación al anillo y á sus bobinas, cuyas láminas al ser frotadas con unas escobillas las comunican la corriente para llevarla donde sea preciso.

387. Máquinas dinamo-eléctricas: ideas de los sistemas modernos más importantes.—La sustitución en estos focos de electricidad de los imanes por los electro-imanés en los que se desarrolla la corriente merced al *magnetismo remanente* dispensando el uso de pila ha dado lugar á las máquinas dinamo-eléctricas.—Estas representan focos eléctricos mucho más poderosos que las máquinas magneto-eléctricas, pero exigen en cambio un movimiento mucho más rápido, para de este modo transformar en corriente el trabajo de un motor cualquiera como puede ser el vapor. Uno de los principales sistemas es el de Gramme, formado por dos robustos electro-imanés cilíndricos colocados horizontalmente y unidos entre sí por los polos del mismo nombre, los cuales ofrecen unas prolongaciones dentro de los que giran los anillos cuyas varillas tocan á las escobillas colectoras puestas en comunicación con los alambres conductores.

Siemens, que fué el primero que descubrió este nuevo modo de producir corrientes, construyó la *dinamo* que lleva su nombre y con resultados bastante satisfactorios.

Edisson, Meritens, Maxin y otros varios han suministrado notables máquinas dinamo-eléctricas que se consideran hoy como las indispensables para el desarrollo de corrientes de una intensidad utilizable en el alumbrado eléctrico; debiendo advertir con respecto á la de Meritens que posee el carácter no solo de *dinamo*, sino *electro-magnética*, lo cual revela la analogía que guarda su construcción con la de la Alianza. Pertenece también á este sistema la de Gordon que se puede considerar como la mayor del mundo, pues necesita 140 caballos de vapor como fuerza motora, siendo capaz en cambio el poner en combustión 7000 lámparas eléctricas

388. Carrete de Ruhmkorff: sus efectos.—El carrete de Ruhmkorff está formado como su mismo nombre lo indica por un cilindro de madera que tiene arrollados en su superficie dos alambres de desigual grueso, el de mayor sección en la parte interior, el cual puede ponerse en comunicación con la pila y el de menor sección da muchas vueltas atendiendo á su gran longitud que nunca baja de cuatro ó cinco kilómetros; este da la corriente inducida que se interrumpe por el intermedio de un martillo oscilante que choca contra una barra de hierro dulce colocada en el eje del carrete. Así se consigue que la tensión de la corriente di-

recta supere siempre á la corriente inversa, adquiriendo un efecto tanto más considerable cuanto mayor es la resistencia del carrete.

El mecanismo de interrupción de la corriente varía según el sistema y entre estos se puede citar el interruptor Foucault, llamado también de mercurio.

Los efectos á que da lugar este aparato, son de gran intensidad y se efectúan con una rapidez extraordinaria, así es que pueden reproducirse con mucha mayor perfección todos aquellos experimentos observados en las baterías voltaicas.

Pueden utilizarse también para cargar botellas de Leiden, así como también para examinar como lo realizase Geissler en sus importantes experiencias las coloraciones de la chispa eléctrica al atravesar gases rarificados en el interior de tubos de cristal.

## CAPITULO V.

### *Unidades eléctricas.*

#### LECCIÓN 94.

##### INTENSIDAD DE LAS CORRIENTES Y UNIDADES ELÉCTRICAS.

389. **Intensidad de las corrientes: leyes de Ohm.**—La intensidad de las corrientes es siempre dependiente de su potencia luminosa, calorífica, magnética, descomponente ó inductiva; así decimos que dos corrientes tienen igual intensidad cuando en la misma unidad de tiempo producen el mismo efecto.

El físico Ohm descubrió las siguientes leyes referentes á la intensidad de las corrientes: 1.<sup>a</sup> *La intensidad de una corriente está en razón inversa de la longitud del circuito exterior que esta recorre, ó lo que es lo mismo, en razón inversa de la resistencia.* 2.<sup>a</sup> *Es directamente proporcional al área de la sección del circuito.* 3.<sup>a</sup> *Es directamente proporcional al coeficiente de conductibilidad del circuito.*

390. **Medida de la intensidad de las corrientes: Brújula de senos.**—El galbanómetro y el voltámetro permiten medir la intensidad de una corriente, este en un tiempo dado y aquel en un instante, así es que tratándose de corrientes enérgicas es preferible el uso de la *Brújula de senos* llamada así, porque con ella se demuestra la proporcionalidad que existe entre el seno del ángulo marcado por la desviación de la aguja imanada y la intensidad de la corriente. La brújula de senos la forma una aguja imanada que gira en el interior de un estuche cilíndrico y graduado, fijo en un pedestal vertical que gira también en un círculo de metal

dividido en partes iguales, estando este provisto además del correspondiente nonius. Un alambre de cobre arrollado pocas vueltas en un bastidor fijo en un plano perpendicular al estuche, permite conducir la corriente por su medio á los correspondientes topes ó tornillos: en resumen es una combinación de la brújula y el galvanómetro.

Podemos variar la intensidad suministrando el medio de aumentar según se quiera la resistencia á su propagación dando lugar á una desviación determinada en el galvanómetro, lo cual se consigue con los aparatos denominados *reostatos*.

391. **Unidades eléctricas: Coulomb, Ampere, Ohm y Volt.**—En la necesidad de representar los variados efectos electricos des- envolviendo sus mútuas relaciones expresadas matemáticamente, se ha dado origen á una ciencia nueva sujeta al rigorismo del cálculo que suprime las divagaciones de antiguas teorías, estableciendo para los diferentes casos, las unidades electro-magnéticas siguientes: 1.<sup>a</sup> Unidad de cantidad denominada *Coulomb* representa aquella cantidad de electricidad que al atravesar, bajo la forma de corriente, una disolución de plata precipita un milígramo de este metal. 2.<sup>a</sup> Unidad de intensidad llamada *Ampere* y que se refiere á la unidad anterior en un segundo. 3.<sup>a</sup> Unidad de resistencia recibe el nombre de *Ohm*, aludiendo á la resistencia que opone á la corriente un hilo telegráfico de hierro de 4 mm. de diámetro y 100 de largo; y 4.<sup>a</sup> Unidad de electro-motriz llamada *Volt* referida á la fuerza eléctrica que se desenvuelve en un elemento de Daniell.

El cociente que resulta de dividir el Volt por el Ohm forma otra nueva unidad denominada *Weber*.

## CAPITULO VI.

### *Aplicaciones eléctricas. (a)*

#### LECCIÓN 95.

##### APLICACIONES DEDUCIDAS DE LOS EFECTOS CALORÍFICOS Y LUMINOSOS.

392. **Piróforos: cebos de MM. Statehan y Abel: explosor Bregnet.**—Se llaman piróforos aquellos aparatos por los cuales conseguimos inflamar los cuerpos combustibles, aprovechando los efectos caloríficos de las corrientes. Un piróforo bien sencillo es

(a) Es verdaderamente notable la serie de artículos publicados en la *Revista contemporánea*, por el Sr. Becerro Bengoa, uno de los catedráticos de Física que más se distinguen en nuestro país, con motivo de la Exposición de electricidad últimamente celebrada en París.

el formado por un espiral de platino, puesto en contacto con la mecha de una lámpara de petróleo y en comunicación con una pila de Grenet; bajando el zinc de esta, se produce la corriente y la espiral de platino se calienta hasta el extremo de producir la combustión del petróleo que llega á la mecha.

Los cebos de Statehan y Abel tienen por objeto provocar la combustión de las cargas de pólvora para producir el desprendimiento de grandes bloques de peñas en ciertas obras y en los trabajos mineros. Ambos cebos están formados por un alambre doblado recubierto de guttapercha y que, en la vuelta que producen, está cortado y encerrado en un recipiente de cartón ó cartucho con un poco de fulminante de mercurio y pólvora en el de Statehan y una mezcla de clorato potásico, sulfuro y fósforo de cobre en el de Abel.—Si ponemos los extremos del alambre con la bobina ó carrete Kuhmkorff y hacemos saltar una chispa en el sitio donde está cortado el conductor y el cebo se inflamará produciendo los efectos deseados.

El explosor Breguet sustituye al carrete Kuhmkorff dispensando el empleo de pila, pues está reducido á una máquina magneto-eléctrica, en donde unos imanes de herradura determinan una poderosa corriente de inducción en los dos carretes de alambre, fijos en sus polos ó extremos.

393. Iluminación eléctrica: procedimientos para su producción.—El famoso experimento de Humphry Davy, haciendo brotar la chispa eléctrica, en 1813, entre dos trozos de carbón unidos á los reóforos de una poderosa batería, sirvió de punto de partida para todos aquellos ensayos que se han venido practicando hasta la fecha, con el fin de producir un foco de gran poder luminoso por el intermedio de la electricidad. Estos ensayos ó procedimientos, en la imposibilidad de darlos todos á conocer, están reducidos á los siguientes: 1.º *Organos generadores* encargados de producir la corriente, pudiendo ser baterías Bunsen, por lo menos de 60 á 70 elementos, máquinas dinamo-eléctricas, como la de Gramme (modelo de taller), Meritens ó magneto-eléctricas, como la *alianza* ó cualquiera de las citadas en lecciones anteriores y algunas más que se describen en tratados especiales. 2.º Medios de producción encargados por sí propios de la emisión del destello eléctrico, entre los cuales se citan los conos de carbón, fijos en unos aparatos denominados reguladores, que permiten conservar á la misma distancia los extremos de aquellos, á pesar de su consumo, para conseguir de este modo la duración ó continuidad del foco iluminante. Participan también de este carácter las denominadas bujías Jablochkoff y una multitud de sistemas de lámparas que figuraron en la Exposición de electricidad celebrada en París el año 1881.

394. Reguladores eléctricos: bujías Jablochkoff: lámpara Sol.—Los reguladores son instrumentos más ó menos complicados, que aproximan automáticamente los carbones productores del arco voltáico con aquella frecuencia que exige el mútuo consumo. En estos instrumentos se observa que el gasto del carbón negativo es la mitad que en el positivo, en el supuesto de usar



pilas, pues con las máquinas de inducción el consumo de ambos carbones es el mismo. El número de reguladores descubiertos es muy grande; pero, sin embargo, los considerados como mejores son el de Serrin, Dubosq, Siemens y, tanto en estos como en los demás, se observan, en primer término, columnas destinadas á servir de porta-carbones que se mueven en las condiciones expuestas, mediante mecanismos, siempre complicados, y en los cuales se emplean aparatos de relojería situados en los estuches que forman la base ó pedestal de todo el aparato.

El procedimiento del ingeniero ruso Jablochhoff marca un rápido progreso en el alumbrado eléctrico, porque dispensa el comprometido y enojoso uso de los reguladores. Hace uso de dos barritas de carbón, incrustadas paralelamente en una masa aisladora y fusible, que es el *colombin* (mezcla en partes iguales de sulfato de cal y sulfato de barita), lo cual dá el aspecto á este descubrimiento, de una bujía, cuya intensidad luminosa equivale á 30 mecheros de gas. Estas bujías tienen 25 centímetros de longitud por 4 mm. de diámetro, y tardan en consumirse hora y media. Jablochhoff, para aplicar este sistema al alumbrado público, utilizó un soporte especial que permite sostener cinco ó seis bujías de repuesto, encerrado en la parte inferior de un globo de cristal deslustrado, que espere la luz de un modo conveniente. Estas bujías han sufrido notables modificaciones; entre estas, las más importantes son debidas á Jamin y Wilde. Sabido es el aumento luminoso que adquiere la luz del hidrógeno y del oxígeno sobre un trozo de cal y *Clere* ha aplicado este principio al arco voltaico, proyectando con una cierta inclinación los carbones en un trozo de granito y marmol, despidiendo unos destellos deslumbradores, que sirvieron para distinguirla con el nombre de *Lámpara Sol*, á quien sólo es comparable.

395. Lámparas de Edison, Swan, Maxin y otros.—Facilitan considerablemente la aplicación del alumbrado eléctrico las denominadas *lámparas de incandescencia*, formadas por pequeños globos de cristal, en cuyo interior se fijan carbones especiales que pueden cerrar el circuito eléctrico con alambritos de platino y que, una vez en combustión, bien sea en el vacío, ó bien en ciertas atmósferas especiales, radian la luz voltaica en condiciones superiores á las bujías, ofreciendo además la divisibilidad ó fraccionamiento en focos. La lámpara Edison es un globo que contiene un filamento de carbón, procedente de una especie de bambú; en el globo se ha hecho el vacío y á los extremos del carbón llegan los conductores de la corriente, mediante una armadura níquelada. El sistema Swan pertenece también á la incandescencia en el vacío, pero se diferencia de los anteriores en que el filamento de carbón procede de mechas de algodón empapado en ácido sulfúrico, sujetas después á la calcinación en crisoles llenos de carbón.

La lámpara Maxin, análoga á las anteriores, forma su carbón el procedente del cartón Bristol, de la figura de M, caliente al rojo en una atmósfera de hidrógeno muy carburado. El poder luminoso de la lámpara Edison oscila entre 8 y 12 bujías; la de Swan entre 12 y 25, y la de Maxin de 25 á 30. Se conocen también diversos sistemas de lámparas de incandescencia en el aire, entre las cuales figuran las de Regnier, Joel, Werderman, Trouvé, y Mourlón-Nethomb de tres filamentos.



## LECCIÓN 96.

## APLICACIONES DEDUCIDAS DE LOS EFECTOS MAGNÉTICOS.

396. Campanillas eléctricas y cuadros indicadores: su instalación.—Con este nombre designamos á los llamadores que se usan en el servicio doméstico, fundados en las atracciones que verifican los electro-imanés por medio de corrientes eléctricas.

Las campanillas las forma un electro-imán fijo en una tablita provista de su armadura de hierro dulce sostenida por muelles y terminada en un pequeño mazo que choca contra un timbre: esto se verifica en el caso de que la corriente pase por el alambre del electro-imán y por el interruptor que forma su armadura, ésta es atraída instantáneamente y su mazo produce un sonido en el timbre. El muelle sirve para desmanar el electro-imán, pero el paso de otra nueva chispa produce análogo efecto, el cual puede repetirse todo el tiempo que permanezca la comunicación de una pila con este instrumento. Complemento de la campanilla es el *trasmisor* formado por dos láminas metálicas que no se tocan merced al muelle que las constituye y cada una de ellas se pone en comunicación con una corriente que resulta cortada de este modo, pero tocando nuevamente un botón, con quien comunica y que se coloca en el centro de una cajita circular, se hace paso á la corriente y la campanilla funciona.

La regla para la instalación es la siguiente: se une por medio de un alambre el trasmisor colocado á la mayor distancia con una de las prensitas de la campanilla y la otra comunica con el zinc de una batería Leclanché, el carbón de la pila comunica directamente por medio de dos alambres con los dos primeros conductores.

Forman también parte de este servicio los *cuadros indicadores* que señalan el sitio en donde se provocó el sonido de la campanilla, cuando comunica con varios departamentos. Están formados por un cristal con una serie de ventanillas y que cierra la caja que contiene todo el mecanismo; este se reduce á electro-imanés colocados á cada lado de unas palancas imanadas que sostienen tarjetas con un número. Dichas palancas por la posición que tienen, pueden ser atraídas y repelidas, y este cambio de posición hace que el número se coloque en frente de la ventanilla, de cuyo sitio es posible retirarle por medio de topes que comunican con el exterior. Se pone en función este útil aparato, estableciendo una comunicación entre cada trasmisor y uno de los extremos del alambre correspondiente al mismo electro-imán del cuadro.

En el marco del cuadro hay un tornillo á donde comunican todos los extremos de los electro-imanés, y este debe comunicar con la campanilla y á su vez con el polo negativo de la pila; un alambre general recoge, mediante empalmes especiales, todos los trasmisores y también el polo positivo de la pila.

397. Relojes eléctricos: contadores.—La electricidad también se utilizó para lanzar la hora á diferentes aparatos de relojería unidos entre sí, marcando todos á la vez una misma hora. Esto se puede conseguir de dos modos: 1.º Haciendo uso de un buen reloj de péndola, la cual en su parte superior lleva dos contactos

metálicos de platino que establecen el circuito en cada oscilación aprovechando esta circunstancia para mover los mecanismos de otros tantos relojes simplemente contadores. 2.º Empleando estos mismos contadores puestos en comunicación por un reloj tipo movido por la electricidad que en este caso se utiliza para imprimir á la péndola la fuerza perdida en cada oscilación por el esfuerzo constante de un muelle levantado en el momento oportuno por un electro-imán.

Fromet é Hirn se consideran los sistemas mas aceptables de esta clase de aparatos.

398. **Idea general de los telégrafos de Morse y de cuadrante: manipuladores, receptores y trasmisión.**—Entre los diferentes sistemas telegráficos conocidos merecen ocupar un lugar preferente los debidos á Morse y Fromet, aunque no sea mas que atendiendo al uso que se hace de ellos en nuestra nación.

El telégrafo de Morse usado en las estaciones del Gobierno se halla formado por las siguientes partes: 1.ª El *receptor* destinado á recibir las señales que se marcan en una hoja de papel y representan con puntos y rayas las letras del alfabeto. Esta parte del telégrafo le forma un aparato de relojería destinado á poner en movimiento dos pequeños tambores horizontales por los cuales discurre, desarrollándose convenientemente, un cintillo de papel dispuesto en una polea, cuyo coginete está situado encima del aparato de relojería. Además lleva un pequeño electro-imán, el cual cuando pasa la corriente atrae la pieza de hierro dulce fija en la extremidad de una palanca de primer género provista de un punzón que al elevarse por la atracción de la pieza hacia el electro-imán marca el punto ó la raya, según que la atracción haya sido instantánea ó continuada por algún tiempo. 2.ª El *manipulador* tiene por objeto cortar la corriente que llega al receptor instantánea ó continuadamente para que así dicho receptor pueda marcar las señales convenidas. El manipulador está formado por una palanquita de primer género dispuesta de un modo tal que cierra la corriente por una ligera presión al chocar su extremidad con un botón á donde llega la corriente. 3.ª La *trasmisión* se efectúa estableciendo la comunicación de ambos aparatos por medio de alambres metálicos convenientemente aislados y que parten de los reóforos de una batería voltáica.

Con respecto al telégrafo de Fromet ó de cuadrante, diremos que se halla formado por las iguales partes que el anterior; sin embargo, los signos establecidos son los mismos de nuestro alfabeto. El receptor está compuesto de un círculo de metal, en cuyo contorno se hallan colocadas las letras del alfabeto, y una aguja señala á aquellas en su movimiento de rotación. Esto se consigue con una horquilla fija en una palanca de primer género, que termina en la correspondiente pieza de hierro dulce y adquiere, por el intermedio de un electro-imán, movimientos análogos á los de este mismo órgano en el anterior sistema. El manipulador es también un círculo de metal con las letras del alfabeto y un manubrio que gira en el

centro, pone en movimiento á una rueda dentada, cuyos dientes pueden alternativamente presentar contactos á dos varillas de metal á donde llega la corriente. La trasmisión se efectúa del mismo modo que en el anterior sistema, teniendo presente que todas las posiciones que toma el manubrio en el manipulador son reproducidas por la aguja en el receptor.

399. **Sistemas telegráficos importantes: generalidades acerca de la instalación de todos ellos.**—Además de estos sistemas existen otros de gran importancia como sucede al del físico Hughes, en el cual el manipulador le forma un teclado con 28 teclas correspondientes á cada una de las letras del alfabeto y dispuestas lo mismo que las de los pianos y el receptor, en vez de producir puntos ó rayas imprime letras. El telégrafo autográfico de Caselli utiliza el papel con cianoferruro amarillo de potasio para transmitir un fac-símile del despacho escrito por el que lo envía.

Existen, además, otra infinidad de sistemas que dan idea muy perfecta de lo mucho que ha preocupado esta interesante cuestión á todos los amantes del progreso de las ciencias.

En la instalación de todos ellos es preciso tener en cuenta reglas especiales, que la práctica ha venido á descubrir, haciendo necesario el concurso de aparatos secundarios, entre los cuales figuran el galvanómetro, para-rayos, los relevos y los aisladores de porcelana, que sostienen los alambres que forman la red de las comunicaciones. Además se simplifican los hilos conductores en la corriente de *retorno*, aprovechando la comunicación con el suelo. Finalmente, cuando los hilos telegráficos necesitan atravesar los mares, se les hace múltiples, recubriéndoles de sustancias aisladoras é impermeables, formando lo que se denomina *cables submarinos*.

## LECCIÓN 97.

### CONTINUACIÓN DE LAS APLICACIONES ELECTRO-MAGNÉTICAS.

400. **Teléfono Bell, Edison y otros.**—El teléfono de Graham Bell, cuyo fundamento se dió á conocer en la Lección 19 sirve, como su mismo nombre lo indica, para transmitir los sonidos á largas distancias: está compuesto de una barra imanada provista de un carrete de inducción, en el cual los extremos del alambre establecen su comunicación con los conductores que forman la línea. Delante del imán se fija á muy pequeña distancia una hojuela de hierro y todo esto se cierra en un estuche cilíndrico de madera provisto en uno de sus extremos de una boquilla, cuyo fondo tiene un taladro, por donde se vé la laminilla de hierro. Para hacer funcionar este aparato se usan dos, uno que hace el oficio de trasmisor y el otro de receptor y vice-versa unidos entre sí por medio de dos conductores de cobre que salvan la distancia de separación. La persona que habla aproxima uno de los teléfonos á la boca, á modo de porta-voz y todos los sonidos que emite hacen vibrar al unísono á la lámina de hierro, dando por resultado una

serie de aproximaciones y alejamientos con el imán, y por lo tanto se dá origen á una serie de corrientes inducidas y reinvertidas alternativamente, directas é inversas, en el alambre de cobre. Así se trasmite el sonido á lo largo de la línea con mas intensidad que la simple propagación sonora y se reproduce en la lámina del teléfono que hace el oficio de receptor, en el cual se oyen aproximándole al oído la persona que escucha.

Edisson modificó el anterior aparato, disponiendo el trasmisor y receptor diferentemente y aplicando á los carretes la corriente eléctrica de la pila para obtener de este modo mayor alcance en la transmisión que mediante la comunicación con un timbre, permite disponer de este modo una estación telefónica de magníficos resultados.

Se conocen además otros sistemas de teléfonos como son el de Siemens, Gower, Ader, Gray, Trouvé y Phelps.

401. **Micrófono Hughes, Edison y otros.**—Con el nombre de micrófono ha dado á conocer Hughes un aparato que tiene por objeto reforzar los sonidos amplificándoles para hacerles mas sensibles por pequeños que estos sean; no es más que una barrita de carbón que apoya sus extremos en dos trozos de esta misma materia dispuestos á manera de coginetes fijos en un prisma de madera sostenido á su vez en una peana. Si fijamos los dos conductores de un teléfono á los dos trozos de carbón, pero interponiendo una pila, podremos oír á una distancia bastante grande el pequeño ruido producido en la peana por el paso de una mosca, el fro-tamiento suave de las barbas de una pluma y las pulsaciones de un reloj de bolsillo á la distancia de 30 metros.

El micrófono, así dispuesto, ha servido de fundamento á la construcción de los llamados transmisores microfónicos, utilizando la combinación de varias barritas de carbón que por su número y especial montaje sirven para diferenciar los sistemas de Ader, Bert y Arsonval y Boudet.

Pertenece á esta clase de aparatos el micro-teléfono Edison á cuyo fin la membrana de hierro del teléfono descansa sobre un cilindrito de este mismo metal y comunica con otro de carbón de negro de humo comprimido unido al circuito que produce la pila.

402. **Aplicaciones telefónicas.**—Muchas y sorprendentes son las aplicaciones que podemos deducir de tan importantes inventos y una prueba de ellas son las estaciones telefónicas, hoy instaladas con satisfactorios resultados en muchas poblaciones importantes de los Estados-Unidos, Inglaterra, en la capital de la vecina república francesa y en Madrid. Las audiciones teatrales, ventajosamente ensayadas en la Exposición de Electricidad celebrada en París el año 1881, permitieron oír por tan ingenioso medio las piezas musicales ejecutadas en el gran teatro de la Opera distante dos kilómetros, utilizando transmisores Ader colocados convenientemente á lo largo del proscenio en las bandas laterales del apuntador.

## LECCIÓN 98.

APLICACIONES DEDUCIDAS DE LOS EFECTOS QUÍMICOS  
DE LAS CORRIENTES.

403. **Galvanoplastia, principios fundamentales de esta industria.**—La galvanoplastia es una de las artes nacidas del conocimiento de los efectos químicos que producen las corrientes y tiene por objeto la reproducción en metal de multitud de objetos: usados en el mobiliario y decorado, como puedan ser medallas, estatuas, jarrones, candelabros, etc., etc. Los elementos necesarios para este arte son: 1.º Un foco de electricidad, por ejemplo, la batería Daniell preferida por su constancia, ó máquinas dinamoeléctricas, si se plantea esta industria en gran escala. 2.º Depósitos ó baños en donde se puedan sumergir los moldes que se tratan de reproducir y que aparecen cubiertos de una capa metálica precipitada por la corriente eléctrica puesta en comunicación con estos.

Las materias empleadas en la elaboración de los moldes, son la escayola, guta-percha, aleación fusible, en general materias plásticas que permiten su completa adherencia al objeto que se trata de reproducir y su fácil separación. Estos moldes es preciso metalizarlos por medio de la plumbagiaua.

El baño le forman disoluciones concentradas de sulfato de cobre que contiene al molde ó moldes sostenidos mediante conductores que comunican con el polo negativo de la pila y también una lámina de cobre que guarda comunicación con el polo positivo de la misma. Terminado cierto tiempo la corriente eléctrica descompone el sulfato de cobre, precipitándose este metal sobre el molde y la lámina de cobre atacada por el ácido libre recupera nuevamente la sal gastada, manteniendo de este modo casi igualmente concentrada la solución.

Los objetos metálicos obtenidos de este modo contienen todos los detalles del molde por delicados que sean, siendo reproducidos fielmente.

404. **Dorado y plateado galvánico: preceptos generales.**—El dorado y plateado galvánico se efectúan de la misma manera que la reproducción anterior, sustituyendo el molde por el objeto que se trata de dorar ó platear, así como empleando las sales de oro ó plata en la confección del baño, dentro del cual se coloca aquel y una lámina de estos metales en vez de la de cobre.

Los objetos que han de recibir la capa de oro ó plata, es preciso que estén extremadamente limpios, utilizando baños corrosivos ó procedimientos mecánicos por medio de fricción con cepillos metálicos llamados *gratas*.

Las composiciones más usadas para los baños son las siguientes.

| DORADO.                              | ⋮<br>Y<br>⋮ | PLATEADO.                     |
|--------------------------------------|-------------|-------------------------------|
| Cianuro potásico. . . . .            | 20          | Nitrato de plata. . . . . 15  |
| Carbonato potásico. . . . .          | 15          |                               |
| Clorhidrato amónico. . . . .         | 3           | Cianuro potásico . . . . . 25 |
| Cloruro de oro. . . . .              | 3           |                               |
| Agua destilada, ó de lluvia. . . . . | 1000        | Agua de lluvia. . . . . 1000  |

405. **Aplicaciones de la galvanoplastia: electro-tipia.**—Por medio de procedimientos análogos se consigue retirar la plata y oro depositado sobre un objeto, dar á la plata el aspecto antiguo y formar lo que se llama *plata oxidada*, efectuar, el platinado, níquelado, cobreado, latonado y estañado galvánico, tan útiles en las artes decorativas y en multitud de objeto de lujo.

Los grabados en madera que utiliza la imprenta en sus tiradas no ofrecen la resistencia necesaria en un número grande de ejemplares y á este fin se obtienen reproducciones galvanoplásticas en hojas de cobre delgadísimas que rellenas del metal de imprenta, satisfacen cumplidamente las condiciones exigidas. Otras veces se efectúa el grabado en láminas metálicas atacadas por ciertos ácidos en unión de la corriente eléctrica que dulcifica los dibujos considerablemente.

406. **Electro-química práctica.**—Los efectos químicos de las corrientes se utilizan en la actualidad en toda clase de operaciones metalúrgicas para verificar la separación del oro, plata, platino y cobre de otros cuerpos, pudiendo aplicarse estos procedimientos á la Química analítica y á la Química industrial, en la primera para el dosado de todos los metales en la ganga que les formen y en la segunda para la rectificación y purificación de los alcoholes en general.

## LECCIÓN 99.

### MOTORES ELÉCTRICOS Y OTRAS VARIAS APLICACIONES.

407. **Motores eléctricos: sistemas principales.**—Los motores eléctricos son aquellos que utilizan directamente la electricidad como fuerza motriz. Según Verdet, estos motores se agrupan en dos tipos distintos, *máquinas oscilantes* y *rotatorias*. En las primeras un electro-imán fijo atrae, cuando atraviesa la corriente, una pieza de hierro dulce, y terminado este efecto, un comunicador dirige la corriente á otro electro-imán, obligando á producir análogo efecto á su armadura de modo que ambas barras de hierro dulce están fijas en los extremos de un balancín y este funcionará, imprimiendo movimiento á un volante por medio del excéntrico correspondiente; pertenece á este sistema la máquina Bourbouze. Las máquinas rotatorias tienen los electro-imanen en bastidores cilíndricos colocados á igual distancia y las armaduras situadas

en otros también cilíndricos y concéntricos á aquellos que pueden girar por la influencia atractiva de los electro-imanés como sucede en el electro motor Froment de rotación continua. Se conocen otros sistemas, como el motor Trouvé aplicado á la navegación, previa la aplicación del principio llamado de *reversión* en la máquina Siemens.

Utilizadas las máquinas dinamo-eléctricas como electro-motores, ó para engendrar la corriente necesaria se han podido verificar notables ensayos como los verificados en Mayo de 1879 por M. Felix en su explotación de azúcar de remolacha en Maone, consiguiendo poner en movimiento poderosas máquinas aratorias y los que han tenido lugar ultimamente en Berlín y París para conseguir la traslación de tran-wias ó el arrastre de carruajes, formando verdaderas locomotoras eléctricas.

408. *Trasmisión de la electricidad á distancia.*—Si comunicamos dos máquinas Gramme por medio de un hilo á una distancia más ó menos grande, el movimiento que anima á la una, trasformado en electricidad, se trasmite á la segunda: su bobina gira y este movimiento puede utilizarse como fuerza motora. Tan sencillo resultado entraña el fenómeno *reversión* y dá lugar á la trasmisión de la electricidad á distancia, constituyendo los ensayos verificados en este sentido, uno de los progresos mas notables de la electricidad, porque viene á representar la comunicación de fuerza á grandes distancias, lo cual no podía verificarse á no ser por el intermedio de correas, poleas, cables de uso siempre muy limitado. De este principio práctico se deduce que podrán tener aplicación fuerzas naturales que hoy carecen de ella por circunstancias especiales de distancia, como son los saltos de agua lo cual representa muchos millones de caballos de que consta su potencia, hoy perdida por completo.

409. *Aplicaciones electro-medicinales.*—La Terapéutica ha sabido aprovecharse de todos estos descubrimientos para hacer aplicación de las corrientes sobre el organismo en la curación de ciertas dolencias, contando en la actualidad con infinidad de aparatos *electro medicinales* en donde se poseen los medios mecánicos necesarios para dar una dirección é intensidad conveniente á las corrientes eléctricas. Todos ellos son aplicaciones directas de los aparatos magneto-eléctricos ya descritos, pero dispuestos en mas pequeña escala, bien sea, aprovechando las corrientes de inducción por los imanes ó por las pilas con el empleo de pequeños carretes Runkhorff, provistos de una serie de varillas de hierro dulce que pueden introducirse á voluntad en el hueco ó alma del mismo carrete para reforzar por su número la corriente, ó también utilizando los progresos del alumbrado eléctrico como focos de poderosa iluminación en ciertas partes del organismo de muy difícil inspección.

410. *Aplicaciones de la electricidad al arte de la guerra y á*

la navegación.—La electricidad puede suministrar utilísimas aplicaciones en los campos de batalla por medio de su potente luz, y á este fin se han construido locomóviles especiales como la de Saulter y Lemonnier que permiten además divisar los barcos á mas de 3.000 metros de los puertos; los faros eléctricos tienen análogo carácter y también la instalación del alumbrado eléctrico en los barcos de guerra y en los ordinarios. Por último, los aparatos denominados *cronógrafos* destinados á la medida de la velocidad de los proyectiles.

## SECCIÓN COMPLEMENTARIA Y ÚLTIMA.

---

### LECCIÓN 100.

#### RELACIÓN ENTRE LOS AGENTES FÍSICOS.

411. Analogías entre el calor y la luz: ley de Jamin y Masson.—El estudio del fenómeno de la termócrisis, refiriéndose al calor luminoso, sirvió de punto de partida á cuantos experimentos se han verificado con tendencia á la unificación de ambas manifestaciones de las fuerzas físicas. El resultado de estos trabajos ha servido para probar que los rayos caloríficos son perfectamente comparables con los luminosos; sin embargo, los cuerpos transparentes para la luz y para el calor luminoso no lo son para el oscuro, y recíprocamente. Jamin y Masson, haciendo pasar haces del espectro á través de vidrios verdes, violados y azules, dedujeron que *en la parte luminosa del espectro el calor y la luz se transmiten siempre en las mismas proporciones á través de un medio cualquiera.*

Otra de las analogías que nos ofrece el calor al compararle con la luz es la dependiente del fenómeno de la polarización: en efecto, los rayos caloríficos se polarizan por reflexión y refracción: así lo comprueban los estudios de Bérard que observó el mínimo de intensidad cuando el plano de refracción sobre el segundo de los espejos destinados á este estudio y procedentes del aparato Noremborg, era perpendicular al plano de reflexión del primero.

Meloni estudió la polarización del calor por refracción á través de dos turmalinas, y halló el mismo valor para el ángulo de polarización calorífica que para el de la luz. Desains patentizó la rotación del plano de polarización, operando con el cuarzo y encontró en los rayos caloríficos el fenómeno del resalto.

412. Correlación de las fuerzas físicas.—El estudio comparativo de los principales fenómenos caloríficos, luminosos y eléctricos nos dá como resultado un mismo orden de movimientos para deducir la unidad de origen. Es cierto que hay fenómenos en los



cuales, hasta la fecha, no se ha encontrado relación alguna; en otros, por el contrario, se ha deducido y en muchos se ha demostrado su igualdad, cuya circunstancia permite establecer leyes generales para los tres órdenes de fenómenos; en algún caso, como sucede con los de conductibilidad y propagación. Los denominados en las ciencias *manantiales* sirven también de justificantes á esta cuestión; pues son los mismos para todos los variados órdenes de fenómenos físicos, considerados estos, como en las antiguas hipótesis, verdaderos efectos de los agentes, calor, luz y electricidad.

Varios ejemplos pueden citarse en comprobación de esta verdad. En efecto, nadie duda que la fuerza con que dos cuerpos puedan ser frotados sea suficiente para producir no solo la elevación de la temperatura en los mismos, sino su inflamación y hasta la electricidad como se observará en las máquinas eléctricas: del mismo modo las locomotoras, las combustiones y las pilas termo-eléctricas nos representan la transformación del calor en fuerza, luz y electricidad: á su vez el espectro, la chispa eléctrica y ciertas reacciones químicas, el cambio de luz en calor, electricidad y en fuerza: por último, la electricidad á su vez nos representa con los telegrafos, con la fusión de metales y con la chispa la transformación que sufre en trabajo, calor y luz.

413. **Materia radiante: radiómetro Crookes.**—Desde los notables experimentos verificados por el distinguido físico inglés Crookes, se admite un cuarto estado para la materia, resultado definitivo de la expansión gaseosa, que se designa con el calificativo de *radiante ó ultra-gaseosa*.

Esta materia presenta las propiedades siguientes: las moléculas que la forman se suponen perfectamente aisladas, sin sufrir la acción de ninguna fuerza, y por lo tanto de la cohesión; el estado de constante repulsión ha llegado á su límite y como consecuencia el camino recorrido por las moléculas gaseosas es tan largo que el número de choques está reducido á su mínimo valor.

El radiómetro Crookes consiste en una campanita de cristal, en cuyo interior se ha practicado el enrarecimiento de aire y se ha fijado un volante de aluminio, provisto de cuatro aletas de mica de forma cuadrada, ennegrecidas por una cara y bruñidas por la otra; el volante está sostenido en perfecto equilibrio y dispuesto con extraordinaria ligereza; sujeto á la acción de la luz, gira el volante en tanta mayor velocidad cuanto mayor es la intensidad del foco que le ilumina. Tan extraño fenómeno ha sido explicado muy diferentemente por los físicos, creyendo unos encontrar, como causa productora de este movimiento de rotación del volante, el calor, y no pocos la acción recíproca entre la luz y las moléculas gaseosas, reflejadas por las aletas, con velocidades distintas, sobre las paredes del globo.

La intervención de la materia radiante en dicho fenómeno ha sido estudiada desde entonces muy detalladamente, disponiendo los radiómetros en formas análogas á los tubos Geissler, y la presencia de la corriente eléctrica dá lugar á hechos curiosos, con los cuales se trata de reproducir en la materia radiante, unas veces, la reflexión en superficies curvas y la propagación en línea recta, y otras, los efectos atractivos de los imanes.

414. La radiofonía y el fotófono de Graham Bell.—El sonido puede transmitirse no sólo al través de la materia ponderable, sino por el intermedio de las radiaciones luminosas y caloríficas; el estudio tan interesante y sorprendente, á que se dá lugar, constituye la llamada hoy *radiofonía*, y el instrumento ideado por Graham Bell, para representar en el terreno de la práctica estas ideas, *fotófono*.

El principio que sirve de fundamento á esta cuestión, es el siguiente: cuando un rayo de luz se hace intermitente, por ejemplo, haciéndole pasar por un disco metálico que gire rápidamente, y taladrado por muchos puntos se produce un sonido apreciable por una trompetilla acústica.

El fotófono se compone de dos partes: el trasmisor y el receptor. El trasmisor le forma una boquilla telefónica con un diafragma de mica plateada, en la cual se refleja un haz luminoso, convenientemente dirigido por un espejo y un lente. El receptor es un espejo parabólico plateado, en cuyo foco se sitúa una lamina de selénio que comunica con un circuito electro-telefónico.

El Sr Mercadier ha dispuesto un ingenioso aparato de esta clase, con el fin de estudiar las leyes de la radiofonía y, los resultados hasta la fecha alcanzados, son altamente satisfactorios.

---

---

---

## APÉNDICE AL ESTUDIO DE LA FÍSICA.

---

### METEOROLOGÍA.

#### LECCIÓN 101.

##### METEOROLOGÍA Y METEOROS AERÉOS.

415. **Meteorología: meteoros, su división.**—La Meteorología es una ciencia que tiene por objeto la explicación de todos los fenómenos que se producen en la atmósfera de nuestro globo terráqueo. Estos fenómenos reciben el nombre de *meteoros* designados con los calificativos de caloríficos, luminosos y eléctricos, en los cuales el calor, la luz y la electricidad son respectivamente los que sirven de causa fundamental.

La relación existente entre estas causas se manifiesta en ciertas ocasiones influyendo mutuamente en un mismo meteoro; sin embargo, en la exposición de cada uno de estos adoptaremos la clasificación enunciada en presencia de la causa que ejerce influencia más directa en la producción de los mismos.

Pr. scindimos también, por no considerarlo propio de la naturaleza de estos elementos, de la influencia que los modernos admiten en las variaciones atmosféricas, la presencia de las manchas del sol, dando lugar á la novísima ciencia denominada *Meteorología cósmica*.

416. **Meteoros caloríficos: clases de vientos: ciclones.**—Las variaciones de temperatura observadas en la atmósfera en general ó en el vapor del agua en ella contenida, dán lugar á los meteoros *aéreos* ó *acuosos* respectivamente: los primeros se conocen con el nombre de *vientos*, que son verdaderas corrientes atmosféricas, es decir, traslaciones de masas de aire, más ó menos considerables, de un sitio á otro dependientes siempre de un desequilibrio de temperatura en dos lugares de la atmósfera, más ó menos próximos.

Los vientos pueden ser regulares, periódicos y variables. Los vientos se denominan *regulares*, cuando se manifiestan en una misma dirección; como vientos regulares se pueden considerar los llamados *alíseos*, que se dirigen en el hemisferio boreal del NE. al SO., y en el austral de SE. al NO; la causa de estos vientos es la variación de temperatura entre los países ecuatoriales y los polares, así como el movimiento de rotación de la tierra.

Los vientos se denominan *periódicos*, cuando en ciertos espacios de tiempo se dirigen con cierta regularidad en un mismo sentido. Participan de este carácter el monzón, el simoun y la brisa. Los monzones soplan seis meses en una dirección y seis en otra, observándose en el golfo de la Arabia y en el mar de la China; su causa no es otra que una desviación regular de los vientos alíseos, producida por el aumento de temperatura en la zona tórrida. El simoun está caracterizado por su elevada temperatura y las arenas que arrastra en su violencia; procede de los desiertos de Africa, en España es el que se conoce con la denominación de viento solano. La brisa se observa siempre en todas las costas á las horas de salida y postura del sol; su causa es dependiente de la desigual temperatura que, recibida del sol, conservan la tierra y el mar.

Los vientos *variables* no presentan sujeción á ninguna ley en el momento de producirse, y en ellos pueden intervenir como causa infinidad de afecciones meteorológicas.

Respecto á la dirección, los vientos toman los nombres de N. ó Norte, S. ó Sur, E. Este y O. Oeste; cuando siguen direcciones intermedias, se nombran con los de los vientos inmediatos, es decir, NE. el Noreste, SE Sureste, SO. Suroeste, NO. Noroeste, pudiendo admitirse otras diez y seis direcciones intermedias, que todas se hallan representadas en la denominada *Rosa náutica* ó estrella de los vientos. Con respecto á la velocidad los vientos toman los nombres de suave ó brisa, viento propiamente dicho, fuerte, muy fuerte, tempestuoso ó huracanado, según que el número de metros recorridos en un segundo de tiempo oscile entre 5, 10, 20, 30 y 40 metros respectivamente.

Los denominados *ciclones* son aquellos vientos ó corrientes atmosféricas caracterizadas por movimientos giratorios al rededor de ejes verticales que se propagan desde un sitio á otro. La velocidad media durante la traslación es de 15 á 20 kilómetros por hora, y la de rotación alcanza hasta 250. Comprenden una faja de 250 á 2000 kilómetros de anchura y como se originan en los países ecuatoriales á consecuencia de un desequilibrio de los vientos alíseos, llegan hasta las zonas templadas. Los ciclones van siempre acompañados de un descenso barométrico en la región central, determinando casi siempre espantosos desastres.

417. **Rotación de los vientos: ley de Dove.**—La atenta observación de la veleta manifiesta que, á pesar de la aparente irregularidad que ofrecen los vientos en su dirección, se ha comprobado un movimiento giratorio en el mismo sentido que el aparente del Sol, habiendo además una relación bien definida con las oscilaciones barométricas. Estos hechos han servido de base para el establecimiento de la siguiente ley. *La dirección del viento se corresponde con el aparente giro del Sol por periodos más ó menos largos de E. á S. y O. á N. en el hemisferio boreal, y en sentido inverso en el austral, para volver progresivamente al punto de partida.*

418. **Aparatos destinados al estudio de los vientos.**—Tres son las clases de instrumentos destinados al importante estudio

de los vientos, según que se refieran á la dirección, fuerza y velocidad. Para la dirección sirven simplemente las *veletas* en sus diferentes formas y condiciones, siempre que reunan una perfecta sensibilidad y estabilidad. La fuerza se representa por el valor de la impulsión expresado en kilogramos sobre un metro cuadrado de superficie. Por último, la velocidad se aprecia por los kilómetros que recorre durante las 24 horas, ó más simplemente, por los metros en un segundo de tiempo.

Se construyen los denominados *anemómetros* y *anemógrafos* que miden ó registran dichos datos, siguiendo muy variados sistemas, bien sea simultáneamente ó en particular, perteneciendo á este grupo el *anemómetro Robinsón*. Este aparato muy usado en la actualidad, le forma un molinete con cuatro aletas semi-esféricas huecas movido por el viento y las vueltas que realiza en un espacio de tiempo son proporcionales al espacio recorrido: á este fin el árbol que sostiene el volante terminado en un tornillo sin fin hace girar un engranaje especial que forma un contador con la correspondiente graduación que facilita el registro del mismo.

## LECCIÓN 102.

### HIGROMETRÍA: METEOROS ACUOSOS.

419. Meteoros acuosos: Higrometría ó Higrómetros.—Los meteoros caloríficos cuando se manifiestan influyendo sobre el vapor de agua existente en la atmósfera pueden considerarse incluidos en el grupo de los llamados *acuosos*, porque el agua es el medio que desempeña un papel mas importante en su formación.

Existe una ciencia conocida con el nombre de *Higrometría*, que estudia la manera de apreciar la cantidad de vapor acuoso que existe en un volumen determinado de aire. Siendo muy raro el fenómeno de completa saturación en el aire se llama *estado higrométrico* la relación entre la cantidad de vapor existente en el aire y la que había de contener en el supuesto de hallarse completamente saturado. Puede sustituirse en vez de la cantidad de vapor su tensión dada la relación que existe entre ambos conceptos.

Los *higrómetros* son los instrumentos empleados en la determinación del estado higrométrico del aire: se conocen muchos sistemas mas ó menos perfectos, entre los cuales podemos citar los higrómetros químicos, los de condensación, los de absorción y los psicrómetros.

Los primeros están reducidos á observar el aumento de peso que toman ciertas materias encerradas en tubos de cristal de la forma de U, como puedan ser el cloruro de calcio al atravesar por su masa una corriente de aire que pasa á un frasco aspirador. Los de condensación, entre los que figuran el de Daniell, reconocen como fundamento el siguiente principio: «en el enfriamiento del aire la tensión del vapor permanece invariable hasta el punto de saturación, en el cual esta tensión es la misma que ántes de haberse enfriado.» Los higrómetros de absorción, entre los cuales figura el de Saussure, aprovechan como fundamento la propiedad que poseen las sustancias orgánicas filamentosas, como el cabello, de aumentar de longitud con la humedad y por el contrario disminuir con la sequía.

Entre los psicrómetros se pueden incluir el de Augusto, formado por dos termómetros tipos é iguales, uno de los cuales tiene el depósito constantemente humedecido: basta la aplicación de la fórmula  $x = f - 0,0009(t - t')H$ , en la cual figuran como datos las temperaturas observadas en ambos termómetros ( $t - t'$ ),  $f$  tensión del vapor correspondiente y  $H$  altura barométrica, para que pueda calcularse con bastante exactitud el estado higrométrico del aire, facilitando después su uso el empleo de tablas que contengan los valores probables de observación.

El físico Lowe en estos últimos años ha representado gráficamente por medio de una cuadrícula especial los valores de las tablas psicrométricas, lo cual unido á un ingenioso mecanismo de índices permite la adquisición de estos datos con gran sencillez.

420. Nubes: sus clases y formación; nieblas.—Las nubes no son otra cosa que masas de vapores condensados en diminutas gotas suspendidas en la atmósfera á distancias variables de la superficie de la tierra.

Las formas que adquieren se pueden reducir á cuatro, que dan lugar á otras tantas clases. La primera se denomina *cirrus*, pequeñas nubes blanquecinas, filamentosas y delgadas, de color blanco y que ocupan las regiones mas elevadas de la atmósfera. La segunda clase son las *cumulus*, constituidas por grandes masas mas ó menos claras, redondeadas y brillantes por sus bordes, siempre curvos. La tercera clase es la formada por las *nimbus*, que se presentan en masas sombrías de color gris, uniforme y de bordes franjeados. La cuarta y última la constituyen los *stratus*, formados por capas largas, estrechas y superpuestas, de color blanco en la parte superior de la bóveda celeste y de coloraciones vivas en las regiones del horizonte correspondientes á la postura y salida del sol.

Todas ellas son originadas por la condensación del vapor de agua procedente de la superficie de la tierra y que en virtud de su menor densidad se elevó á las regiones superiores de la atmósfera, en donde se mantienen flotantes á consecuencia de corrientes ascendentes del aire cálido.

Las *nieblas* son verdaderas nubes que no han podido elevarse á las regiones superiores de la atmósfera, y se hallan en contacto con la superficie de la tierra.

421. Lluvias; pluviómetros.—El descenso á la superficie de la tierra en forma de gotas del agua formada por la condensación de los vapores situados en las altas regiones, dá lugar al fenómeno de la *lluvia*.

Este meteoro es consecuencia de las nubes que constantemente dejan caer parte del agua que en ocasiones, no pudiendo ser evaporada en su totalidad, puede llegar hasta la superficie de la tierra. La resistencia que opone el aire divide á las masas de agua en gotas de tamaño variable.

Los *pluviómetros* son los instrumentos destinados á medir la cantidad de agua caída, apreciando esta por la altura que pudiera tomar en el supuesto que descendiese sobre una superficie impermeable y al propio tiempo imposible de evaporarse: están formados por recipientes metálicos de forma y volumen variables, cubiertos con tapaderas taladradas en su centro por un pequeño orificio y provistos en su fondo por un tubo comunicante de cristal con su escala en milímetros que permite apreciar la altura del agua recogida en el interior.

422. Nieve, granizo, rocío, helada y escarcha.—Cuando la solidificación del vapor acuoso se efectúa en las regiones superiores, tomando la apariencia de copos ligeros constituidos por infinidad de diminutos cristales, forma la *nieve*; por el contrario, cuando la solidificación afecta una masa compacta de tamaño vario, se dá origen al *granizo* ó *pedra*. Puede la condensación efectuarse en la

superficie del suelo por la proximidad de cuerpos que poseen una baja temperatura y entonces toma la figura de pequeñas gotas, constituyendo el *rocío*. La *helada* y la *escarcha* se manifiestan después de muchos días de intenso frío al congelar en contacto con el suelo ú otros cuerpos la lluvia muy menuda, ó el vapor existente en la atmósfera.

423. **Mangas marinas.**—Con este nombre se designan unas masas de vapores suspendidas en la parte inferior de la atmósfera, dotadas ordinariamente de movimientos rotatorios que llegan á producir verdaderas elevaciones del agua debidas, según opinión de varios físicos, á corrientes eléctricas. Los efectos que producen suelen ser siempre desastrosos. También se manifiestan en la superficie de la tierra, formando remolinos de aire y arena ó polvo (cuyo estudio es posible incluir en el de los meteoros aéreos) destruyendo cuanto encuentran á su paso.

## LECCIÓN 103.

### METEOROS ELÉCTRICOS Y LUMINOSOS.

424. **Electricidad atmosférica: sus manifestaciones.**—La electricidad puede manifestar sus efectos en la atmósfera, dando lugar á fenómenos diferentes de los conocidos anteriormente que reciben el nombre de *meteoros eléctricos*. La presencia de electricidad en la atmósfera fué sospechada desde los tiempos más antiguos, pero no se dió á conocer hasta después de la realización de los célebres experimentos verificados por Franklin y Dalivar, aquel observando la chispa eléctrica que saltó de la extremidad del cordón de una cometa y éste haciéndose cargo de análogo efecto con una barra de hierro aislada y fija verticalmente.

Comprobada la existencia de electricidad en la atmósfera por los anteriores experimentos se ha venido á deducir por medio de importantes estudios que, no solo durante las tempestades existen en la atmósfera corrientes eléctricas, sino en todas épocas: así cuando el cielo se halla despejado, se observa electricidad positiva con más intensidad en los sitios elevados y aislados que en los otros á cierta altura del suelo, débil á la salida del sol y notable de ocho á once de la mañana, según las estaciones. Hallándose el cielo cubierto se manifiesta unas veces la electricidad positiva y otras la negativa.

Las causas que influyen en la intensidad de estas corrientes son muchas, entre ellas, la temperatura, humedad, aspecto del cielo y dirección de los vientos y las que determinan la producción de las corrientes, entre otras la evaporización del agua, el rozamiento del aire con el suelo, la vegetación y hasta la misma tierra al considerarla como una poderosa pila voltaica.

Es opinión generalmente admitida que la recomposición ó vuelta al equilibrio que pueda originarse en las dos electricidades manifiestas en dos nubes, ó en una sola en presencia de la tierra da lugar á la chispa eléctrica conocida con el nombre de *rayo*.

La explicación que suministra la Física acerca de la producción de la chispa en las máquinas eléctricas, satisface perfectamente á este meteoro que en la naturaleza se presenta con mayores proporciones.

A la chispa eléctrica acompaña siempre un vivo resplandor que en el presente meteoro forma lo que llamamos el *relámpago*: acompañado de un ruido característico que da lugar al *trueno*, ó sea el choque de unas capas de aire contra otras.

Los efectos producidos al verificarse la chispa eléctrica entre la nube y la superficie de la tierra son siempre temibles: pueden ser mecánicos caracterizados por la ruina de los edificios y el transporte de sus restos á distancias considerables; calóricos al fundir metales, ocasionar inflamaciones capaces de producir incendios y por último fisiológicos por las vivas y dolorosas sacudidas que safre el organismo hasta el punto de producir la muerte en el hombre y en los animales.

Se observa con frecuencia que los seres vivos situados en un sitio más ó menos lejano de aquel en donde estalla el rayo sufren conmociones violentas y hasta mortales, cuyo fenómeno se conoce con el nombre de *choque de retroceso*, debido á la acción por influencia que la nube tempestuosa ejerce sobre todos los cuerpos situados en su esfera de actividad.

425. **Pararrayos.**—El pararrayos no es otra cosa, sinó una barra de hierro colocada verticalmente en la parte superior del edificio que se trata de proteger y destinada á facilitar la comunicación de la electricidad terrestre atraída por las nubes tempestuosas. Su teoría está fundada en la electrización por influencia y en la acción de las puntas.

La construcción de estos aparatos exige el cumplimiento de ciertas reglas entre ellas la siguiente. La punta del pararrayos debe formarla una materia buena conductora como pueda ser el platino ó el cobre dorado. La barra debe comunicar con el suelo por medio de cables metálicos retorcidos á donde se unan por medio de alambres todos los objetos buenos conductores. La extensión que defiende un pararrayos es igual á un espacio circular de un radio doble de la altura de la barra.

426. **Meteoros luminosos.**—**Arco iris y aurora boreal.**—Con este nombre se designan todos aquellos fenómenos que se verifican en la atmósfera y reconocen como causa fundamental la luz, así es que impresionan al órgano de la vista. En ellos, lo mismo que en todos los demás, interviene el vapor de agua, la electricidad y en general cuantos medios tienen un acción más ó menos directa en toda esta clase de afecciones atmosféricas. Entre estos meteoros se citan el arco iris y las auroras boreales.

En ocasiones, antes ó después de haberse presentado el meteoro lluvia, aparece como suspendida en el espacio, una franja luminosa teñida con los colores del espectro y de forma circular, cuyo fenómeno recibe el nombre de *arco iris*.

Este meteoro se produce en el momento de hallarse una cantidad más ó menos grande de agua en forma de gotas suspendida, en la atmósfera y los rayos de la luz penetran por cada una de estas gotas produciendo el fenómeno de la refracción y dispersión, según las circunstancias que acompañan á estos fenómenos. La aparición del arco iris, así como su extensión son dependientes del sitio que ocupa el observador y la altura que tiene el Sol sobre el horizonte.

Las auroras boreales son ciertas apariciones luminosas observadas con bastante frecuencia en las regiones polares. No siempre se presentan dotadas de las mismas coloraciones; sin embargo, en la mayoría de los casos se hallan representadas en primer lugar por un resplandor amarillo pálido que al poco tiempo presenta



estrias que imitan después pliegues más ó menos pronunciados y numerosos en una larga faja de rayos, formando caprichosas curvas dobladas sobre sí mismas para más tarde tomar un tinte rojo en la base y verde en el centro.

La opinión que reina en la ciencia admitida con más generalidad para dar explicación de este fenómeno es la fundada en la acción que puedan tener las corrientes eléctricas atmosféricas, en vista de los bruscos movimientos observados en las agujas magnéticas en el momento de presentarse estos meteoros.

427. **Meteoros luminosos especiales.**—El sol y la luna pueden aparecer en ciertas ocasiones en el centro de círculos luminosos cortados por arcos también luminosos, cuyos extraños fenómenos reciben el nombre de *Halos*.

Están conformes los meteorologistas al suponer ser la causa de estos la refracción y descomposición de la luz al través de las partículas congeladas de los vapores acuosos existentes en la atmósfera. Cuando los arcos que forman los halos tienen los colores espectrales, en las intersecciones que originan aparecen espacios dotados de una viva claridad comparables á los discos del sol y de la luna cuyos espacios reciben el nombre de *parhelios* y *paraselenes*, palabras que, etimológicamente consideradas, expresan perfectamente la idea, *falsos soles ó lunas*, es decir imágenes del Sol y de la Luna.

En los límites del horizonte y en los sitios correspondientes á la salida y postura del Sol, aparecen espacios teñidos con vivos colores en algunas ocasiones, muy particularmente el rojo que produce un agradable, efecto difícil de ser descrito, cuyos meteoros forman las *luces crepusculares*.

Son siempre el resultado de la mayor distancia que tienen que recorrer los rayos del Sol, atravesando las capas más densas y húmedas de la atmósfera, produciendo la absorción de una parte de los rayos azules procedentes de la dispersión originada.

Se conoce con el nombre de *estrellas errantes* esos puntos luminosos que, dotados de un rápido movimiento de traslación, cruzan la bóveda celeste para después desaparecer.

Estos puntos luminosos toman, en ocasiones extensiones considerables formando verdaderos globos de fuego de tamaño variable, designados con el nombre de *bóvidos* que en ciertas circunstancias se fraccionan y descienden á la superficie de la tierra formando los llamados *aercolitos*, en los cuales el análisis químico ha encontrado hierro y otros cuerpos de origen metálico.

## LECCIÓN 104.

### ESTACIONES METEOROLÓGICAS: GENERALIDADES.

428. **Estaciones meteorológicas.**—El estudio de los diferentes fenómenos atmosféricos exige la construcción de ciertos edificios que permitan, por sus condiciones especiales, perfeccionar los datos adquiridos en el examen de aquellos, dando lugar á las denominadas *Estaciones meteorológicas*.

Las estaciones meteorológicas, instaladas en una región cualquiera, necesitan el poderoso concurso de las comunicaciones telegráficas, con el fin de que, en un momento determinado, pue-

dan reunirse en un punto los datos suministrados en todas ellas y, de este modo, formar cálculos aproximados acerca de las diferentes afecciones meteorológicas, como se observa hoy prácticamente en los estados de la América del Norte, en Irlanda, Alemania, Inglaterra y Francia.

En España contamos con pocas estaciones meteorológicas, teniendo en cuenta las muchas que necesita.

429. Observaciones que en ellas se realizan: instrumentos de que disponen.—Los trabajos de carácter general que se realizan en esta clase de establecimientos, son los siguientes: 1.º Determinación del valor de la presión atmosférica, haciendo uso de un barómetro de cubeta fija del constructor Winckelmann. 2.º La apreciación de las temperaturas extremas y medias del aire atmosférico con el empleo de dos termómetros de máxima, uno solar y otro á la sombra; dos de mínima, uno reflector y otro á la sombra. 3.º La humedad relativa del aire y la tensión del vapor del agua por el psicrómetro. 4.º La evaporización del agua por medio del atmómetro. 5.º La cantidad de agua caída durante la lluvia, utilizando los pluviómetros correspondientes; y 6.º La dirección y velocidad de los vientos con una ligera veleta y el molinete Robinson. Pueden además realizarse otra clase de trabajos referentes á la declinación magnética, ozonometría, clases y movimientos de nubes y demás observaciones promovidas por el celo de los encargados de su dirección.

430. Meteorógrafo del P. Secchi.—Con este nombre ha sido descubierto por el sabio director del Observatorio Romano una importante máquina que inscribe al mismo tiempo todos los fenómenos meteorológicos, excepto los eléctricos, en cuadros ingeniosamente dispuestos, que permiten conocer sus relaciones recíprocas, por medio de la comparación de unos con otros.

Este instrumento posee un aparato de relojería, que regula todos sus movimientos, auxiliado además de corrientes eléctricas, que ponen en acción á los electro-imanés empleados en los movimientos de las palancas inscriptoras, pudiendo ser considerado como una acertada síntesis de todos los aparatos registrados conocidos y perfeccionados muchos de ellos por la sagacidad de tan distinguido físico. De este modo se ha podido suprimir el enojoso trabajo de repetidas observaciones personales que, en ocasiones, no reúnen la puntualidad y exactitud tan necesaria en esta clase de estudios.

431. Pronósticos del tiempo y cartas meteorológicas.—Como las variaciones que presenta el tiempo influyen poderosamente en las necesidades sociales, suponiendo además la custodia y resultado de los más altos intereses, en vista de la relación que aquellas ofrecen con las indicaciones de los instrumentos meteorológicos, se ha comprendido la necesidad de estudiar el modo de averiguar el estado del tiempo con alguna anticipación.

La observación nos ha enseñado que, aparte de las señales que muy sabiamente nos presenta la Naturaleza en multitud de seres, los instrumentos que nos suministran datos positivos son el barómetro, termómetro, veletas, y anemómetro.

tros, psicrómetro y, según ha comprobado recientemente Marie Davy, la aguja imantada. La mayor parte de las reglas que podemos deducir con estos instrumentos, son siempre el fruto de las observaciones verificadas en una localidad durante un plazo más ó menos largo; sin embargo, existen algunas de carácter general, entre las cuales podemos indicar las siguientes:

1.<sup>a</sup> Las alturas del barómetro instalado al nivel del mar son: 787, tiempo muy seco; 778, buen tiempo fijo; 769, buen tiempo; 760, variable; 751, lluvia ó viento; 742; gran lluvia; 738, tempestad.

2.<sup>a</sup> Altura barométrica mayor que la media mensual, humedad relativa; menor en la media mensual, vientos secos ó que no van acompañados de lluvia, y celajes crepusculares al naciente solar sin nubes indican, cuando concurren estos datos, *buen tiempo*; vice-versa *tiempo lluvioso ó con vientos*, en los casos opuestos; por último, el tiempo se califica de *dudoso*, cuando se presentan caracteres comunes á ambas situaciones atmosféricas.

3.<sup>a</sup> Los *torbellinos*, producidos por el choque de las corrientes ecuatoriales con la atlántica setentrional, son principalmente el origen, en el Occidente de Europa, de los cambios atmosféricos observados en las costas de Francia y en las nuestras por la parte del Cantábrico.

En aquellos países que, como los Estados-Unidos, Alemania, Inglaterra, Francia, etc., comprenden la importancia de estos estudios, publican y reparten profusamente, para que llegue á conocimiento de todos, unos mapas denominados *Cartas meteorológicas*, que comprenden grandes extensiones de la superficie de la tierra. En ellos se unen, por medio de trazos convencionales, aquellos pueblos que ofrece un mismo valor, la presión atmosférica y temperatura, anotando con signos especiales la lluvia, dirección del viento y estado del cielo; acompañan también á los mismos cuadros estadísticos que expresan otros detalles y representan minuciosamente el resultado de las observaciones efectuadas en numerosísimos puntos del globo. Se pueden citar, como modelos de esta clase de trabajos, el publicado por el Observatorio de Washington, de carácter verdaderamente internacional, y el de la Oficina meteorológica de París.

---



---

---

# INDICE.

LECCIONES

Págs.

## PRELIMINARES.

- I. La ciencia en general.—II. Ciencias cosmológicas é ideas fundamentales. . . . . 1

## INTRODUCCIÓN.

- 1 Definición de la Física: su concepto. . . . . 6

## PRIMERA PARTE.—MATERIA.

### SECCIÓN PRIMERA.—Antecedentes.

- 2 Los cuerpos y sus estados. . . . . 8

### SECCIÓN SEGUNDA.—Propiedades generales.

- 3 Extensión é impenetrabilidad. . . . . 10  
4 Porosidad y compresibilidad. . . . . 12  
5 Elasticidad: divisibilidad: movilidad é inercia. . . . . 13

### SECCIÓN TERCERA.—Propiedades particulares.

- 6 Estructura: dureza.—Maleabilidad y ductilidad. . . . . 15  
7 Elasticidad de los sólidos: tenacidad. . . . . 16  
8 Propiedades particulares de los fluidos. . . . . 18

## SEGUNDA PARTE.—FUERZA.

### SECCIÓN PRIMERA.—Generalidades.

#### ~~~~~ CAPÍTULO I.—IDEAS FUNDAMENTALES.

- 9 Estudio de la energía. . . . . 19  
10 Fuerzas: sus caracteres fundamentales. . . . . 21  
11 Sistemas de dos ó más fuerzas: Teoremas mecánicos. . . . . 22

#### ~~~~~ CAPÍTULO II.—PARTICULARIDADES MECÁNICAS.

- 12 Máquinas en general: palanca y balanza. . . . . 25  
13 Polcas: engranage crik, torno y sus modificaciones. . . . . 27  
14 Plano inclinado, cuña y otras máquinas. . . . . 29

## CAPÍTULO III.—EL MOVIMIENTO.

|    |                                                                        |    |
|----|------------------------------------------------------------------------|----|
| 15 | Generalidades del movimiento. . . . .                                  | 31 |
| 16 | Movimiento curvilíneo. . . . .                                         | 33 |
| 17 | Choque y rozamiento. . . . .                                           | 35 |
| 18 | Movimiento vibratorio de los cuerpos. Sonido. . . . .                  | 37 |
| 19 | Movimiento vibratorio de los sólidos. . . . .                          | 39 |
| 20 | Movimiento vibratorio de los líquidos y gases. . . . .                 | 41 |
| 21 | Movimientos vibratorios especiales.—Representaciones gráficas. . . . . | 43 |

## SECCIÓN SEGUNDA.—Atracción.

## CAPÍTULO I.—ATRACCIÓN UNIVERSAL.

|    |                                                          |    |
|----|----------------------------------------------------------|----|
| 22 | Generalidades y leyes de la atracción universal. . . . . | 45 |
|----|----------------------------------------------------------|----|

## CAPÍTULO II.—ATRACCIÓN MOLECULAR.

|    |                                                                  |    |
|----|------------------------------------------------------------------|----|
| 23 | Manifestaciones de la atracción molecular. . . . .               | 47 |
| 24 | Casos especiales de la atracción molecular: capilaridad. . . . . | 48 |
| 25 | Difusión, endósmosis y oxósmosis. . . . .                        | 50 |

## CAPÍTULO III.—GRAVEDAD.

## TÍTULO I.—La gravedad en general y los sólidos.

|    |                                                     |    |
|----|-----------------------------------------------------|----|
| 26 | La gravedad y la masa de los cuerpos. . . . .       | 51 |
| 27 | La gravedad y el equilibrio de los cuerpos. . . . . | 53 |
| 28 | La gravedad y el descenso de los cuerpos. . . . .   | 54 |
| 29 | La gravedad y el péndulo. . . . .                   | 57 |

## TÍTULO II.—La gravedad y los líquidos.

|    |                                                           |    |
|----|-----------------------------------------------------------|----|
| 30 | Principio de igualdad de presión y los líquidos. . . . .  | 59 |
| 31 | Presiones que ejercen los líquidos. . . . .               | 61 |
| 32 | Equilibrio de los líquidos en vasos comunicantes. . . . . | 63 |
| 33 | Principio de Arquímedes, y sus consecuencias. . . . .     | 64 |
| 34 | Pesos específicos de los sólidos. . . . .                 | 66 |
| 35 | Pesos específicos de los líquidos: areómetros. . . . .    | 68 |
| 36 | Ley de Torricelli y sus consecuencias. . . . .            | 69 |

## TÍTULO III.—La gravedad y los gases.

|    |                                                          |    |
|----|----------------------------------------------------------|----|
| 37 | Peso del aire y los gases. . . . .                       | 71 |
| 38 | Medida de la presión del aire: barómetros. . . . .       | 73 |
| 39 | Presión de los gases: manómetros y aereostación. . . . . | 76 |
| 40 | Movimiento de los gases. . . . .                         | 78 |

## SECCIÓN TERCERA.—Aplicaciones deducidas de los principios expuestos.

|    |                                                                   |    |
|----|-------------------------------------------------------------------|----|
| 41 | Bombas. . . . .                                                   | 79 |
| 42 | Sifón, pipeta, fuente intermitente y bomba de compresión. . . . . | 81 |
| 43 | Máquina neumática. . . . .                                        | 83 |
| 44 | Instrumentos fundados en la compresión de los fluidos. . . . .    | 84 |

## TERCERA PARTE.—FUERZA Y MATERIA.

|    |                                                            |    |
|----|------------------------------------------------------------|----|
| 45 | Teoría de la unidad de fuerzas y unidades físicas. . . . . | 87 |
|----|------------------------------------------------------------|----|

## SECCIÓN PRIMERA.—Calor.

## CAPÍTULO I.—TEMPERATURA Y MEDIOS DE APRECIARLA.

|    |                                          |    |
|----|------------------------------------------|----|
| 46 | Generación del calor: hipótesis. . . . . | 89 |
| 47 | Termómetro ordinario. . . . .            | 91 |
| 48 | Termómetros especiales. . . . .          | 93 |

## CAPÍTULO II.—LA DILATACIÓN.

|    |                                                  |    |
|----|--------------------------------------------------|----|
| 49 | Dilatación de los sólidos por el calor. . . . .  | 95 |
| 50 | Dilatación de los líquidos por el calor. . . . . | 96 |
| 51 | Dilatación de los gases por el calor. . . . .    | 98 |

## CAPÍTULO III.—LOS CAMBIOS DE ESTADO.

|    |                                                                     |     |
|----|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 52 | Conversión de sólidos á líquidos y vice-versa por el calor. . . . . | 100 |
| 53 | Conversión de los líquidos en vapores. . . . .                      | 101 |
| 54 | Procedimientos para determinar la tensión del vapor acuoso. . . . . | 104 |
| 55 | Fenómeno de la ebullición. . . . .                                  | 105 |
| 56 | Liquefacción de los gases. . . . .                                  | 107 |

## CAPÍTULO IV.—CALORES ESPECÍFICOS.

|    |                                                            |     |
|----|------------------------------------------------------------|-----|
| 57 | Métodos determinativos de los calores específicos. . . . . | 109 |
|----|------------------------------------------------------------|-----|

## CAPÍTULO V.—PROPAGACIÓN CALORÍFICA.

|    |                                                       |     |
|----|-------------------------------------------------------|-----|
| 58 | Conductibilidad de los cuerpos para el calor. . . . . | 111 |
| 59 | Radiación del calor. . . . .                          | 113 |
| 60 | Trasmisión del calor. . . . .                         | 114 |

## CAPÍTULO VI.—APLICACIONES TÉRMICAS.

|    |                                                                         |     |
|----|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 61 | Péndulo compensador, lámpara de mineros: caldeo y enfriamiento. . . . . | 116 |
| 62 | Fundamento de las máquinas de vapor: generadores. . . . .               | 117 |
| 63 | Máquinas fijas de vapor y locomóviles. . . . .                          | 119 |
| 64 | Locomotoras: máquinas de aire caliente y de gas. . . . .                | 121 |

## SECCIÓN SEGUNDA.—Luz.

## CAPÍTULO I.—IDEAS FUNDAMENTALES.

|    |                                                                 |     |
|----|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 65 | Luz y fenómenos luminosos: manantiales de luz: teorías. . . . . | 122 |
|----|-----------------------------------------------------------------|-----|

## CAPÍTULO II.—TRASMISIÓN DE LA LUZ.

|    |                                                              |     |
|----|--------------------------------------------------------------|-----|
| 66 | Leyes de propagación de la luz: velocidad de la luz. . . . . | 124 |
| 67 | Intensidad de la luz. . . . .                                | 125 |

## CAPÍTULO III.—REFLEXIÓN DE LA LUZ.

|    |                                                                 |     |
|----|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 68 | Leyes de la reflexión: reflexión de los espejos planos. . . . . | 126 |
| 69 | Reflexión de la luz en los espejos esféricos. . . . .           | 128 |

## CAPÍTULO IV.—REFRACCIÓN DE LA LUZ.

|    |                                                                  |     |
|----|------------------------------------------------------------------|-----|
| 70 | Leyes de la refracción, prismas é índices de refracción. . . . . | 130 |
| 71 | Refracción en los lentes. . . . .                                | 132 |

## CAPÍTULO V.—DISPERSIÓN DE LA LUZ.

|    |                                               |     |
|----|-----------------------------------------------|-----|
| 72 | Dispersión y recomposición de la luz. . . . . | 134 |
| 73 | Espectros y análisis espectral. . . . .       | 136 |

## CAPÍTULO VI.—FENÓMENOS ÓPTICOS ESPECIALES.

|    |                                                        |     |
|----|--------------------------------------------------------|-----|
| 74 | Doble refracción, difracción é interferencias. . . . . | 138 |
| 75 | Polarización. . . . .                                  | 139 |

## CAPÍTULO VII.—APLICACIONES ÓPTICAS.

|    |                                                       |     |
|----|-------------------------------------------------------|-----|
| 76 | Aparatos de proyección. . . . .                       | 141 |
| 77 | Microscopios. . . . .                                 | 143 |
| 78 | Anteojos y telescopios. . . . .                       | 145 |
| 79 | El ojo humano considerado instrumento óptico. . . . . | 147 |

## SECCIÓN TERCERA.—Electricidad.

### CAPÍTULO I.—IDEAS FUNDAMENTALES Y ELECTRICIDAD POR LAS ACCIONES MECÁNICAS.

|    |                                                                                 |     |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 80 | Manantiales eléctricos y consecuencias primarias. . . . .                       | 149 |
| 81 | Medida de las acciones eléctricas y manifestaciones de la electricidad. . . . . | 151 |
| 82 | Electrización por influencia y máquina eléctrica tipo. . . . .                  | 153 |
| 83 | Máquinas eléctricas y sus efectos. . . . .                                      | 154 |
| 84 | Electricidad condensada: condensadores y sus efectos. . . . .                   | 156 |

### CAPÍTULO II.—ELECTRICIDAD POR LAS ACCIONES QUÍMICAS.

|    |                                                                         |     |
|----|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 85 | Experimentos fundamentales, pila de Volta: sus elementos. . . . .       | 158 |
| 86 | Diferentes clases de pilas. . . . .                                     | 160 |
| 87 | Efectos físicos y químicos de las pilas. . . . .                        | 162 |
| 88 | Antecedentes al estudio de los efectos magnéticos de las pilas. . . . . | 164 |
| 89 | Efectos magnéticos de las pilas. . . . .                                | 166 |
| 90 | Efectos dinámicos de las pilas. . . . .                                 | 168 |

### CAPÍTULO III.—ELECTRICIDAD POR EL CALOR.

|    |                                                              |     |
|----|--------------------------------------------------------------|-----|
| 91 | Experimentos fundamentales y pilas termo-eléctricas. . . . . | 170 |
|----|--------------------------------------------------------------|-----|

### CAPÍTULO IV.—ELECTRICIDAD POR INDUCCIÓN.

|    |                                                          |     |
|----|----------------------------------------------------------|-----|
| 92 | Diversos casos de inducción eléctrica. . . . .           | 171 |
| 93 | Máquinas magneto-eléctricas y dinamo-eléctricas. . . . . | 173 |

### CAPÍTULO V.—UNIDADES ELÉCTRICAS.

|    |                                                             |     |
|----|-------------------------------------------------------------|-----|
| 94 | Intensidad de las corrientes y unidades eléctricas. . . . . | 175 |
|----|-------------------------------------------------------------|-----|

### CAPÍTULO VI.—APLICACIONES ELÉCTRICAS.

|    |                                                                        |     |
|----|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 95 | Aplicaciones deducidas de los efectos caloríficos y luminosos. . . . . | 176 |
| 96 | Aplicaciones deducidas de los efectos magnéticos. . . . .              | 179 |
| 97 | Continuación de las aplicaciones electro-magnéticas. . . . .           | 181 |
| 98 | Aplicaciones deducidas de los efectos químicos. . . . .                | 183 |
| 99 | Motores eléctricos y otras varias aplicaciones. . . . .                | 184 |

## SECCIÓN COMPLEMENTARIA Y ÚLTIMA.

|     |                                             |     |
|-----|---------------------------------------------|-----|
| 100 | Relación entre los agentes físicos. . . . . | 186 |
|-----|---------------------------------------------|-----|

## APÉNDICE AL ESTUDIO DE LA FÍSICA.

### METEOROLOGÍA.

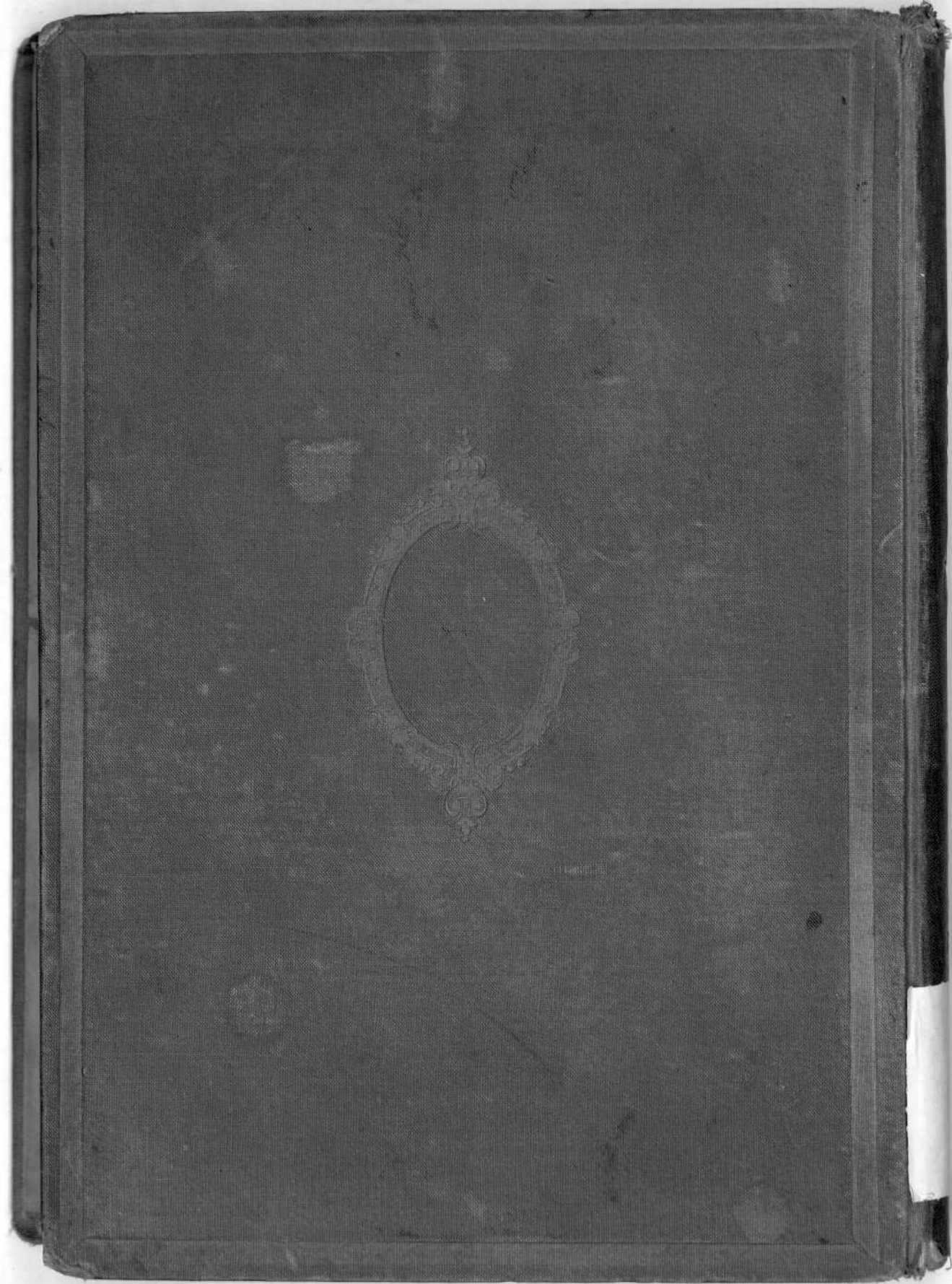
|     |                                                   |     |
|-----|---------------------------------------------------|-----|
| 101 | Meteorología y meteoros aéreos. . . . .           | 189 |
| 102 | Higrometría y meteoros acuosos. . . . .           | 191 |
| 103 | Meteoros eléctricos y luminosos. . . . .          | 193 |
| 104 | Estaciones meteorológicas: generalidades. . . . . | 195 |











G 434833

PLATE

PLATE

PLATE