



Máximo Fuertes Acevedo

Curso de física elemental y nociones de química

2003 - Reservados todos los derechos

Permitido el uso sin fines comerciales

Máximo Fuertes Acevedo

Curso de física elemental y nociones de química

NOTA

Hemos creído de importancia indicar la etimología de las palabras, en su mayor parte de origen griego, que forman el tecnicismo de la Física y la Química: pero como los alumnos para quienes esta obra se ha escrito, no conocen el griego, sería perfectamente inútil poner esa etimología con caracteres griegos, por lo cual la escribimos en castellano tal como se pronuncia en aquel idioma.

FÍSICA

Libro primero

Propiedades generales de la materia

Capítulo primero

Propiedades de los cuerpos

LECCIÓN PRIMERA PRELIMINAR. Física. -Naturaleza. -Materia. -Cuerpo. - Moléculas y Átomos. -Atracción y repulsión. -Estado de los cuerpos. -Fenómeno físico. - Causas de los fenómenos. -Ley, teoría e hipótesis. -Métodos seguidos en el estudio de la Física.

1. Física. -La palabra Física (de origen griego phisis) significa naturaleza; así en lo antiguo se entendía por Física el estudio y examen de toda la naturaleza. En el día, merced

al gran desarrollo y extensión que ha alcanzado esta ciencia, hubo necesidad de limitar el círculo de sus conocimientos y sin perder la importancia que siempre ha tenido y tiene en la actualidad, pues a ella se deben los más grandes descubrimientos y las invenciones más maravillosas de los tiempos modernos, el objeto hoy de la Física, es el estudio de las propiedades generales que presentan los cuerpos y de, los fenómenos que en ellos se verifican, sin que su naturaleza se altere, cambie o varíe. Si al producirse un fenómeno en un cuerpo, la naturaleza de este varía o cambia, su estudio corresponde a la Química.

2. Naturaleza. -Varias son las acepciones en que se toma la palabra naturaleza: 1.^a Como el conjunto de todo lo creado; en la naturaleza todo está dispuesto con número, peso y medida; 2.^a Como el Autor de todo cuanto existe, es decir, Dios; el poder de la Naturaleza se manifiesta lo mismo en las grandes creaciones, que en los seres más diminutos; 3.^a Como sinónimo de la Tierra; la naturaleza en las regiones intertropicales se presenta vigorosa y espléndida; y 4.^a Como el modo de ser o la esencia de los cuerpos; la naturaleza del hierro, la naturaleza del diamante.

3. Materia. Cuerpo. -Llámase materia todo lo que afecta a alguno de nuestros sentidos, principalmente al del tacto. Cuerpo la porción de materia limitada. Los cuerpos son simples o elementales si constan de una sola clase de materia, idéntica en todas sus partes, como el hierro, el cobre, la plata, etc. y compuestos si están formados de dos o más clases de materia, diferente o heterogénea; la cal, el agua, la cera, etc. Las partes pequeñísimas de que se componen los cuerpos se llaman moléculas y átomos, expresiones que a veces se toman en el mismo sentido: sin embargo, como veremos en Química, el átomo según su significación, es indivisible y por lo mismo es la última división que se puede hacer de un cuerpo.

Las moléculas se las considera tan infinitamente pequeñas, que está calculado que un cubito de agua, cuyo lado mida una milésima de milímetro está formado por más de doscientos veinticinco mil millones de moléculas.

4. Atracción y repulsión. -Hay una fuerza esparcida por todo el universo, en virtud de la cual los cuerpos o sus moléculas tienden a acercarse; esta fuerza es la atracción (21); pero con frecuencia la atracción se halla contrarrestada por otra fuerza opuesta y contraria, la repulsión, que obliga a las partes de la materia a separarse. Estas dos fuerzas, obrando sobre los cuerpos, producen los estados de los mismos.

5. Estados de los cuerpos.-Tres son los principales que presentan los cuerpos; sólido, líquido y gaseoso. Llámense cuerpos sólidos todos aquellos que, como las piedras, los metales y las maderas, tienen forma determinada, regular o irregular, se les puede coger y en ellos la atracción predomina sobre la repulsión. Cuerpos líquidos, los que como el agua y el azogue, en pequeñas porciones, tienen una forma esférica (las gotas de rocío, el mercurio dividido) pero en masas mayores afectan la de las vasijas que los contienen; gozan de una gran movilidad y en ellos la atracción no supera tanto a la repulsión; y cuerpos gaseosos aeriformes o vapores, los que como el aire, por regla general son invisibles, sus moléculas están en un continuo estado de repulsión; y en ellos la atracción es aún más débil que en los líquidos. Los cuerpos líquidos y gaseosos se conocen con la denominación de fluidos. Todos los gases pueden dejar su estado y convertirse en líquidos y estos a su vez en sólidos, cuando se les somete a fuertes presiones que acercando sus moléculas, aumentan la atracción. Además de estos estados puede considerarse otro, intermedio entre el líquido y gaseoso, o sea el estado vespicular, las nubes por ejemplo.

6. Fenómeno. -Tiene esta palabra dos acepciones: una vulgar por la que significa lo que es contrario a lo establecido por la naturaleza, y otra científica o sea cualquiera cambio o mutación que experimente un cuerpo o sus moléculas. Si el cambio sufrido por el cuerpo llega a alterar su naturaleza transformándolo en otro cuerpo, el fenómeno es entonces químico: así si frota un pedazo de azufre contra un paño y se acerca después de frotado, a cuerpos ligeros como pedacitos de papel, se observa que los atrae: éste es un fenómeno físico, porque el azufre, aunque por el frotamiento se le ha colocado en condiciones de producir un fenómeno, no ha cambiado de naturaleza; pero si este mismo cuerpo se coloca en la llama de una bujía, se verá que arde y se transforma en una materia gaseosa de olor fuerte y sofocante; el azufre cambió entonces de naturaleza y el fenómeno es químico.

7. Causas de los fenómenos. -Los fenómenos físicos, únicos de que nos ocuparemos ahora, son numerosísimos: la lluvia, el rayo, el arco iris, la imagen que se pinta en un espejo, un cuerpo que cae o desciende, el sonido y otros muchos hechos que se observan en la naturaleza, son otros tantos fenómenos; pero a pesar de este número tan considerable, las causas productoras de los fenómenos son muy limitadas y aunque aún hoy se admiten cinco, la atracción, el calórico, el lumínico, el magnetismo y la electricidad, que se comprenden bajo la denominación genérica de fuerzas, agentes o fluidos incoercibles (que no se pueden sujetar) o imponderables, (que no tienen peso) la tendencia de la Física, en la actualidad, es no considerar más que una causa única de todos los fenómenos, siendo esos agentes como manifestaciones de una sola y única fuerza. Más adelante (231 -Nota) veremos los motivos en que apoya esta opinión la ciencia moderna.

8. Ley Teoría. Hipótesis. -Ley física es la relación que existe entre un fenómeno y la causa que le produce. Muchas veces la ley física se expresa de un modo matemático, dándole así cierto carácter axiomático; cuando decimos la intensidad del sonido está en razón inversa del cuadrado de la distancia, establecemos la relación entre la producción del sonido y la causa de su mayor o menor fuerza que disminuye con la distancia, en la proporción que indica el enunciado.

El conjunto de leyes relativas a un mismo orden de fenómenos se llama teoría, si bien esta palabra se aplica a veces a un solo fenómeno, por ejemplo la teoría del rocío, la teoría del rayo. Hemos dicho que se admiten como causas de los fenómenos, los fluidos incoercibles o imponderables, y aunque se conocen bien los efectos que estos producen en la materia de los cuerpos, la naturaleza de estos agentes nos es completamente desconocida; mas para explicar su modo de obrar y los hechos que originan, se han ideado las hipótesis, es decir, la suposición de un hecho, como cierto, que permita explicar satisfactoriamente un fenómeno o una serie de fenómenos. En otro lugar (231) hablaremos de las hipótesis más admitidas en Física.

9 Métodos seguidos en el estudio de la Física. -Los métodos seguidos en todos tiempos para el mejor conocimiento de los fenómenos físicos y las leyes bajo las cuales se manifiestan, eran consecuencia de las doctrinas y sistemas dominantes en cada época. El más antiguo evidentemente y el que prevaleció durante largo tiempo, es el del raciocinio o la aplicación de la sola razón al examen y demostración de los fenómenos de la naturaleza: sistema completamente estéril y de escaso resultado práctico, si la razón al obrar sola se aparta de la experiencia. El método experimental, que consiste en la reproducción, por medio de aparatos e instrumentos a propósito, de los fenómenos que se verifican en la naturaleza, seguido aisladamente, tampoco ha dado grandes resultados en los progresos de la Física. No así en los tiempos modernos, en que, unida a la experiencia la demostración científica de los fenómenos observados o experimentados, y deduciendo de su análisis diversidad de hechos para reunirlos o sintetizarlos, han dado a la Física, un carácter eminentemente filosófico de la más alta importancia. Pues si la razón pura ha podido realizar la más grande de las concepciones de la inteligencia humana, con el fundamento y desarrollo del cálculo matemático, en cambio, no ha hecho en los tiempos antiguos, con relación a la Física, más que idear hipótesis y sistemas, para intentar explicar y demostrar los fenómenos naturales. Es verdad que las hipótesis cuando tienen un fundamento racional y no se apoyan en conjeturas inverosímiles y tal como se plantean en la actualidad, revisten un gran interés; pero no bastan ellas solas para conocer los hechos y demostrarlos, si la experiencia no las sanciona y sobre todo el análisis matemático no las confirma. He aquí porqué las hipótesis modernas reconocen tan sólido fundamento; por que se apoyan en la razón y en la experiencia, y el cálculo las comprueba.

La Física moderna al buscar la relación entre todas las leyes más o menos empíricas, que presiden a la gran variedad de fenómenos, para llegar a la unidad, no rechaza ningún método, ni el del raciocinio, ni el de la observación, ni el de la experiencia, si con

cualquiera de ellos puede llegar al conocimiento perfecto de un hecho o de una ley física; pero da la preferencia al método matemático, merced al que la ciencia ha progresado maravillosamente. Más adelante tendremos ocasión de ver (211) la importancia y necesidad de la Mecánica racional en la demostración de todos los fenómenos físicos.

LECCIÓN 2.^a Propiedades de los cuerpos. -Extensión. -Impenetrabilidad. -Porosidad. -Volumen real y aparente. -Compresibilidad.

10. Propiedades de los cuerpos. -Llámanse propiedades físicas, las impresiones que los cuerpos en sus diferentes estados producen en nuestros sentidos y que referimos a los mismos cuerpos. Estas propiedades son esenciales, generales y particulares. Las esenciales corresponden a todos los cuerpos y es de esencia que las tengan, no pudiendo existir sin ellas: las generales pertenecen también a todos los cuerpos, pero se concibe que pudieran existir sin ellas, y las particulares son propias de determinados cuerpos o de formas especiales de los mismos. Entre las primeras figuran la extensión y la impenetrabilidad y aun pudiéramos añadir la divisibilidad. De estas propiedades unas corresponden sólo a la materia, como la impenetrabilidad, otras que son exclusivas de los cuerpos y no de la materia, como la porosidad, divisibilidad, compresibilidad etc., y por último las que son comunes a la materia y a los cuerpos como la extensión.

11. Extensión. -Se entiende por extensión el espacio limitado ocupado por un cuerpo que es lo que forma su volumen. El estudio de la extensión corresponde a la Geometría, pero la Física da medios de medir con toda exactitud las extensiones más pequeñas, cosa importantísima en multitud de casos. Esa medida se refiere en lo general a la extensión de una dimensión o sea la longitud, ya de una línea recta ya curva. Para apreciar esa extensión se hace preciso tener otra que sirva de unidad o término de comparación, cuya longitud arbitraria ha sido muy diferente en lo antiguo, en los diversos pueblos y naciones: España tenía la vara, Inglaterra la yarda, Prusia la loesa; pero en el sistema moderno o métrico-decimal, aceptado hoy en casi todas partes, figura el metro como unidad fundamental de todo el sistema y principal de las medidas de longitud. La última división establecida en el metro es el milímetro; pero como con frecuencia ocurre medir extensiones mucho más pequeñas que el milímetro, se han construido para estos casos diversos instrumentos conocidos con los nombres de Vernier, tornillo micrométrico, esferómetro y otros varios: sólo nos ocuparemos del primero por ser el más usado. El Vernier, llamado así del apellido de su inventor o perfeccionador consta de dos reglas (fig. 1^a), una fija A B dividida en partes iguales, milímetros por ejemplo, y otra C D movable lateralmente sobre la primera, que es el verdadero Vernier: esta regla o Vernier tiene señalada una extensión longitudinal igual a nueve divisiones de la regla mayor, pero dividida en diez partes iguales, de modo que cada una de las divisiones del Vernier es un décimo más pequeña que las de la regla fija o cada una vale nueve décimos de las de la regla mayor. Veamos el manejo, que es muy fácil, de este sencillo instrumento. Se aplica la regla mayor y fija A B al objeto cuya

longitud se quiere determinar, de manera que el cero de esta escala coincida con uno de los extremos M del cuerpo; y si el otro extremo N no corresponde exactamente con una división, entonces se hace uso del Vernier. Supongamos que el extremo N se halla entre la 6.^a y la 7.^a división, esto indicará que el cuerpo tiene 6 milímetros y una fracción; entonces se aplica el cero de la escala Vernier al extremo N del cuerpo y se observa en que punto coinciden o se aproximan más dos divisiones del Vernier y de la regla fija, que en nuestro ejemplo es en la 4.^a, tendremos que el cuerpo tiene de longitud 6 mm y 4 décimos de milímetro. Si en vez de fijar en la regla menor o Vernier nueve divisiones de la grande, se hubiesen tomado 19, 29, 39 etc. y se hubiesen dividido respectivamente en 20, 30, 40... partes iguales, se podría apreciar un vigésimo, un trigésimo etc. de milímetro. Cuando el Vernier se aplica para medir arcos de círculo, en fracciones de grado o de minuto, entonces toma más particularmente el nombre de nonius de su inventor.

12. Impenetrabilidad. -La propiedad esencial en virtud de la que dos porciones de materia no pueden ocupar a la vez un mismo sitio del espacio, recibe el nombre de impenetrabilidad. Si esta propiedad no corresponde a los cuerpos, es decir, si estos se penetran es a causa de que sus moléculas no se tocan por todos sus puntos, sino que dejan entre sí espacios mayores o menores en los cuales puede penetrar otro cuerpo; así si el agua o la infusión de café penetran en un terrón de azúcar, es por los espacios o huecos (poros) que ésta tiene; de lo cual se deduce que un cuerpo será tanto más penetrable cuantos mayores espacios tenga en su masa; por eso los metales cuyas moléculas están muy unidas y ofrecen pequeñísimos intersticios, se dejan penetrar difícilmente; en cambio, las maderas, cuyas moléculas están más separadas, gozan de una gran penetrabilidad; en ellas se puede introducir fácilmente un objeto, un clavo por ejemplo. Si pues, los cuerpos careciesen en absoluto de espacios en su interior, serían perfectamente impenetrables; y si esto se observa en los sólidos y líquidos que en muchos casos se consideran impenetrables, también se cumple esta propiedad entre los líquidos y los gases. Colóquese un vaso boca abajo dentro del agua y se observará que el líquido no llega al fondo de aquel por impedírsele el aire que hay dentro del vaso. En esta propiedad estriban muchas e importantes aplicaciones, como el medio que se emplea en Química para trasvasar los gases de una vasija que contenga el gas a otra llena de agua o de mercurio; y la campana de buzar, aplicación ingeniosa y utilísima del sencillo experimento que acabamos de referir, merced a la cual, uno o más hombres (buzos) colocados dentro de un gran vaso o campana de madera, convenientemente dispuesta y que se hace descender al mar desde un buque, pueden bajar hasta su fondo para examinar el suelo y recoger objetos sumergidos.

13 Porosidad. -Dejamos dicho que las moléculas de los cuerpos no se tocan por todos sus puntos y esta propiedad, por la que las partes de un cuerpo dejan entre sí espacios sin materia propia del cuerpo, se denomina porosidad; y los espacios huecos o intersticios se llaman poros. La porosidad es una propiedad general de los cuerpos, cualquiera que sea su estado y lo demuestra el que no hay cuerpo alguno, aun los más compactos, como los

metales, que no puedan reducirse a menor volumen, lo cual no sucedería si sus moléculas no se acercasen o no estuviesen separadas antes de disminuir de volumen. La porosidad de los cuerpos sólidos se demuestra prácticamente por medio de la experiencia conocida con el nombre de lluvia de mercurio, que se verifica con un tubo de vidrio (fig. 2) provisto en sus extremos de dos guarniciones metálicas: en la parte superior A B se coloca el cuerpo cuya porosidad se quiere apreciar; por ejemplo, un disco de madera o de cuero, y después se atornilla un vaso metálico M formando todo una especie de taza, cuyo fondo es el cuerpo que se va a experimentar; dentro de ella se pone mercurio: el otro extremo del tubo lleva una llave de comunicación y termina en rosca, que se puede atornillar en la máquina neumática (190) y por fin va provisto el aparato, en su fondo, de un pequeño tubo encorvado para evitar que el mercurio que va a caer, penetre en la máquina. Si por medio de ésta se extrae el aire del interior del tubo, el mercurio comprimido por el aire exterior, se ve obligado a atravesar por los poros del cuerpo, cayendo bajo la forma de lluvia en gotas muy pequeñas.

14 Volumen real y aparente. -Consecuencia de ser los cuerpos porosos, el espacio que ocupan no es el que les corresponde, puesto que el volumen no está formado todo por la materia del cuerpo; de aquí la división del volumen en real y aparente; el primero es el que tendría el cuerpo si careciese de poros o todo él estuviese lleno de su propia materia, y el segundo es el espacio que ocupa con más los poros: el volumen aparente es siempre mayor que el real.

Numerosas aplicaciones ofrece esta propiedad, siendo una de las más notables la de los filtros; es decir, cuerpos porosos, (papel, carbón, etc.) que dejan pasar a través de sus poros los líquidos, pero que retienen las partículas sólidas que aquellos tengan en suspensión; de este fenómeno se saca partido en muchas poblaciones para purificar el agua turbia, haciéndola pasar por filtros a propósito.

15 Compresibilidad. -Se llama compresibilidad la propiedad general que poseen los cuerpos de disminuir de volumen por la presión o por otro esfuerzo. Todos los cuerpos son compresibles porque todos son porosos, de lo cual se deduce que un cuerpo será tanto más compresible cuanto mayor sea el número de sus poros; por eso los gases son los cuerpos más compresibles. La compresibilidad de los sólidos se comprueba considerando que por la presión o el forjado aumentan de densidad (23) lo cual no sucedería sino disminuyesen de volumen. En cuanto a los líquidos, esta propiedad es muy limitada y durante mucho tiempo pasaron por incompresibles, pero ya veremos (107) cómo se demuestra en ellos esta propiedad; los gases lo son en alto grado como también se verá más adelante. Pero en todos los cuerpos sólidos esta propiedad reconoce un límite, pasado el cual, el cuerpo fuertemente comprimido deja de disminuir de volumen y sus moléculas se separan, rompiéndose el cuerpo o pulverizándose.

LECCIÓN 3.^a Elasticidad. -Divisibilidad. -Ejemplos de extremada divisibilidad. - Movilidad. -Inercia.

16. Elasticidad. -Llámase así la propiedad que poseen los cuerpos de recobrar su forma y volumen cuando cesa la fuerza que los había deformado o comprimido. La elasticidad en los cuerpos sólidos es de grado diferente; unos recobran instantáneamente y por completo su forma y se llaman elásticos de primera especie, tal sucede al marfil, y otros tardan más o menos tiempo y no la recuperan por completo y son elásticos de segunda especie, tal es el plomo. Los líquidos y los gases tienen una elasticidad perfecta.

En los sólidos la elasticidad se manifiesta según la forma que presentan estos cuerpos; por flexión en las láminas delgadas y estrechas; por torsión en los hilos y por tracción en las barras y alambres: pero la elasticidad en todos estos casos se considera como propiedad particular de esta clase de formas y de ella nos ocuparemos más adelante (25). En cuanto a la elasticidad como propiedad general de los sólidos, que también se llama elasticidad por presión, se observa que todo cuerpo por la presión o por el choque, que es una verdadera presión, pierde su forma, cambiando por lo tanto sus moléculas de posición, pasando del estado natural que tenían a una posición violenta, originada por la fuerza que las comprime: entonces se desarrolla en ellas una fuerza de reacción contraria (e igual si son elásticos de primera especie y desigual si no lo son) a la que las deformó, que las permite volver a su posición primitiva, cuando cesa de obrar la fuerza comprimente. Que el cuerpo se deforma por la presión o el choque, se demuestra, porque si se coloca sobre un plano de mármol negro, cuya superficie tenga una ligera capa de aceite, una esfera de marfil, será tangente en un punto muy pequeño que quedará señalado en el mármol por una pequeñísima huella; si ahora se deja caer la esfera desde cierta altura, aparecerá en el punto de contacto del choque una ancha huella, tanto más grande cuanto mayor sea la altura de donde caiga, lo cual prueba que en el momento del choque la esfera se ha aplanado y por consecuencia perdido su forma, la que recobra por la fuerza de reacción que la obliga a rebotar y que se eleve hacia el punto de donde descendió.

La experiencia puede variarse haciendo chocar dos bolas de marfil, una de las cuales esté ennegrecida en un punto, ahumándola previamente en la llama de una bujía; ambas se deforman en el momento del choque, como lo prueba la extensa huella que aparece en ellas, blanca en una y negra en la otra; pero recobrando repentinamente su forma anterior.

17. Divisibilidad. -Es la propiedad que poseen los cuerpos de poder separarse en partes o fraccionarse. Algunos consideran esta propiedad bajo dos aspectos físico y matemático: en el concepto matemático los cuerpos son divisibles hasta el infinito; pero físicamente la divisibilidad se admite que tiene un límite; más aún bajo este último aspecto creemos que la materia se puede siempre fraccionar, porque la última parte a que se puede llegar por los medios mecánicos, físicos o químicos, será siempre una unidad susceptible de división.

18 Ejemplos de extremada divisibilidad. -Nuestros procedimientos mecánicos no nos permiten dividir la materia más que hasta cierto límite; pero concíbese que puede hallarse y se halla seguramente en la naturaleza dividida hasta un punto que maravilla. Entre multitud de ejemplos que pudieran citarse del grado de divisibilidad que alcanzan los cuerpos, sólo mencionaremos los siguientes, Wollaston logró por un medio ingenioso hacer hilos de platino de una tenuidad tal, que su diámetro era de $1/1200$ de milímetro y un kilómetro de este hilo solo pesaba 5 centigramos: una corta cantidad de almizcle está emanando partículas olorosas durante algunos años, sin que apenas disminuya de peso. Pero donde la divisibilidad es verdaderamente esmerada y admirable es en el reino orgánico; seres diminutos que no pueden percibirse como no sea con el auxilio de poderosos instrumentos de óptica (microscopios), tienen sus órganos y gérmenes, que a su vez están compuestos de partes cuya pequeñez apenas puede comprender nuestra inteligencia; y si muchos de esos seres de extremadísima tenuidad viven a expensas de otros seres, como parásitos y estos a su vez tienen también otros parásitos, compréndese cuán difícil será señalar el último punto en la divisibilidad de la materia.

19. Movilidad. -Movilidad es la propiedad general que tienen los cuerpos o sus moléculas de pasar de un punto o lugar a otro en el espacio bajo la acción de una causa cualquiera que se llama fuerza. El acto de trasladarse el cuerpo de un lugar a otro en el espacio, se llama movimiento, y reposo la permanencia del cuerpo en un mismo lugar. Tanto el movimiento como el reposo se consideran como absolutos y relativos, aunque no existen ni reposo ni movimiento absoluto. Sería movimiento absoluto el que tuviera un cuerpo que cambiara de lugar con entera independencia de todos los demás y con relación a otro que estuviera en reposo absoluto, o bien será movimiento absoluto el de todo el universo a la vez girando o moviéndose en el espacio infinito; y movimiento relativo el que tienen los cuerpos que se trasladan de un sitio a otro; por la misma razón sería reposo absoluto el de un cuerpo perfectamente fijo o quieto en el espacio y relativo la permanencia de un cuerpo en un lugar con relación a otros que se mueven los postes telegráficos y los árboles situados a orillas de una vía férrea están en reposo relativo con relación al tren que por ella se mueve. Como todo en la naturaleza cambia de lugar o se mueve, no puede admitirse el reposo absoluto; así los edificios, los árboles y las montañas que nos parecen que están en una quietud perfecta o absoluta, se mueven sin embargo con la tierra, trasladándose con ella por el espacio: de no existir el reposo absoluto, tampoco se concibe el movimiento absoluto. No hay, pues, más que movimientos y reposos relativos.

20. Inercia. -Con esta palabra se expresa la falta de aptitud que tiene la materia para darse a sí misma movimiento, o una vez en movimiento poder modificarle, ni menos volver

al estado de reposo. De aquí se deduce que un cuerpo puesto en movimiento lo verificará eternamente mientras una causa no le obligue a detenerse y viceversa: ejemplo de la inercia en movimiento son los astros, que no se pararán sin que una causa (la voluntad de Dios) los detenga. Si los cuerpos más o menos cercanos a la tierra pierden su movimiento al llegar a la superficie del globo, es porque hay una causa constante que les obliga a ello, la fuerza de atracción terrestre (22).

La inercia en el reposo se comprende sin gran esfuerzo; no así en el estado de movimiento; pero ejemplos numerosos la comprueban. Cuando una persona corre aceleradamente no puede detenerse de repente, hasta que la acción de sus músculos, obrando en sentido contrario al impulso producido, se hace superior o igual a éste y le destruye: un tren que marcha con gran velocidad tampoco puede detenerse en el acto, aún con los frenos de contención que a este efecto se han inventado, hasta que pasado algún tiempo y ya suprimida la acción que impulsaba el tren (el vapor), entorpecido el movimiento de las ruedas por los frenos y destruida poco a poco la velocidad por el roce sobre los raíles, el movimiento se minora y termina. En efecto, la velocidad adquirida en todos estos casos, no se aniquila en virtud de la inercia, repentinamente. Ejemplos varios y aplicaciones tendremos ocasión de citar, que están basadas en la inercia de la materia: solo diremos aquí, que una persona que camina en un carruaje participa en virtud de la inercia, de la velocidad del vehículo; y si marchando este con rápido movimiento, la persona intenta arrojar fuera de él y en sentido contrario a la dirección que lleva el carruaje, ser arrastrada hacia el coche y acaso envuelta entre sus ruedas, pues en virtud de la velocidad adquirida y que no puede perder repentinamente por la inercia, continuará aún en tierra, moviéndose como si estuviera dentro del carruaje: por eso en caso de peligro o por cualquier accidente, hubiera necesidad de lanzarse fuera de un coche, por ejemplo, de un tren, debe hacerse en la misma dirección que éste lleva, pero de una manera oblicua y con muy poco o ningún esfuerzo, porque la misma velocidad de que el cuerpo va animado lo lanzará a gran distancia.

Capítulo II

LECCIÓN 4.^a Atracción. Sus leyes. -Gravedad. Plomada. -Masa. Peso. -Densidad. - Fórmula de la densidad.

21. Atracción. Sus leyes. -Llámase atracción en general la tendencia que tienen los cuerpos de dirigirse sin cesar los unos hacia los otros. Esta fuerza está, pues, obrando constantemente, aunque no siempre son sensibles sus efectos por estar contrarrestada por la fuerza de repulsión (4). La atracción universal, estudiada principalmente por los astrónomos y los físicos, hállase sujeta a dos leyes: 1.^a la atracción obra en razón directa de las masas, y 2.^a ejerce su acción en razón inversa del cuadrado de la distancia; leyes demostradas concluyentemente por Newton y que se cumplen siempre en la materia cualquiera que sea su estado. Cuando la atracción se considera entre los astros, recibe el nombre de Gravitación; que existe esta fuerza entre los cuerpos celestes, lo comprueba el que lanzados por la mano de Dios en el espacio, deberían moverse en línea recta por haber sido uno sólo e instantáneo el impulso (73), y en virtud de la inercia continuarían

moviéndose así eternamente; pero la atracción de los unos sobre los otros les obliga a trazar en el espacio una curva u órbita de la cual no se apartan nunca: así el sol atrae a la tierra y a los demás planetas, estos a sus satélites o a otros astros, girando por lo tanto los unos en torno de los otros; y si no se precipitan chocando entre sí, es porque además en su movimiento de rotación, se desarrolla otra fuerza, proporcional a sus masas que contrarresta a la fuerza atractiva (88).

22. Gravedad. Plomada. -Si la atracción se considera en la tierra, recibe el nombre de Gravedad o atracción terrestre; esta fuerza existe en el centro de nuestro globo y en virtud de ella, todos los cuerpos tienden sin cesar a dirigirse al centro de la tierra; así un cuerpo abandonado a sí mismo en el espacio, se dirige hacia la tierra o cae: por esta razón los cuerpos se llaman graves. La dirección que toma el cuerpo al caer se llama vertical y es normal a la superficie de los líquidos o de las aguas tranquilas. La vertical en un punto cualquiera de la tierra se determina por medio de la plomada, que consta de un hilo o cuerda del cual pende una masa de plomo o de otro cuerpo pesado: fijando o suspendiendo el hilo por el otro extremo, la dirección que señale cuando esté en reposo, será la vertical; es decir, que si suponemos prolongado el hilo y su masa, ésta llegaría al centro de la tierra, representando, pues, un radio de ella. La línea o plano perpendicular a la vertical se llama línea o plano horizontal. Si la plomada está cerca de una gran masa, su posición no es entonces perfectamente vertical, sino ligeramente inclinada, porque en parte, aunque pequeña, es atraída por la masa mayor (1.^a ley de la atracción): así una plomada cerca de la gran montaña del Chimborazo se desvía 7,"5. Las verticales en cortas extensiones, dada la gran distancia del centro de la tierra, son entre sí casi paralelas, pero en grandes extensiones forman ángulos mayores o menores. Decimos casi paralelas, porque no pueden serlo nunca, pues las verticales son líneas rectas que concurren en un punto: sin embargo, en cortas distancias bien puede admitirse el paralelismo perfecto. La plomada es de un uso indispensable por su sencillez y exactitud, en las construcciones para determinar la vertical de las paredes, columnas, etc., a fin de que se hallen en la mayor estabilidad posible (45), pues de estar inclinadas, sería más fácil que se cayesen hacia el lado que se inclinan.

Si la atracción se verifica entre las partículas homogéneas de los cuerpos, se llama atracción molecular o cohesión, y si entre las moléculas heterogéneas que forman los cuerpos compuestos, se denomina afinidad, cuyo estudio corresponde a la Química.

23. Masa. -Peso.- Llámase masa la cantidad de materia que contiene un cuerpo. Peso es la presión que ejerce un cuerpo sobre los obstáculos que le impiden caer o dirigirse hacia el centro de la tierra; este es el peso absoluto: si el cuerpo está suspendido no ejercerá presión, sino tracción o tirantez sobre el hilo que le sujeta. Los cuerpos, pues, tienen peso porque existe la acción de la gravedad: si esta desapareciese, desaparecería el peso, pero no la masa, que solo puede desaparecer con la materia. Siendo el peso de los cuerpos resultado

de la acción de la gravedad que obra sobre cada una de las moléculas, en razón directa de su cantidad o masa, se deduce que los pesos son proporcionales a las masas. El peso es además relativo y específico: peso relativo es la presión que ejerce un cuerpo, comparada con la que origina otro que se toma por término de comparación o unidad; esta unidad en el sistema métrico-decimal es el gramo o su múltiplo el kilogramo: y peso específico, la comparación en volúmenes iguales entre el peso relativo de un cuerpo y el de otro que se toma también por unidad. El cuerpo que sirve como unidad para determinar el peso específico de sólidos y líquidos, es el agua pura o destilada a 4 grados de temperatura (253) y para los gases y vapores el aire seco y puro y a una presión y calor constantes (255).

24. Densidad. -Fórmula de la densidad. -Al peso específico se le suele llamar también densidad, pero hay entre estas palabras una diferencia esencial: densidad es la relación entre la masa o cantidad de materia de un cuerpo y la masa de otro que se toma por unidad en igualdad de volúmenes: el peso específico depende de la acción de la gravedad; la densidad de la masa: aquella pudiera desaparecer y los cuerpos no tendrían peso, ni relativo, ni específico; pero la masa no puede desaparecer, como no dejo de existir el cuerpo y por lo mismo siempre tendrán densidad: más como no es fácil que la gravedad y por consecuencia el peso desaparezcan, y por otra parte, los pesos son proporcionales a las masas, de ahí que se tomen como sinónimos peso específico y densidad.

Dada, pues, la definición de densidad tendremos, que si se llama M a la masa, V al volumen y D a la densidad, la relación que llevamos establecida se podrá formular del modo siguiente:

Si llamamos P al peso relativo de un cuerpo, V al volumen y E al peso específico, la fórmula del peso específico absoluto de un cuerpo cualquiera será

y para el agua destilada, llamando P' a su peso relativo, V a su volumen, igual al anterior, y E al peso específico, se tendrá

de donde el peso específico relativo de un cuerpo comparado con el del agua pura, sería

Es decir, que peso específico de un cuerpo es el cociente de dividir el peso de un cuerpo por el peso de un volumen igual de, agua destilada. Así el oro tiene un peso específico de 19, lo cual significa que en dos masas, dos esferas por ejemplo, de igual volumen, una de oro y otra de agua, hay en la primera 19 veces más materia que en la segunda o pesa 19 veces más.

El peso específico, como veremos al estudiar los procedimientos para determinarle (127) es constante en cada cuerpo, siempre que la masa y el volumen guarden la misma relación.

Capítulo III

Propiedades particulares de los sólidos.

LECCIÓN 5.^a -Elasticidad como propiedad particular de los sólidos. -Elasticidad de torsión. -De flexión. -De tracción. -Temple y recocido. -Ductilidad. -Maleabilidad. -Dureza. Tenacidad.

25. Elasticidad como propiedad de los sólidos. -Además de las propiedades generales propias de la materia y de los cuerpos, hay otras particulares de los sólidos, tales como las diversas especies de elasticidad, la maleabilidad, la ductilidad, la dureza y la tenacidad. Conocida la elasticidad como propiedad general, nos resta ocuparnos de los diferentes casos en que aparece como propiedad particular, en las diversas formas de los sólidos.

26. Elasticidad de torsión. -Si se sujeta un hilo metálico fino por uno de sus extremos y en el otro se coloca una aguja en posición horizontal y de cierto peso que obligue al hilo a estar tenso, dando vueltas a la aguja a, fin de que el hilo se tuerza y abandonada luego a sí misma, si se observa que el hilo, cuyas moléculas han cambiado de posición al torcerse, se mueven en sentido contrario hasta volver a su posición anterior: hay aquí una elasticidad, que por su carácter y modo de originarse se llama de torsión: así como el esfuerzo empleado para desviar la aguja de su posición, se denomina fuerza de torsión, y el ángulo comprendido entre la posición primitiva de la aguja y otra posición cualquiera, se llama ángulo de torsión. Conlomb encontró por medio de la balanza de su nombre o balanza de torsión que las oscilaciones producidas por los hilos, cuando se verifican en un corto número de grados, se hallan sometidas a las leyes siguientes:

1.^a Que son sensiblemente isócronas, es decir, duran el mismo tiempo: (del griego isos igual y cronos tiempo.)

2.^a -El ángulo de torsión es proporcional a la fuerza de torsión.

3.^a Para una misma fuerza de torsión o hilos de igual diámetro, el ángulo de torsión, es proporcional a la longitud de los hilos.

4.^a Para una misma fuerza y una misma longitud en los hilos, el ángulo de torsión es inversamente proporcional a la cuarta potencia de los diámetros.

27. Elasticidad de flexión. -Si el cuerpo sólido presenta la forma de lámina delgada y se fija por un extremo y cogiéndola por el otro se la encorva; abandonada, recobra su forma y posición primitivas, después de un número de movimientos rápidos u oscilaciones: esta elasticidad se llama de flexión. La causa que la determina, como en la anterior elasticidad, es la misma que la de la elasticidad general: al encorvarse la lámina, las moléculas que forman la parte convexa se extienden hasta cierto límite y las de la parte cóncava se aproximan cual si estuviesen comprimidas, entonces se desarrolla en ellas la fuerza de reacción (16) que las obliga a tomar su posición primitiva. Esta propiedad es notable en el acero templado. La elasticidad de flexión ofrece numerosas aplicaciones en los muelles de los carruajes y de los relojes, en los dinamómetros destinados a medir determinadas fuerzas y en otros muchos casos.

28. Elasticidad de torsión. -Si se aplican a los extremos de un alambre o de una barra dos fuerzas que obran en sentido contrario la barra o el alambre se alargan, volviendo a recobrar su longitud cuando dejan de obrar las fuerzas: esta propiedad se conoce con el nombre de elasticidad de tracción. Sabart se valió de un medio muy sencillo para determinar esta elasticidad y formular sus leyes. Suspendido el hilo o la varilla de un soporte fuerte de madera (fig. 3) se coloca en el extremo inferior un platillo: hechas dos señales M y N en la varilla, se mide con toda exactitud su distancia por medio de un catetómetro A, que se llama así una regla de madera vertical graduada que lleva un antejo horizontal que puede colocarse en las diversas divisiones de la barra: dirigida la visual con el antejo, primero a la señal superior M y luego a la inferior N, se anota la distancia que media entre ellas por las dos posiciones en que se ha colocado el antejo en la barra graduada; poniendo después pesos en el platillo, la varilla se alarga, cuya prolongación se aprecia por el antejo del catetómetro, dirigiéndole a las señales M y N, cuya distancia ahora será mayor. Retirados los pesos del platillo, es decir, desapareciendo la fuerza de tracción, la varilla, recobra exactamente su longitud. De las experiencias practicadas con este aparato se han deducido las leyes siguientes:

1.^a Las varillas y los hilos tienen una elasticidad perfecta; es decir, que recobran exactamente su longitud cuando cesa la fuerza de tracción.

2.^a Para un mismo cuerpo y un mismo diámetro, la prolongación de la varilla o hilo, es proporcional a la fuerza de tracción y a la longitud.

3.^a Para unas mismas varillas o hilos de igual longitud, pero de diferente diámetro, el aumento de longitud, está en razón inversa de los cuadrados de los diámetros.

29. Temple y recocido.-Todas las elasticidades que acabamos de estudiar reconocen un límite, pasado el cual, el cuerpo se rompe; lo que se verifica cuando la fuerza que hace cambiar de posición a las moléculas, vence la atracción que hay entre ellas, entonces se separan para no volver a unirse por sí mismas. Varias causas influyen en el límite de la elasticidad y por consecuencia que esta propiedad aumente o disminuya. Aumenta la elasticidad con el temple, operación que consiste en colocar el cuerpo en una elevada temperatura y enfriarlo repentinamente, introduciéndolo en agua fría: las moléculas entonces toman una posición violenta y el cuerpo adquiere más elasticidad y mayor dureza, pero se hace más frágil: tal sucede con las hojas de las espadas y otros instrumentos cortantes de acero: también hace aumentar la elasticidad el forjado, el batido y toda operación que acerque las moléculas del cuerpo; por último influye en esta propiedad la forma; la esférica aumenta la elasticidad, la hueca más que la maciza y más aún la de aro o anillo.

La colocación violenta de las moléculas en la operación del temple se comprende bien dada la posición que repentinamente se las hace tomar por el enfriamiento; mas no se explica tan fácilmente por qué causa adquieren entonces mayor grado de elasticidad.

El recocido disminuye la elasticidad; operación que se reduce a calentar en una alta temperatura el cuerpo y dejarlo enfriar lentamente; las moléculas toman una posición natural, la elasticidad disminuye, pero el cuerpo se hace menos frágil. Y como el vidrio se temple cuando estando caliente se enfría rápidamente y entonces se vuelve frágil y puede romperse por un pequeño choque; los objetos fabricados con esta sustancia se los somete a la operación del recocido en hornos a propósito, dejándoles después que se enfríen lentamente.

30. Ductilidad. -Maleabilidad. -Se llama ductilidad la propiedad que poseen algunos cuerpos de cambiar de forma por la acción de presiones o esfuerzos determinados. Si el cuerpo se estira o alarga, adquiriendo la forma de hilo, entonces se llama más propiamente ductilidad, y si se extiende en láminas, maleabilidad. Para reducir los cuerpos a hilos se emplea la hilera, y para extenderlos en láminas el laminador o la acción del martillo.

Como los cuerpos al pasar por la hilera o el laminador se vuelven frágiles, para que adquieran de nuevo la flexibilidad que les es propia y puedan doblarse, sin romperse, se someten a la operación del recocido.

No todos los cuerpos sólidos poseen estas propiedades en el mismo grado; en unos como la cera y la arcilla humedecida, se les puede hacer cambiar de forma fácilmente; en otros como el vidrio, es preciso reblandecerlos antes por la acción del calor y entonces pueden reducirse a hilos como la seda más fina; y en los metales se necesitan por punto general grandes esfuerzos, pero algunos de ellos son también los que poseen estas propiedades en más alto grado. El orden de ductilidad y maleabilidad en varios metales, es el siguiente, siendo el platino el más dúctil y el oro el más maleable.

DUCTILIDAD. MALEABILIDAD.

Platino Oro
Plata Plata
Hierro Cobre
Cobre Estaño
Oro Plomo
Zinc Zinc
Estaño Platino
Plomo Hierro

31. Dureza. -Tenacidad.-Es la dureza la resistencia que ofrecen los cuerpos a ser rayados o desgastados por otros: en este concepto diamante es el más duro, porque raya a todos los cuerpos y ninguno le raya a él. Para conocer el grado de dureza de los cuerpos y particularmente de los minerales, se ha ideado una escala llamada de dureza, debido a Mohs, cuyo estudio corresponde al mineralogista. La gran dureza del diamante y el no existir otro cuerpo que pudiera desgastarte, ha sido causa de que durante mucho tiempo, no se conociera el modo de tallarle, hasta el siglo XV en que Luis Berguen, lo consiguió empleando el polvo del mismo diamante; por este medio se ha logrado aumentar la belleza natural, que es ya muy notable, de esta piedra preciosa por excelencia.

No hay relación ninguna entre la dureza y la tenacidad o sea la resistencia que presentan los cuerpos a ser rotos por naturaleza de tracción. Si los cuerpos ceden fácilmente al choque y, sus moléculas se separan fácilmente, se llama esta propiedad fragilidad. Así el diamante que es el cuerpo más duro, no por eso es muy tenaz; lo mismo sucede con el vidrio que resiste a ser rayado o cortado como no sea con un cuerpo duro y sin embargo es muy frágil. El cuerpo más tenaz es el hierro. Esta propiedad se aprecia dando a los cuerpos la forma de varillas o láminas y sometiénolas a la tracción medida en kilogramos hasta que se produce la rotura; el peso que determina la rotura es directamente proporcional a la sección transversal de la varilla, pero independiente de su longitud.

Si la tracción dura algún tiempo, la tenacidad disminuye; así se ha observado que los puentes colgantes, que han resistido a una gran presión en el acto de la prueba, ceden después a esfuerzos menores. El peso que hay necesidad de emplear para producir la rotura en diferentes cuerpos, siendo su sección de 1 milímetro cuadrado, en el siguiente:

METALES Kilog. MADERAS Kilog.

Hierro en alambre 63 Boj 14
Hierro recocido 50 Fresno 12
Cobre laminado 41 Abeto 9
Acero 30 Haya 8
Oro laminado 28 Roble 7
Zinc laminado 16 Caoba 5

La tenacidad varía aún para una misma sustancia, según su forma: la resistencia que en este caso oponen las moléculas a separarse, consecuencia de la atracción molecular o

cohesión, se llama resistencia de los materiales, cuyo conocimiento interesa sobremanera en las construcciones así civiles, como navales. La forma curva es la que más resiste y en igualdad de condiciones más la curva hueca que la maciza. Un cilindro resiste más que un prisma, siempre que sus secciones sean equivalentes. En cantidades iguales de materia, el cilindro hueco resiste más que el macizo, correspondiendo la mayor tenacidad al caso en que el radio exterior esté con el interior en la razón de 11 a 5. Y esta resistencia es lo mismo para la presión que para la acción; así un cilindro resiste más a la presión siendo hueco que macizo, si tienen la misma masa y altura. He aquí porqué en todos aquellos casos en que los cuerpos han de sufrir enormes presiones, se les da la forma de curva hueca; tal sucede en las bóvedas y arcos de las catedrales, que han de soportar el peso de las grandes torres; en los puentes, túneles, etc. Obsérvase asimismo en los cuerpos de la naturaleza que tienen que ofrecer mucha resistencia a la presión y por lo mismo a la rotura; los huesos de los animales, el cráneo, las plumas y los tallos del trigo y otras plantas análogas, tienen más resistencia que si fuesen macizos de igual masa.

A. COHESIÓN. -La cohesión o sea la fuerza que une las moléculas semejantes u homogéneas de los cuerpos es muy enérgica en los sólidos, pues se necesita emplear, en la mayor parte de ellos un esfuerzo considerable para disgregarlos. El grado de cohesión es muy variable en los diferentes cuerpos y en lo general se disminuye por el calor, que como veremos, penetrando en el interior, separa sus moléculas.

B. ADHESIÓN. -Si la atracción tiene lugar entre las superficies de los cuerpos, bien homogéneos o diferentes, entonces se llama adhesión. Dos trozos de vidrio puestos en contacto durante algún tiempo llegan a adherirse de un modo notable; dos balas de plomo recién cortadas y puestas en contacto con alguna presión, también se adhieren fuertemente; y, en fin, dos discos de vidrio esmerilado pueden adherirse si se les frota un poco, en términos de necesitarse un esfuerzo bastante considerable para separarlos.

Libro segundo
Nociones de Mecánica

Título I
Mecánica de los sólidos.

Capítulo I
Estática. LECCIÓN 6.^a Fuerzas. -Equilibrio. -Unidades de fuerza. -Mecánica. Su división. -Sistema de fuerzas. Resultante. Componentes. -Modo de actuar las fuerzas. -Fuerzas angulares. - Paralelogramo de las fuerzas.

32. Fuerzas. -Se entiende por fuerza toda causa capaz de producir el movimiento o modificarle: si el movimiento de los cuerpos es mayor o menor, más o menos rápido, es porque las fuerzas pueden obrar con más o menos energía y por lo mismo las fuerzas son cantidades, susceptibles de medida. Son fuerzas la gravedad, la acción muscular, la tensión del vapor, etc. En toda fuerza hay que considerar tres cosas: 1.º su dirección; 2.º su

intensidad o magnitud y 3.º su punto de aplicación. Llámase dirección la línea que la fuerza obliga a recorrer al cuerpo: intensidad el valor numérico de dicha fuerza comparado con otra que sirve de unidad y punto de aplicación aquel punto en que actúa la fuerza. Éstas, en las demostraciones gráficas, se representan por líneas o mejor saetas, cuya magnitud, dirección y extremo de la flecha indican los tres elementos de toda fuerza.

33. Equilibrio. - Cuando un cuerpo se halla solicitado por dos o más fuerzas iguales y contrarias, que mutuamente se destruyen en sus efectos, se dice que está en equilibrio, (del latín equus igual y libra balanza o peso); estado muy parecido al reposo, pero que se diferencia de él, en que en este último estado no actúa sobre el cuerpo fuerza alguna. Todos los cuerpos en reposo aparente o relativo (19) en rigor se hallan en equilibrio.

34. Unidades de fuerza. - Una fuerza puede medirse en sus efectos de varios modos, empleándose para ello aparatos como los llamados dinamómetros (del griego dynamis fuerza y metron medida); siendo los más comunes el de resorte y la romana de cuadrante; sólo hablaremos del primero. Consiste (fig. 4) en un muelle o resorte colocado en un cilindro metálico que tiene una ranura longitudinal; una varilla atraviesa el muelle interiormente y termina en la parte superior en un disco de mayor diámetro que el muelle y en la inferior, saliendo al exterior del cilindro, en un gancho del que se suspende el peso cuyo esfuerzo se quiere conocer, el cual comprimiendo el muelle, hace descender la varilla y con ella un índice que corre por la ranura que en su parte lateral lleva una escala dividida en partes que representan kilogramos. Se conocen además otras unidades de medida para las fuerzas o sea el trabajo que éstas producen, como el kilográmetro o el esfuerzo que es necesario hacer para elevar 1 kilogramo a la altura de 1 metro en 1 segundo de tiempo: el caballo de vapor, que equivale a 75 kilográmetros o sea a dos caballos de tiro próximamente, y la gran unidad dinámica o dinamia que consta de mil kilográmetros.

35. Mecánica.- Su división. - Se entiende por Mecánica la ciencia que estudia las fuerzas y sus efectos, ya produciendo equilibrio, ya movimiento. De aquí la división de la Mecánica en dos grandes secciones, la que se ocupa del equilibrio y la que trata del movimiento de los cuerpos. Consideraremos, pues, a la Mecánica con relación a los estados de los cuerpos y la dividiremos en Mecánica de los sólidos, de los líquidos y de los gases. La Mecánica de los sólidos se divide en Estática y Dinámica: la primera trata del equilibrio de los cuerpos sólidos y la segunda de su movimiento: más adelante estableceremos la división de la Mecánica de los líquidos y la de los gases.

La Mecánica es una ciencia importantísima, completamente independiente de la Física, por más que haya entre las dos determinadas relaciones; por eso sólo nos ocuparemos aquí

de aquellos principios de Mecánica indispensables para el mejor conocimiento de varios fenómenos, cuyo estudio es puramente físico.

36. Sistema de fuerzas. Resultante. Componentes. -Cuando varias fuerzas concurren a producir un determinado efecto, forman un sistema: estas fuerzas se llaman componentes o concurrentes, y si, como conviene en muchos casos, en lugar de varias fuerzas que forman un sistema, introducimos una única, que reemplace a las demás y produzca el mismo efecto que ellas, esta fuerza se llama resultante.

A. En ocasiones se hace necesario trasladar una fuerza de un punto a otro, pero esta posición no producirá el mismo efecto que la primera, sino cuando el nuevo punto de aplicación se encuentre invariablemente unido al primero, en línea recta. Sea (fig. 5) la fuerza A aplicada al punto b, decimos que esta fuerza podrá trasladarse al punto C que se encuentra unido al b en la misma prolongación: en efecto, supongamos actuando en C dos fuerzas iguales y contrarias E y D que sea cada una de ellas igual a la fuerza A; como estas dos nuevas fuerzas por ser iguales producen equilibrio, no alterarán en nada el efecto de la fuerza A, pero como A es igual y contraria a E, también producirán equilibrio y su resultante será igual a cero, de modo que si las hacemos desaparecer, solo quedará la fuerza D aplicada al punto C.

37. Modos de actuar las fuerzas. -Diferentes son los modos que tienen de actuar las fuerzas sobre un cuerpo, siendo por lo mismo distintos los sistemas que pueden ocurrir y diversas las resultantes. Los casos diferentes de sistemas de fuerzas pueden referirse

1.º Cuando obran aplicadas a un punto.

A. En la misma dirección

B. En dirección contraria.

C. Dos formando ángulo.

D. Tres o más concurrentes en uno o varios planos.

2.º Cuando están aplicadas a distintos puntos y son paralelas.

E. Dos en la misma dirección, iguales o desiguales.

F. En dirección opuesta, iguales o desiguales.

G. Varias en cualquiera dirección.

3.º Aplicadas a distintos puntos y no son paralelas.

H. En el mismo plano.

I. En distintos planos.

A. La resultante de varias fuerzas que obran en la misma dirección es otra fuerza igual a su suma, aplicada al mismo punto y en la misma dirección. Las mulas en reata que tiran de un carruaje, pueden reemplazarse por una sola, siempre que satisfaga las condiciones del enunciado.

B. La resultante de varias fuerzas que obran en dirección contraria, es igual a cero, si las fuerzas son iguales. -Dos hombres que tiran con igual fuerza de los extremos de una cuerda: y a la diferencia, si son desiguales: un hombre y un niño que tiran de los extremos de una cuerda, no producirán equilibrio, moviéndose la cuerda en la dirección del esfuerzo del hombre.

C. La resultante de dos fuerzas angulares es igual en dirección e intensidad a la diagonal del paralelogramo construido sobre las intensidades de dichas fuerzas. Sean las dos fuerzas angulares (fig. 6) A y B que actúan sobre el punto C, si las intensidades iguales de estas fuerzas las representamos por Cm y Cn, construyendo el paralelogramo Cm d n, la diagonal C d representará la dirección de la resultante. En efecto, de ser las fuerzas iguales, la resultante estará representada por la bisectriz del ángulo, que es precisamente la diagonal del paralelogramo, porque no hay razón para que se acerque más a una fuerza que a la obra. Si las fuerzas son desiguales, también la resultante está representada por la diagonal del paralelogramo. Supongamos (fig. 7) la fuerza A doble de B, aplicadas al punto C: la fuerza A se podrá descomponer en dos partes iguales, en cuyo caso las fuerzas B y Cm construido el paralelogramo B C m n, darán la resultante 8, desapareciendo, pues, las fuerzas B y Cm; esa resultante podemos suponerla aplicada, al punto n y descompuesta en las an nt; pero a su vez la fuerza a n puede suponérsela trasladada al punto m (36 A) y concurrendo con su igual m A nos dará la resultante m O, desapareciendo también las fuerzas a quienes sustituye; restan, pues, las fuerzas n t y m t aplicadas al punto t, cuya resultante necesariamente ha de pasar por el punto t, y como la del primer sistema, que ha quedado reducido a las fuerzas n t y m t resultantes respectivamente de las fuerzas suprimidas, debía pasar por el punto C, quedan los dos puntos C y t por donde ha de dirigirse la resultante final C R que es la diagonal del paralelogramo construido sobre las fuerzas B C y C A.

Demostrado que la dirección de la resultante de fuerzas angulares es la diagonal del paralelogramo construido sobre las intensidades de dichas fuerzas, veamos cómo también dicha diagonal o sea su longitud representa la intensidad. Supongamos tres fuerzas iguales A, B y C (fig. 8) que actúan sobre el punto O, construyendo el paralelogramo sobre las intensidades de A y B, su diagonal DO será la resultante (37 C); por la misma razón E será resultante de C y B; pero D O=E B por lados opuestos de paralelogramo EODB; y E B=C O por la misma razón, luego C O=OD: siendo pues, la fuerza C O igual y opuesta a la resultante de A y B, esta resultante será igual a la diagonal O D, es decir, a su magnitud.

En las cátedras de Física se demuestra experimentalmente la ley del paralelogramo de las fuerzas por medio de un aparato (fig. 9) que es una modificación del ideado para este mismo objeto por S'Gravessande. Consiste en una tabla de madera colocada verticalmente y en la cual está trazado un paralelogramo y una de sus diagonales: en la parte superior hay una especie de carrito de cuatro ruedas que corre sobre dos alambres colocados horizontalmente, un hilo fijo por un extremo y que en el otro lleva un peso P, pasa por una polea colocada en el mismo carro: si por medio de otro hilo fijo en el extremo del carro se tira de éste horizontalmente, el cuerpo tiende a moverse en el sentido de las dos fuerzas una vertical A C y obra horizontal A E, pero siendo angulares, el cuerpo P asciende siguiendo la dirección de la diagonal DD': otro tanto sucede cuando el cuerpo se deja descender.

D. Si en lugar de dos fuerzas son varias las concurrentes en un mismo plano, se determina la resultante construyendo el paralelogramo con dos de las fuerzas y trazando su diagonal, con esta resultante y otra fuerza se construye un nuevo paralelogramo y así sucesivamente de modo que la última resultante será la resultante final de todo el sistema. Si las fuerzas se hallasen en distintos planos, se construye un paralelepípedo sobre tres de ellas y su diagonal será la resultante.

Numerosos casos se conocen de efectos de fuerzas angulares. Las alas de las aves y las aletas de los peces en combinación con la cola permiten al animal moverse en la dirección de determinadas diagonales: los remos de un barco son fuerzas angulares que lo obligan a caminar en la dirección de la diagonal, pudiendo cambiar esa dirección o el rumbo en sentido de otras diagonales, por la acción de una tercera fuerza representada por el timón.

LECCIÓN 7.^a Fuerzas paralelas. En la misma dirección. -Momento de una fuerza. - Fuerzas paralelas. En dirección opuesta. Par de fuerzas.

38. Fuerzas paralelas E. En la misma dirección. -La resultante de dos o más fuerzas paralelas que actúan en la misma dirección, es otra fuerza paralela a ellas igual a su suma y aplicada en un punto de la recta que une los de aplicación, dividiéndola, en partes recíprocamente proporcionales a la intensidad de las fuerzas; o de otro modo, se halla aplicada de una manera inversamente proporcional hacia la fuerza mayor.

Sean las fuerzas A y B paralelas y desiguales (fig. 10) aplicadas a los puntos m y n, en cuyos puntos de aplicación se pueden introducir otras dos fuerzas r y s iguales y contrarias sin que el sistema se altere, puesto que sólo pueden dar origen al equilibrio; estas nuevas fuerzas serán respectivamente angulares con las A y B y darán las resultantes P de las r y A y Q de las s y B, las cuales suponiéndolas prolongadas se encontrarán en el punto o y construyendo sobre ellas en los puntos d y t' el paralelogramo o d c t', la diagonal o c será la resultante de las fuerzas P y Q y su prolongación lo será de las A y B, porque siendo o R resultante de P y Q y estas a su vez y, respectivamente de r y A y de s y B y destruyéndose r y s, la diagonal R será resultante de las A y B. Las resultantes P y Q que tienen su punto de aplicación en o, pueden descomponerse en otras fuerzas, sin que su valor se altere, siempre que sean iguales a las que originaron dichas resultantes; por lo mismo la P, se

descompondrá en e o y t o y la fuerza Q en e' o y d' o y como las fuerzas e y e' son iguales se destruyen y suponiendo que desaparezcan las resultantes P y Q puesto que se descompusieron quedan sólo las fuerzas t d y d' t' y como t o = A m y d' o = B n, será $R = A + B$ o sea la suma de los componentes; y por último como las t o y d' o son paralelas a A m y B n, la resultante R es también paralela a las componentes A y B . De los paralelogramos $o e t$ d y $o e' t' d'$ resultan los triángulos semejantes $m o c$ y $d o t$ y los $c o n$ y $d' o t'$ con los que se pueden formar las proporciones,

$$\begin{aligned} o t : o c :: d t : m c \\ o d' : o c :: d' t' : n c \end{aligned}$$

de donde

$$o t \times m c = o c \times d t \quad o d' \times n c = o c \times d' t'$$

pero $e o = e' o$ luego $d t = d' t'$ por lados de paralelogramos opuestos respectivamente a los iguales $e o = e' o$; luego los segundos miembros de estas dos ecuaciones que tienen el otro factor $o c$ común, son iguales dos darán

$$o t : o d' :: n c : m c$$

pero

$$o t = A \quad y \quad o d' = B,$$

luego

$$A \times m c = B \times n c \quad (a)$$

de donde

$$A : B :: n c : m c \quad (b)$$

que es lo que queríamos demostrar, es decir que el punto de aplicación c de la resultante R divide a la recta $m n$ en partes recíprocamente proporcionales a las intensidades de las fuerzas. Si las fuerzas paralelas A y B fuesen iguales, entonces $m c$ sería igual a $n c$ y por lo mismo el punto de aplicación de R estaría en la parte media de $m n$.

39. Momento de una fuerza. -Los productos $A \times m c = B \times n c$ se llaman momentos de las fuerzas A y B ; de manera que momento de una fuerza, es el producto que resulta de multiplicar el valor numérico de dicha fuerza por su distancia al punto de aplicación o de apoyo.

40. Fuerzas paralelas F. En dirección opuesta. -La resultante de dos fuerzas paralelas, en dirección opuesta, es otra fuerza paralela de ellas, que va en dirección de la mayor (si son desiguales) igual a su diferencia y aplicada a un punto de la recta que une los de aplicación, dividiéndola en partes inversamente proporcionales a las intensidades de las fuerzas. Si dos fuerzas paralelas e iguales A y B actúan en el mismo sentido (fig. 11) sobre los puntos m y n ya sabemos que tendrán una resultante R igual a la suma y paralela a ellas y aplicada al punto medio o (38). Para destruir el efecto de las dos fuerzas o el de su resultante, se podrá introducir otra fuerza igual y contraria a cada una de las del sistema o una sola opuesta e igual a la resultante: así con la fuerza R' se producirá el equilibrio; en este caso la fuerza A será igual y contraria a la resultante de B y R', porque esa resultante R' es igual a A+B y como B es igual contraria a la mitad de R', la otra mitad de esta fuerza, única que hace efecto, será igual a A: por la misma razón B es igual y contraria a la resultante de R' y A. Si ahora consideramos las dos fuerzas A y R' su resultante, según acabamos de ver, será igual y opuesta a B o sea la fuerza B'; y como $R=A+B$; $B'=R-A$, lo cual nos dice que su intensidad es igual a la diferencia de los componentes; es además paralela a ellas, pues que se halla en la misma dirección, aunque contraria de B y su punto de aplicación se deduce de los momentos de estas fuerzas

$$A \times m o = B \times n o$$

y por lo mismo

es decir, que, está en la recta m n a quien divide en partes inversamente, proporcionales a las intensidades de las fuerzas.

41. Par de fuerzas. -Acabamos de ver que si las fuerzas siendo paralelas y opuestas son desiguales, su resultante es igual a la diferencia, pero si son iguales esa diferencia y la intensidad de la resultante será cero y su punto de aplicación se hallará en el infinito, pues no podrán tener resultante; a estas dos fuerzas paralelas, iguales y contrarias se llama par de fuerzas y si bien no habrá movimiento de traslación para el cuerpo, lo tendrá de rotación.

Si en lugar de dos, fríesen varias, las fuerzas paralelas, se determinaría por un procedimiento análogo al explicado para hallar la resultante final de un sistema de fuerzas concurrentes en un punto (34 D).

LECCIÓN 8.^a -Centro de gravedad. -Su determinación experimental. -Equilibrio. -Diversos estados de equilibrio. -Condiciones de estabilidad de los cuerpos sólidos.

42. Centro de gravedad. -Dejamos dicho (22) que gravedad es la fuerza que obliga a los cuerpos a dirigirse al centro de la tierra, y peso la presión que los cuerpos ejercen sobre otros que les impiden caer. Esa fuerza de gravedad es para los cuerpos resultante de otras varias, pues la atracción terrestre obra sobre todas y cada una de las moléculas; pues bien, el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas o acciones de la gravedad que obran sobre un cuerpo se llama centro de gravedad. En efecto, un cuerpo cualquiera A (fig. 12) cuyas moléculas sean m, n, o, p, q, etc., tendrá cada una de ellas solicitadas por una acción o fuerza de gravedad, representada por las líneas m, n', o', p', q'; estas fuerzas, que son iguales y paralelas y van en una misma dirección, tendrán una resultante R (38) cuyo punto de aplicación C es el centro de gravedad del cuerpo.

El centro de gravedad es único por ser una sola la resultante y su punto de aplicación, se halla en el interior del cuerpo y es fijo e invariable con relación a su masa, cualquiera que sea la posición del cuerpo.

43. Determinación del centro de gravedad. -El conocimiento del centro de gravedad y su situación en los cuerpos, es de la mayor importancia cuando se trata de la estabilidad de los mismos; pues si hemos de evitar que caigan obedeciendo a la acción de la gravedad, hácese preciso introducir una fuerza que contrarreste la resultante de todas aquellas acciones, aplicándola en la misma dirección.

La determinación de ese centro corresponde a la Geometría, que nos dice cuál es la posición de ese punto cuando los cuerpos son homogéneos. Para esto las líneas y las superficies se les considera formadas por partículas materiales o pesadas, pues de otro modo, bien se comprende que no pueden tener centro de gravedad, ni las superficies, ni las líneas. En una línea recta el centro de gravedad está en la parte media: en un triángulo se halla sobre la recta trazada desde uno de los vértices a la parte media del lado opuesto, a un tercio de este o dos tercios del vértice. Sea en efecto, el triángulo A B C (fig. 13), tirando rectas paralelas a uno de los lados, por ejemplo al A C, el centro de gravedad de cada una de estas rectas estará en la parte media, cuyos puntos unidos entre sí nos darán la recta B O, sobre la cual se hallará el centro de gravedad; si se practica la misma operación con otro de los lados, el B C, y se trazan de la misma manera paralelas a este lado, también el centro de gravedad se hallará en la recta A O' y como ha de encontrarse en ambas líneas y el centro de gravedad no es más que uno, no teniendo aquellas más punto de contacto que el G, en él estará el centro de gravedad. En un paralelogramo se halla en la intersección de sus diagonales: en un polígono regular se halla en su centro de figura.

En los cuerpos regulares y homogéneos el centro de gravedad coincide en muchos con el de figura: así en una esfera, sea hueca o maciza, se halla en el centro geométrico; en un cilindro en la parte media del eje. En la pirámide regular y el cono a los $\frac{2}{3}$ de la línea que uno el vértice con el centro de gravedad de la base.

En los cuerpos irregulares el centro de gravedad se determina fácilmente por un método que está basado en el principio de que, el centro de gravedad en un cuerpo suspendido de un hilo, en estado de equilibrio, se halla en la prolongación del hilo, porque esta prolongación llevaría el cuerpo en línea recta al centro de la tierra (22). Si se suspende, pues, el cuerpo A (fig. 14) de un hilo y se señala con un lápiz o por otro medio, la prolongación del hilo b, en un punto de esta línea, se hallará el centro de gravedad; si después se le suspende por otro punto diferente también la prolongación del hilo C estará el centro de gravedad: este punto, pues, se hallará en las dos prolongaciones señaladas, pero como el centro de gravedad es único, necesariamente se encontrará en el punto de intersección O de las dos líneas trazadas.

44. Diferentes estados de equilibrio. -Para que un cuerpo esté en equilibrio es necesario que se halle solicitado cuando menos por dos fuerzas iguales y contrarias. En lo general esas dos fuerzas son la acción de la gravedad o su resultante que se designa por su punto de aplicación o centro de gravedad; y la otra, que destruye a ésta, la resistencia que opone el punto de apoyo o de suspensión del cuerpo. Si el cuerpo se apoya sobre un solo punto, el centro de gravedad debe hallarse en la vertical correspondiente a este punto; y si está suspendido se encuentra en la prolongación del hilo; pero si se apoya sobre varios puntos estará en equilibrio, siempre que la vertical caiga dentro de la base de sustentación.

Según la posición respectiva de esas dos fuerzas, se originan tres clases de equilibrio, estable, inestable e indiferente. Se llama equilibrio estable cuando el centro de gravedad se halla debajo del punto de apoyo o lo más próximo a él, y si el cuerpo está suspendido, entonces siempre el centro de gravedad se hallará debajo del punto de suspensión: tiene por carácter este equilibrio que si el cuerpo le pierde, le recobra por sí mismo; tal sucede en una balanza; en un cono que se apoya por la base, que si se le inclina algún tanto, recobra su posición, y en otros varios. Es equilibrio inestable cuando el centro de gravedad se halla encima del punto de apoyo y su carácter es, que si el cuerpo lo pierde no le recobra por sí mismo; tal sucedería con un cono apoyado por su vértice. Los cuerpos suspendidos jamás están en equilibrio inestable: y se entiende por equilibrio indiferente cuando el centro de gravedad y el punto de apoyo coinciden o guardan siempre la misma distancia, cualquiera que sea la posición que tenga el cuerpo: ejemplo del primer caso es una rueda o una polea y del segundo una esfera, o un cilindro que se apoye por su lado: en cualquiera posición indiferentemente que se coloque a estos cuerpos, en ella permanecen.

45. Condiciones de estabilidad en los cuerpos sólidos. -Para que un cuerpo goce de la mayor estabilidad posible es indispensable que la vertical bajada desde el centro de gravedad caiga en el centro de la base; pero aun permanecerá en equilibrio estable, aunque la vertical no caiga en el centro de la base, siempre que se encuentre dentro de la misma base. Así la columna A (figura 15) se hallará en el mayor equilibrio estable porque la vertical G cae exactamente en el centro de la base C; la columna B todavía se hallará en el

mismo equilibrio, aunque su estabilidad será menor, porque la vertical G' cae aún dentro de la base C' , pero la columna O no podrá permanecer en equilibrio porque la vertical cae fuera de la base.

Ejemplos de estabilidad del segundo caso, son las construcciones atrevidas, como alardes de ingenio de las famosas torres de Pisa y Bolonia, no menos que la llamada torre nueva de Zaragoza, que presentan una inclinación al horizonte, pero se mantiene en equilibrio estable porque la vertical cae dentro de la base. Puede el cuerpo hallarse en perfecto estado de equilibrio estable, aunque su base sea un solo punto, siempre que el centro de gravedad se halle mucho más bajo que ese punto: tal sucede en la balanza: pero como ejemplo sorprendente de estabilidad se conoce una figurita de marfil, llamado el equilibrista (fig. 16) que no es otra cosa que una figura que se apoya en la punta aguzada de un solo pie, pero cuyo centro de gravedad se halla en dos esferas del plomo, colocadas en los extremos de dos alambres que descienden mucho más abajo del punto de apoyo: aunque se incline y se la haga girar rápidamente sobre el pie, la figura se mantiene en equilibrio y no se cae.

En el hombre el centro de gravedad se halla en la pelvis y puesto de pie y en posición natural, la base de sustentación está representada por el espacio que abrazan sus pies; luego cuanto más los separe, mayor hará esa base y más fácilmente, en diversas posiciones del cuerpo, la vertical caerá dentro de la base y mejor conservará el equilibrio.

En el caso de ser los cuerpos heterogéneos el centro de gravedad ya no está en el punto que corresponde al cuerpo dada su forma, sino que se hallará en la masa más pesada; por eso un hombre que lleva un fardo de gran peso a la espalda, el centro de gravedad, ya no está en la pelvis, sino en el fardo o cerca de él y para mantenerse en equilibrio estable o que la vertical caiga dentro de la base es preciso que se encorbe inclinándose hacia adelante: otro tanto sucede si la carga la lleva en la parte anterior en cuyo caso tendrá que inclinarse hacia atrás.

La posición del centro de gravedad y las condiciones de equilibrio estable en los cuerpos, han permitido construir numerosos aparatos que son verdaderas paradojas dinámicas o juguetes de física recreativa en todos ellos el centro de gravedad, colocado más alto que el punto de apoyo tiende a descender para buscar el equilibrio estable, haciendo tomar al cuerpo o a las figuras diversos movimientos. Así un disco A (fig. 17) que tiene cerca del contorno O y embutida en él, una masa de plomo, colocado sobre un plano inclinado debería descender, si todo el disco fuera homogéneo, pero la masa de plomo representa el centro de gravedad, que tiende a descender pero que lo verifica hacia la parte superior hasta que se halle la vertical en el punto de apoyo.

Capítulo II.

LECCIÓN 9.^a -Máquinas. -Elementos de toda máquina. -¿Las máquinas dan fuerza? - División de las máquinas. -Palanca. -Géneros de palanca. -Ley de equilibrio de la palanca.

46. Máquinas.- Máquina es todo aparato capaz de producir el equilibrio o el movimiento de los cuerpos por medio de fuerzas. Maquinaria se ha llamado y aún se llama por algunos, la parte de la Mecánica que se ocupa de la teoría de las máquinas, cuando el motor o la fuerza que ha de producir el movimiento no es el agua, en cuyo caso se denomina más propiamente Hidráulica.

47. Elementos de toda máquina. -Las fuerzas que constituyen los elementos de toda máquina son tres y reciben nombres diferentes según el efecto que producen: 1^a la potencia, que es el motor o fuerza que se emplea para vencer o remover un obstáculo cualquiera; 2.^a la resistencia, la fuerza u obstáculo que se ha de remover o superar, y 3.^a el punto o puntos de apoyo sobre que descansa o gira la máquina. De esta última definición se deduce que el punto de apoyo ha de estar fuera de la máquina.

Las máquinas pueden considerarse de un modo estático o de un modo dinámico; en el primer caso se estudia el equilibrio que producen ciertas fuerzas cuyo valor numérico y dirección son conocidos, sobre otras fuerzas de diferente intensidad y dirección; en el segundo se estudia su movimiento.

48. ¿Las máquinas dan fuerza? -Generalmente se cree que las máquinas dan fuerza, porque se observa que por medio de una máquina, con una fuerza de 100 kilogramos, se puede hacer equilibrio a 4.000 kilogramos: el efecto es cierto, pero la causa del fenómeno no puede atribuirse a la máquina: Con 100 kilogramos sólo puede hacerse equilibrio a otros 100 y los 3.900 restantes, en nuestro ejemplo, cargan o gravitan sobre el punto de apoyo: es decir, que este punto ha de ofrecer una resistencia tal, que pasando por él la resultante de todas las fuerzas que obran en la máquina, quede esa resultante anulada o destruida. De aquí que el punto de apoyo ofrezca, una gran importancia, siendo como el elemento principal de toda, máquina, pues de nada serviría que dispusiésemos de grandes fuerzas, si careciéramos de puntos de apoyo bastante resistentes para que esas fuerzas produjeran su efecto; por eso decía Arquímedes, dadme una palanca y un punto de apoyo y yo moveré el mundo.

Las máquinas además si favorecen a la potencia es siempre a espensas del tiempo, de la velocidad o del espacio recorrido conio tendrenios ocacíoli de ver (32): aconteciendo con las máquinas lo que se observa comunmente que un hombre solo, puede hacer el trabajo de seis, pero empleando un tiempo seis veces mayor.

49. División de las máquinas.- Varias son las clasificaciones que se han hecho de las máquinas. La más sencilla es en simples y compuestas: simples son las que tienen un solo

punto de apoyo, como la palanca, el torno y algunos añaden la cuerda o máquina funicular, y compuestas todas las formadas por la combinación de aquellas y son numerosas. Pero la clasificación más generalizada, es la basada en la clase de punto de apoyo: máquinas cuyo punto de apoyo es un solo punto; las que se apoyan en una línea y las que descansan sobre un plano o superficie. Sea cual fuere, la clasificación que se adopte, puesto que mecánicamente unas máquinas pueden referirse a obras, las estudiaremos atendiendo a su denominación, palanca, polea, torno, plano inclinado, cuña y tornillo.

50. Palanca. -Es toda barra inflexible recta, curva o angular que puede girar alrededor de un punto llamado pulcro o punto de apoyo.

51. Géneros de palanca. -Según la posición respectiva de las tres elementos que entran en toda máquina, se conocen tres géneros de palanca. Palanca de primer género (fig. 18) aquella en que el punto de apoyo está entre la potencia, y la resistencia; palanca de segundo género (fig. 19) la que tiene la resistencia entre el punto de apoyo y la potencia, y de tercer género (fig. 20) cuando la potencia se halla entre el punto de apoyo y la resistencia. En toda palanca, se llama brazo de palanca y en general en toda máquina, brazo de potencia o de resistencia, la distancia que hay entre la potencia o la resistencia y el punto de apoyo: según esto en la palanca de primer género, como el punto de apoyo puede hallarse exactamente en el medio, la palanca es de brazos y si el punto de apoyo está más próximo a la potencia o a la resistencia entonces es de brazos desiguales. as de segundo o tercer género siempre son de brazos desiguales. Ejemplos de palanca de primer género de brazos iguales, son las balanzas, y de brazos desiguales la romana: las tijeras, las tenazas etc. son siempre de primer género, pero serán de brazos iguales o desiguales según el punto donde se sitúen la potencia y la resistencia; de segundo género son los remos y el partididor de nueces y de tercer género los brazos, las pinzas etc.

52. Ley de equilibrio de palanca. -Sea la palanca P R (fig. 21) en la cual P representa la potencia, R la resistencia y C el punto de apoyo: si la potencia actúa de modo que descienda al punto P', la resistencia se elevará al punto R' y ambas recorrerán arcos de circunferencia que tendrán entre sí la misma relación que los radios que los describen que son los brazos de la palanca, cuya relación indicada ya (38 a) será para el caso actual PXC $P=RXCR$; lo que nos dice que la potencia por el espacio o camino que anda es igual a la resistencia multiplicada por el espacio o camino correspondiente, lo cual se conoce con el nombre de principio de las velocidades virtuales y como estos productos son los momentos de las fuerzas respectivas, tendremos que no podrá darse jamás el equilibrio en la palanca, ni en ninguna máquina, sin que los momentos de sus fuerzas sean iguales. Si pues, en esta máquina, y en este ejemplo, se halla favorecida la potencia es a espensas de la velocidad,

pues mientras el brazo C R' o sea la resistencia recorre el arco R R', el brazo C P o potencia traza el arco P P' y como esto se verifica en el mismo tiempo, resulta que

la velocidad es mayor en la potencia que en la resistencia, por lo cual, lo que se gana en fuerza en la potencia, se pierde en velocidad en la resistencia, principio general de Mecánica que se cumple en todas las máquinas.

Pero la relación que guardan entre sí las fuerzas o sean la potencia y la resistencia y los brazos de la palanca, queda expresada (38 b) de modo que en este caso tendremos; P: R:: C R: C P, proporción que representa la ley de la palanca que dice que la potencia y la resistencia están en la razón inversa de los brazos de la palanca.

De esta ley se deduce que en la palanca de primer género de brazos iguales no se halla favorecida ni la potencia ni la resistencia; es decir que una resistencia de 10 kilogramos sólo puede equilibrarse con una potencia de otros 10 kilogramos; puesto que siendo uno de los factores igual en ambos productos (los brazos de la palanca) el otro factor o sea el valor numérico de la potencia y la resistencia, tiene que ser también igual. Por la misma razón en las palancas de segundo género siempre estará favorecida la potencia.; como lo está siempre la resistencia en las de tercer género. A veces se enlazan entre sí palancas de diversos géneros, que producen notables efectos, siendo su ley de equilibrio la general establecida, pues la potencia será a la resistencia, como el producto de los brazos de las resistencias es al producto de los brazos de las potencias.

LECCIÓN 10.^a Balanza. -Condiciones de una buena balanza. -Método de las dobles pesadas. -Balanza de suspensión. -Romana. -Báscula.

53. Balanza. -Todo aparato destinado a determinar el peso relativo de los cuerpos, se llama balanza. Consta este instrumento (fig. 22) de una palanca de primer género los brazos iguales llamada cruz, en cuyos extremos m y n penden por medio de cordones, cadenas o alambres dos platillos, destinados el uno a colocar el cuerpo cuyo peso se quiere averiguar, y en el otro las unidades de peso necesarias para establecer el equilibrio. Tal es en general la balanza ordinaria. Como ese equilibrio, o sea la igualdad entre la potencia y la resistencia, es decir, entre el cuerpo que se pesa y las unidades de peso, no tiene lugar mientras la balanza no esté perfectamente horizontal; se aprecia esa horizontalidad por medio de una aguja llamada fiel, colocada verticalmente en la parte media de la palanca, entre dos láminas que se denominan armas de la balanza, cuyo extremo del fiel ha de coincidir con el punto medio de las láminas o lámina, pues a veces es una sola, cuando la balanza esté horizontal. En las balanzas de precisión se suele colocar el fiel hacia la parte inferior y oscila en los movimientos de la cruz delante de un arco de círculo graduado.

Si el pie que sostiene la cruz es una barra dentada que se halla en el interior de una columna, a cuyos dientes están aplicados los de un cilindro o piñón (64) de modo que haciendo girar a este mecanismo, la barra asciende o desciende, y los platillos llevan en su

parte inferior unos pequeños ganchos; la balanza, por los usos a que entonces se destina, se llama hidrostática (128), cuya invención se debe a Galileo.

54. Condiciones de una balanza para ser buena. -Las condiciones de una buena balanza se refieren a su precisión y a su sensibilidad. Será de precisión cuando dé pesadas exactas; y sensible si oscila a la menor diferencia de peso. Las condiciones de precisión son:

1.^a Los brazos de la balanza han de ser exactamente iguales en longitud y peso: de no ser así, según la ley de la palanca, no podrá estar en equilibrio la balanza, sino colocando pesos distintos en ambos platillos, lo que no dará el peso exacto del cuerpo. Pero no basta que los brazos reúnan las condiciones dichas, es preciso además que conserven invariablemente esa longitud en todas sus posiciones y eso se logra suspendiendo los platillos de la arista viva de un pequeño prisma en la cual se halla el punto de suspensión. Y para que el rozamiento sea el menor posible y la balanza oscile bien, la cruz lleva en su parte media un prisma de acero de arista muy fina, que se llama cuchilla C, que se apoya en un cuerpo duro.

2.^a El centro de gravedad de la cruz, cuando ésta se halla horizontal, debe encontrarse, en la vertical que pasa por la arista de la cuchilla de suspensión o punto de apoyo. En efecto, un cuerpo apoyado en un punto no puede estar en equilibrio, sino cuando su centro de gravedad esté en la vertical de dicho punto (44).

3.^a -El centro de gravedad ha de hallarse debajo del punto de suspensión. Como la balanza ha de estar en equilibrio estable, para que al oscilar pueda fácilmente recobrarle si le pierde, sólo puede lograrse esta condición estando el centro de gravedad debajo del punto de apoyo; pues si estuviera encima el equilibrio sería inestable y la balanza se inclinaría sin oscilar a la más pequeña diferencia de peso; la balanza entonces se llama loca; y si el centro de gravedad coincidiera con el punto de apoyo, el equilibrio sería indiferente y en todas las posiciones permanecería la balanza sin oscilar. Pero aún cuando el centro de gravedad ha de estar debajo del punto de apoyo, no debe estarlo tanto que al inclinarse tienda ese centro a bajar con prontitud y la balanza no oscile bastante, llamándose entonces perezosa. Demuéstranse experimentalmente estas condiciones por medio de una cruz de balanza (fig. 23) cuya cuchilla o punto de apoyo C puede subir o bajar por medio de un tornillo A, de modo que se coloque sucesivamente más alto que el centro de gravedad, coincidiendo con él o más bajo.

Las condiciones de sensibilidad son:

1.^a Que los brazos de la palanca sean largos y así oscilará fácilmente a la menor diferencia de peso.

2.^a Los platillos deben cargarse poco, para que el rozamiento originado por la presión de la cuchilla sea el menor posible.

3.^a El rozamiento en el punto de apoyo de la cuchilla y en los puntos de suspensión de los platillos debe de ser el menor posible. Para satisfacer esta condición en las balanzas de precisión, la cuchilla descansa sobre ágata o acero bien templado.

Con estas condiciones se han construido balanzas de una gran precisión y de mucha importancia, principalmente en los análisis químicos.

55. Método de las dobles pesadas. -Aún cuando los brazos de la balanza no sean iguales en longitud y peso, puede sin embarco obtenerse la pesada con toda exactitud. El procedimiento ideado para este objeto es debido a Bordá y se llama método de las dobles pesadas o método de Bordá. Consiste en colocar el cuerpo en uno de los platillos poniendo en el otro arena o perdigón hasta que se equilibren; en seguida se quita el cuerpo y se ponen pesas hasta restablecer el equilibrio con el perdigón; esas pesas representan exactamente el peso del cuerpo, porque dos cosas (el cuerpo y las pesas) que equilibran respectivamente a una tercera, son iguales entre sí; o de otro modo, tanto el cuerpo como las pesas han actuado en el mismo brazo de palanca y una misma cosa no puede menos de ser exactamente igual a sí misma, luego el brazo de palanca tiene toda la igualdad que puede desearse.

56. Balanzas de sustentación. -En las balanzas ordinarias los platillos están suspendidos de los extremos de la palanca; pero se han construido modernamente balanzas cuyos platillos están sobre los extremos de la cruz y por lo mismo sostenidos por su parte inferior: estas balanzas se llaman de sustentación, o de Roberval. Esta disposición tiene la ventaja que, si bien no son muy exactas, en cambio no ocupan tanto espacio como las ordinarias de columna y cuyos cordones o cadenas estorban bastante cuando se pesan cuerpos de algún volumen. Cada uno de los extremos de la cruz lleva cuatro ramas de horquilla y sobre ellas se colocan directamente los platillos; dos varillas verticales que descienden de los extremos además de evitar los movimientos laterales, se articulan en la parte inferior con otra palanca horizontal, cuya disposición permite que los platillos se mantengan siempre horizontales.

57. Romana. -Cuando se trata de hallar el peso de grandes masas, cuya pesada no exige una extremada exactitud, se emplea con buen éxito la romana, que tiene la ventaja de no necesitar juego de pesas, pues lleva una sola para todas las pesadas. Consiste este aparato en una palanca de primer género de brazos desiguales; (fig. 21) en el brazo más corto, cuya longitud es invariable, se coloca el cuerpo R cuyo peso se va a hallar, y en el otro brazo, que se halla dividido en partes iguales, una masa llamada pilón P, cuyo peso es constante y puede ser una libra, una arroba o un kilogramo. Da aquí se deduce que para que los momentos sean iguales y por consecuencia haya equilibrio, es indispensable que puesto que

uno de los factores en el brazo de la resistencia es siempre el mismo (el brazo de palanca) y en el brazo de potencia otro factor es también constante (el pilón), los otros dos factores, el peso del cuerpo y la longitud del brazo donde se coloque el pilón, tendrán que ser iguales: para lograrlo se coloca el pilón en una posición tal, que la palanca tome la posición horizontal; se mira entonces la división en que se halla y el número indicará, según la unidad en que entre, el peso del cuerpo; de modo que en nuestra figura $P \times PC = R \times RC$.

58. Básculas. -Cuando los cuerpos son todavía masas más considerables, como las mercancías de los caminos de hierro y las grandes piezas de fundición de las fábricas y maestranzas, se hace uso de las básculas o puentes para pesar, inventados por Quintenz, que no son otra cosa que romanas cuyas palancas se hallan enlazadas a otras verticales en cuyos extremos inferiores se apoya un tablero, sobre el cual se colocan los cuerpos que se van a pasar: estas balanzas se hallan dispuestas de tal modo, que multiplicando la unidad de peso que establece el equilibrio, que en lo general es un pilón, por 10 o por 100, se tiene el peso del cuerpo.

LECCIÓN 11ª. Polea. Su división. -Ley de equilibrio en las poleas. -Polipastos. -Torno. Su ley de equilibrio. -Cabrestante. -Cábria y Grúa. -Ruedas dentadas. -Gato o cric. -Aplicaciones de estas máquinas.

59. Polea. Su división. -La polea, garrucha o roldana, es un cilindro de poca altura, sujeto a girar por su centro y que lleva en su contorno convexo una hendidura llamada carril, garganta o cajera por donde pasa una cuerda. La polea se apoya en unas láminas o chapas, semejantes a las armas de la balanza. La polea puede ser fija y móvil. Es fija (fig. 25) cuando no tiene más que un movimiento de rotación, dentro de las armas que están fijadas por la parte superior; y móvil (fig. 26) cuando tiene dos movimientos de rotación y de traslación hallándose las armas hacia la parte inferior y de ellas pende el cuerpo.

60. Ley de equilibrio de la polea. -En la polea fija la potencia se aplica a uno de los extremos de la cuerda (fig. 25) y la resistencia se halla en el otro extremo. En esta disposición y para el caso de equilibrio, demuéstrase en Mecánica racional, que la potencia y la resistencia no hacen su efecto en P y R, sino en P' y R, cuyos puntos enlazados con el de apoyo C, nos da una palanca de primer género de brazos iguales, por ser radios de circunferencia de la polea y por lo mismo $P=R$, no hallándose favorecida ni la potencia, ni la resistencia. En la polea móvil (fig. 26) la resistencia R carga directamente sobre la máquina, suspendida de las armas de la polea: el punto de apoyo C se halla en uno de los extremos de la cuerda (o de una polea fija) y la potencia P se aplica al otro extremo de la cuerda. Haciendo la misma consideración que anteriormente, diremos que la potencia, la

resistencia y el punto de apoyo, no producen su efecto directamente en P, R y C, sino en P', R' y C' y que unidos entre sí estos tres puntos, nos darán una palanca de segundo género en que la potencia es el diámetro y la resistencia el radio y por lo tanto la ley de equilibrio será la de la palanca:

P: R:: 1: 2

Lo cual quiere decir que en esta, polea y cuando los cordones son paralelos, con una potencia como 1 se puede hacer equilibrio a una resistencia como 2. En el caso de que los cordones no sean paralelos (fig. 27), la potencia ya no estará tan favorecida, pues uniendo entre sí los puntos P', C' y R', resultará una palanca angular de primer género en la que:

P: R::C'R': C'P'

Lo que dice que la potencia es a la resistencia como el radio de la polea es a la cuerda del arco que abraza el cordón. Como se ve, en este caso y en todos los de la polea móvil que tiene sus cordones angulares, la potencia es igual a la resistencia o es muy poco mayor, siendo el caso en que la potencia se halla más favorecida, aquel en que los cordones son paralelos, es decir, en que la potencia o sea la cuerda se convierte en diámetro, porque la resistencia siempre está representada por un radio.

En esta máquina también se favorece la potencia, pero bajo la influencia del punto de apoyo; pues dada la movilidad de esta polea, solo habrá equilibrio cuando los cordones tengan igual tensión, en cuyo caso la resistencia se reparte por igual entre los dos, sosteniendo el uno que representa la potencia la mitad, y el otro, o mejor, el punto de apoyo la otra mitad de la fuerza.

61. Polipastos. -Las poleas, lo mismo que se hace con las palancas, pueden enlazarse entre sí, fijas con móviles, favoreciendo de este modo la potencia y dando origen a sistemas de poleas. Sea una polea fija A (fig. 28) y tres móviles B, C y D; si suponemos que en la polea inferior D carga una resistencia como 40, la potencia por ser polea móvil de cordones paralelos, estará representada (60) por 20: esta fuerza es ahora resistencia de la polea siguiente C y la potencia de esta, por la misma razón que en el caso anterior, será igual a 10; por idéntico razonamiento estas 10 serán resistencia de la polea B, cuya potencia será la mitad o sean 5; esta fuerza o resistencia de 5 gravita sobre una polea fija A, luego su potencia será igual a la resistencia y valdrá también 5: de modo que la relación en este sistema entre la potencia y la resistencia es de 5 a 40 o con una fuerza como 5 podemos vencer una resistencia como 40; cuya relación para otro sistema del mismo número de poleas la resistencia fuese 8, la potencia sería igual a 1 siendo, pues, la relación entre una y otra fuerza, como 1 : 8. Luego en este mismo sistema de poleas y cuando los cordones son paralelos, la potencia es a la resistencia como la unidad es a la potencia de 2 indicada por el número de poleas móviles, o P: R: : 1 : 2 X 2 X 2.

Si la combinación de poleas fijas y móviles se dispone con poleas colocadas las fijas a la misma altura de modo que tengan un eje común, y las móviles dispuestas del mismo modo, (fig. 29) el sistema se llama trócula o polipasto (del griego poli muchos y pastos polea) y su ley de equilibrio se expresa diciendo que la potencia es a la resistencia como la unidad es al número de tirantes; de modo que si el número de tirantes es cinco, la potencia será la quinta parte de la resistencia y si son seis la sexta. Así en el polipasto (fig. 29) un peso o resistencia de 60 kilogramos se halla suspendido de las armas de las tres poleas móviles y según lo dicho anteriormente, (60) ese peso se repartirá por igual entre los 6 cordones, siendo por lo tanto equilibrado con una fuerza o potencia P de 10 kilogramos. Si el número de tirantes fuese par, como en nuestro ejemplo, también pudiera enunciarse la ley diciendo la potencia es a la resistencia como la unidad es a 2 multiplicada por el número de poleas móviles, o $P : R :: 1 : 2 \times 3$.

62. Torno. Su ley de equilibrio.- Es el torno un cilindro de madera o de metal colocado horizontalmente y unido a una cuerda cuyo centro se halla en el eje del cilindro al rededor del cual gira. Lleva además el cilindro una cuerda cuyo uno de sus extremos está fijo en su superficie y en la cual puede arrollarse o desarrollarse y del otro extremo pende la resistencia. Supongamos proyectado el torno sobre un plano perpendicular al eje: (fig. 30) la potencia se halla aplicada en P; y la resistencia R, aunque pende directamente de la cuerda, demuéstrase en Mecánica que hace su efecto en R'; pues si la cuerda tiene una fuerza igual a la del cilindro y este es hueco y la resistencia es considerable, antes que la cuerda se rompa, se hunde la superficie del cilindro en el punto en que le oprime aquella: uniendo, pues, los puntos donde actúan la potencia y la resistencia con el de apoyo C, tendremos una palanca de primer género de brazos desiguales, cuyo brazo mayor corresponde a la potencia: de consiguiente su ley de equilibrio estará representada por los momentos $P \times PC = R \times RC'$: pero PC es el radio de la rueda y R'C' el radio del cilindro; luego la potencia es a la resistencia como el radio del cilindro es al radio de la rueda.

De esta ley de equilibrio se deduce que se puede favorecer la potencia aumentando su brazo, o lo que es lo mismo, el radio de la rueda, o bien disminuyendo el del cilindro; pero uno y otro tienen sus límites: si se disminuye demasiado el radio del cilindro, pudiera éste no oponer la bastante resistencia; y para conciliar en lo posible ambos extremos, se construye de hierro el cilindro; en cuanto al aumento del radio de la rueda, tampoco puede ser excesivo, porque su masa consumiría parte de la fuerza empleada. Sin embargo, se logra mayor efecto, sustituyendo la rueda por palancas o por manubrios que tengan una longitud igual al radio de la rueda. El diámetro de la cuerda también ha de estar en relación con las condiciones y esfuerzos que ha de desarrollar el torno si es demasiado gruesa aumenta el diámetro del cilindro y disminuye la potencia, y si es excesivamente delgada, no ofrecerá resistencia. En todos estos casos, si la potencia se favorece, es a espensas del espacio recorrido, pues mientras la potencia en cada vuelta completa del cilindro ha de recorrer la circunferencia de la rueda, la resistencia o sea el peso, sólo se eleva el desarrollo en línea recta de la circunferencia del cilindro.

63. Cabrestante. -Si el cilindro del torno está dispuesto verticalmente, recibe el nombre de cabrestante: y si la cuerda del torno pasa por una o dos poleas fijas colocadas en la parte superior y elevada de un soporte y por otras poleas movibles de las cuales pende directamente la masa que se va elevar, entonces se llama cabria, y por último, si la cabria tiene un movimiento de rotación alrededor de un eje sobre que descansa todo el aparato, recibe el nombre de grúa (fig. 31). En este caso y en el anterior se sustituye la cuerda por una fuerte cadena de hierro y el movimiento de rotación del torno se verifica por dos manubrios que transmiten el movimiento por medio de ruedas dentadas.

64. Ruedas dentadas. -Como su nombre lo indica, las ruedas dentadas no son otra cosa que verdaderos tornos enlazados entre sí de modo que las ruedas llevan unos dientes que engranan en las hendiduras iguales, o dientes de otras ruedas o de los cilindros; como en este aparato los cilindros en general no llevan cuerda que se arrolle en él, no necesita la extensión que tiene en el torno, presentando por lo tanto el aspecto de una rueda. Si son varias las ruedas, forman un sistema que reciben el nombre de dentadas y los cilindros el de piñones. No siendo las ruedas dentadas más que tornos, su ley de equilibrio será la de este aparato; es decir, que la potencia es a la resistencia como el radio del piñón o del cilindro es al radio de la rueda; y en un sistema de estas ruedas, será, la potencia es a la resistencia como el producto de los radios de los piñones es al producto de los radios de las ruedas.

Las ruedas dentadas sirven a veces para transmitir el movimiento de rotación de un árbol a otro: llamándose árbol un cilindro que gira alrededor de su eje, pero que a su vez este es eje de una rueda dentada, de una polea o de otro aparato unido al cilindro. Así dos ruedas dentadas A y B (fig. 32) cuyos dientes engranados tengan una inclinación de 45 podrán poner en movimiento a dos árboles m y n que formen entre sí un ángulo recto, cambiando de este modo su movimiento, pues mientras en uno es horizontal, en el otro es vertical; también puede transmitirse el movimiento de un árbol o otro paralelo por medio de una cuerda o correa, sin fin (fig. 33) que pase, si es cuerda, por las gargantas de dos ruedas o poleas fijas una en cada árbol, y si es correa por los tambores dispuestos del mismo modo: si la cuerda sin fin se halla tangente exteriormente a los tambores o ruedas (fig. 33) ambas girarán en la misma dirección; pero si son tangentes interiormente (fig. 34) entonces los árboles giran en sentido contrario.

65. Gato o cric. -Consiste este aparato (fig. 35) en un piñón A que engrana en una barra dentada por uno de sus lados, que algunos llaman cremallera B que se halla colocada dentro de una caja y que puede ascender o descender según el movimiento del piñón que gire sobre la derecha o sobre la izquierda por medio de un manubrio a que se aplica la potencia. No siendo esta máquina más que un torno, su ley de equilibrio está representada, la potencia es a la resistencia como el radio del piñón es al radio de la circunferencia que

describe el manubrio. En ocasiones se unen dos tornos, es decir, que los dientes de la barra engranan en un piñón y los de la rueda de éste en otro piñón. Últimamente se ha introducido en el gato una importante modificación que consiste en poder dar a todo el aparato, con un mecanismo sencillo, un movimiento de rotación o de derecha a izquierda y viceversa, girando por lo tanto la barra y los pesos que soporte.

66. Aplicaciones. -Muchos son los usos que tienen estas máquinas en las artes; en la industria. Las poleas, ya simples y fijas, ya combinadas y movibles, tiene a numerosas aplicaciones, en los pozos para elevar el agua por medio de cubos unidos a uno o a los dos extremos de la cuerda, para que funcionen alternativamente: para elevar materiales en las construcciones etc. Los polipastos son de uso indispensable a bordo de los buques para las diferentes maniobras: los tornos permiten subir fácilmente y sin gran esfuerzo, grandes pesos, las cabrias, y sobre todo, las grúas, son muy usadas por lo fácil de su mecanismo y la gran fuerza que desarrollan, para el embarque o desembarque de grandes mercancías desde los muelles a los barcos atracados en sus inmediaciones; y en los grandes almacenes o depósitos de los ferro-carriles. Las ruedas dentadas, de interesantes aplicaciones en la maquinaria, como sucede en las máquinas de los relojes, con las que se consigue, dando determinadas relaciones a los radios del piñón y de la rueda, que las velocidades sean diferentes, en una cantidad siempre constante; así, por ejemplo, una de las ruedas deberá dar doce vueltas, correspondientes a las doce horas, y otra rueda con ella engranada, solo dará una; lo que se logra haciendo que la primera tenga un número de dientes doce veces mayor: y por último, el gato o cric, con el cual se elevan pesos considerables a cierta altura, como cuando una locomotora o un coche de un camino de hierro sale fuera de los railes, se coloca debajo el gato, se hace ascender la barra, y cuando ya se halla a cierta altura, se hace girar todo el aparato de modo que venga el carruaje a colocarse con sus ruedas verticalmente encima de las barras-carriles; entonces se le hace descender hasta que quede colocado sobre la vía.

LECCIÓN 12ª. Plano inclinado. Su ley de equilibrio. -Cuña. Ley de equilibrio. -Torno. Ley de equilibrio. -Tornillo sin fin. -Aplicaciones de estas máquinas.

67. Plano inclinado. Su ley de equilibrio. -Llámase plano inclinado todo el que forma con el horizonte un ángulo menor de 90 grados.

Si suponemos un plano inclinado A B C (fig. 36); AB será la base del plano, BC su altura y CA la longitud: si sobre este plano se coloca un cuerpo C, no por eso dejará de obrar sobre él la acción vertical de la gravedad C G; más como no puede obedecer a esta fuerza por impedírselo la resistencia del plano, se descompone en dos, una Ce que es perpendicular a la longitud del plano, y otra Cd, paralela al mismo plano: la primera no produce efecto por la resistencia del plano; no así la segunda, que pudiendo obrar libremente sobre el cuerpo, le hará descender a lo largo del plano. Aplicando a esta

máquina el principio general consignado (52) de que la potencia multiplicada por el espacio que anda es igual a la resistencia multiplicada por el espacio que recorre, fácil será determinar la ley de equilibrio de esta máquina o sea la relación entre la potencia y la resistencia, siendo aquí el camino que recorre la primera la longitud A C y el de la segunda B C o sea la altura, tendremos $P \times AC = R \times BC$

de donde

$$P: R :: BC: AC$$

lo que nos dice que la potencia es a la resistencia como la altura del plano es a su longitud. Ley que se deduce también del paralelogramo construido sobre las intensidades de las fuerzas C e y C d' o sea el Cd' Ge, pues siendo los triángulos c d' G y A B C semejantes por tener sus ángulos respectivamente iguales, tendremos

$$d G : C G :: B C: A C$$

o

$$P: R:: BC: AC$$

pero como en el triángulo rectángulo d'C G el lado o cateto d'C es siempre menor que C G, resultará que para elevar un cuerpo por un plano se necesitará un esfuerzo menor que para elevarle sin él.

Se comprende sin gran esfuerzo que puesto que la fuerza cd es la que obliga al cuerpo a descender, podemos hacer que el cuerpo permanezca en equilibrio sobre la superficie del plano introduciendo otra fuerza CF que sea igual y contraria a la que le obliga a descender; y si deseamos que el cuerpo ascienda a lo largo del plano, no habrá más que colocar una fuerza CH que sea mayor y opuesta a la Cd. Si la potencia fuese paralela a la base, la resistencia corresponderá también a la altura del plano y la potencia andará la base, de donde resultará

$$P \times AB = R \times BC$$

o

$$P: R:: BC: AB$$

es decir que la potencia es a la resistencia como la altura del plano es a la base.

68. Cuña. Su ley de equilibrio. -Si en lugar de moverse el cuerpo por el plano, es este el que resbala por el cuerpo, entonces recibe el nombre de cuña, que es una máquina formada por dos planos inclinados en ángulo diedro (fig. 37). La potencia P se aplica a la cabeza A

B y el esfuerzo se trasmite en las direcciones m y n. Por lo tanto, para determinar la ley de equilibrio en la cuña, no habrá más que considerar, que la potencia recorre el espacio PC y la resistencia separará y andará las partes P B y P A, puesto que el esfuerzo se trasmite y produce en las paredes laterales o sea en m y n, correspondientes a las longitudes de los pilanos que tienen el lado comun PC y por lo mismo: $P: R :: AB:2PC$

que traducido nos dice que la potencia es a la resistencia como la cabeza de la cuña es al duplo de su altura.

Esta ley no se cumple, sin embargo, rigurosamente en la práctica a causa de la pérdida de esfuerzo producida por el movimiento de trepidación del choque del martillo sobre la cabeza de la cuña y la naturaleza tan diferente de los cuerpos sobre los que ha de producir su acción.

69. Tornillo. Su ley de equilibrio. -Es el tornillo un verdadero plano inclinado arrollado en espiral. Para demostrarlo, se toma un triángulo rectángulo de papel o pergamino (fig. 38) que se fija por el cateto vertical a un cilindro si alrededor de éste se arrolla el triángulo, la hipotenusa AB irá describiendo una espiral; mientras que el cateto horizontal BC trazará la circunferencia de la base: esa espira, suponiéndola saliente o con resalto forma lo que se llama la hélice o filete de tornillo, y el espacio que media entre filete y filete se denomina paso de la hélice. Es pues, el tornillo un plano inclinado arrollado, por el cual puede ascender o descender el cuerpo: ese cuerpo que se mueve por la espira del tornillo, recibe el nombre de tuerca, que no es más que un cilindro horadado que lleva en su interior un filete igual al del tornillo, donde ha de acomodarse; siendo, pues, como un tornillo invertido cuyas partes salientes de este se acomodan en las entrantes de la tuerca y viceversa.

Aplicándose en esta máquina la potencia perpendicularmente al eje del cilindro, en cada vuelta del tornillo recorre una longitud igual a la circunferencia de la base del cilindro o sea $2r$, mientras que la resistencia camina el paso de la rosca, que podemos llamar p y por lo mismo

$$P: R :: p : 2 r$$

De la misma manera que el plano inclinado, puede disponerse fijo resbalando los cuerpos por su superficie; o los cuerpos fijos y el plano inclinado movible en su interior, como en la cuña: así también el tornillo puede ser fijo y la tuerca movible o el tornillo móvil y la tuerca fija.

70. Tornillo sin fin. -Si en el paso de rosca de un tornillo, en uno de cuyos extremos se aplica la potencia por medio de un manubrio, se engranan los dientes de una rueda dentada de un torno, se tiene un tornillo sin fin. (fig. 39) En esta disposición, el tornillo gira solo

alrededor de su eje, es decir, sobre sí mismo, pero sin avanzar en longitud, cogiendo y haciendo pasar sucesivamente los dientes de la rueda.

71. Aplicaciones. -No menos interesantes que las máquinas descritas en la lección anterior, son las que acabamos de estudiar aquí, por la aplicaciones que ofrecen. Los planos inclinados se emplea con excelentes resultados para elevar grandes pesos a poca altura; las cuñas son de un uso tan general, que todos los instrumentos cortantes o punzantes, como, los cuchillos, los clavos, etc., no son más que cunas que penetran en los cuerpos para separar sus moléculas; empléanse también para producir fuertes presiones en las prensas de imprimir y de extracción del aceite. El tornillo, máquina utilísima que se ha generalizado extraordinariamente, para ejercer grandes presiones; siendo además una de sus más importantes aplicaciones a los buques de vapor, llamados de hélice o tornillo como veremos.

Capítulo III Dinámica

LECCIÓN 13ª. Dinámica. -Las fuerzas produciendo movimiento. -Variedad de movimientos. -Cantidades que entran en todo movimiento. -Movimiento uniforme. Su ley y fórmula. -Movimiento uniformemente acelerado. Su ley y fórmulas.

72. Dinámica. -Dejemos dicho que la Dinámica es la parte de la Mecánica que se ocupa del movimiento de los cuerpos sólidos; y sabemos que por movimiento se entiende la traslación de un cuerpo de un lugar a otro en el espacio.

73. Las fuerzas produciendo movimiento. -Las fuerzas, cuando producen movimiento, pueden ser instantáneas o continuas; llámanse instantáneas las que obran en un solo momento indivisible o bajo un solo impulso; y fuerzas continuas las que están obrando constantemente mientras el cuerpo se mueve. Todo cuerpo impulsado por una fuerza única, en virtud de la inercia, seguirá la dirección de una recta y el movimiento se dice que es rectilíneo; pero cuando actúan sobre él dos fuerzas, si bien en algunos casos todavía se puede producir movimiento rectilíneo, en lo general hacen cambiar al cuerpo a cada instante de dirección y el movimiento es curvilíneo.

74. Variedad de movimientos. -Impulsado un cuerpo por una fuerza, instantánea, dada la inercia, como nada hay en él, que le pueda hacer caminar en cada unidad de tiempo con más velocidad ni con menos, recorrerá siempre en el mismo tiempo, igual espacio, movimiento que se conoce con el nombre de uniforme: pero si la fuerza es continua, es decir, si obra sobre el cuerpo durante todo el tiempo de su movimiento, hacer que el móvil camine cada vez más o cada vez menos y el movimiento será entonces variado; llamándose acelerado si el cuerpo adquiere en cada tiempo mayor velocidad y retardado si va siendo cada vez menor. Pero tanto en el uno como en el otro movimiento puede haber regularidad o uniformidad en el espacio que recorra el cuerpo, verificándolo en una cantidad constante, en su modo de obrar la fuerza aceleratriz o retardatriz y entonces estos movimientos se convierten en uniformemente acelerado y uniformemente retardado.

75. Cantidades que entran en todo movimiento. -Tres son las cantidades que entran en todo movimiento; tiempo, espacio y velocidad. Tiempo, es lo que tarda un cuerpo en recorrer un espacio: la unidad de medida para el tiempo que tarda un móvil en recorrer un espacio, es el segundo: espacio, lo que el móvil recorre durante un tiempo dado, y velocidad, el espacio recorrido en la unidad de tiempo. En los movimientos uniformemente acelerado y uniformemente retardado entra además como cantidad constante la fuerza aceleratriz o retardatriz.

76. Movimiento uniforme. Su ley y fórmula. -Puesto que en el movimiento uniforme, la velocidad es constante o en tiempos dos, tres o cuatro veces mayores, los espacios son también doble, triples, cuádruples, se deduce que la ley de este movimiento será, que los cuerpos con movimiento uniforme caminan en tiempos iguales espacios también iguales, o que los espacios crecen como los tiempos. De aquí que el espacio estará representado por la velocidad repetida tantas veces como unidades de tiempo, y por lo mismo

$$E=VT$$

de dónde

cuya fórmula nos dice que la velocidad está representada por la relación entre el espacio y el tiempo y que esa velocidad está en razón directa del espacio e inversa del tiempo: y si trasformamos la fórmula en

indica que el tiempo es igual al espacio dividido por la velocidad; o que se halla en razón directa del espacio e inversa de la velocidad.

77. Movimiento uniformemente acelerado. Sus leyes y fórmulas. -En este movimiento, si suponemos que la fuerza aceleratriz es g ; la velocidad en el primer segundo de tiempo estará representada por esa velocidad g ; en el segundo segundo de tiempo por $2g$, y en el tercer segundo por $3g$; en el cuarto por $4g$ y en t tiempos por tg , y por lo mismo la velocidad en este movimiento será:

$$V = gt \text{ (a)}$$

En el movimiento uniformemente acelerado se observan diferentes leyes que pueden enunciarse del modo siguiente:

1.ª ley; Las velocidades son proporcionales a los tiempos; ley que se deduce de la fórmula anterior $V=gt$.

2.ª ley; los espacios parciales recorridos por un cuerpo con movimiento uniformemente acelerado son como la serie de los números impares 1, 3, 5, 7 etc.

3.ª ley; Los espacios totales son como los cuadrados de los tiempos.

Estas leyes fueron demostradas por Galileo aplicándolas a la caída de los cuerpos que lo verifican con movimiento uniformemente acelerado. Valióse al efecto aquel ilustre matemático y físico de consideraciones geométricas hechas en un triángulo que aun hoy se conoce con el nombre de triángulo de Galileo. Supongamos (fig. 40) la línea AB , que representando el tiempo, estará dividida en partes iguales Ac , cd de y eB ; si en los puntos c , d y B se levantan perpendiculares que representen las velocidades iguales en cada tiempo; es decir, $cf=g$, $dh=2g$, $ei=3g$, y $BC=4g$ y unimos por medio de una recta los puntos A y C , tendremos un triángulo $\triangle ABC$ cuya área o espacio es el que va a recorrer el móvil; pero este espacio, que es el área del polígono triangular, es igual a la mitad del producto de la base por la altura, o

pero como hemos dicho que AB representa el tiempo y BC la velocidad, sustituyendo en la igualdad anterior nos dará;

y si introducimos en esta fórmula el valor, ya hallado (a) de la velocidad, tendremos

Ahora bien, si la línea CB que representa la velocidad, la dividimos en partes iguales m , n , r y por esos puntos trazamos paralelas a la base, tendremos, inspeccionando la figura, que al descender el cuerpo del punto C para recorrer el área, del triángulo; la velocidad en el primero de tiempo está representada por Cm y el tiempo por mi

en el segundo, la velocidad es $Cn=2 Cm$
y el tiempo..... $hn=2 mi$

en el tercero, la velocidad es $Cr=3\text{ Cm}$
y el tiempo..... $rf=3\text{ mi}$
y en el cuarto, la velocidad es $CB=4\text{ Cm}$
y el tiempo..... $AB=4\text{ mi}$

en dónde se ve que siendo los tiempos 1, 2, 3, 4, las velocidades siguen la misma relación o son proporcionales a los tiempos (1.^a ley.)

Que los espacios parciales son como los números impares, lo demuestra el que en el primer segundo de tiempo, el espacio que recorre el cuerpo es $C\text{ i m}$; en el segundo tiempo, es decir, mientras dura este segundo, no contando lo que anduvo en el primero, el espacio recorrido es el trapecio $m\text{ i h n}$, que dividido en triángulos iguales al primero, resultan 3; en el tercer tiempo, o sea durante solo él, recorre el cuerpo el espacio del trapecio $n\text{ h f r}$ o sea 5 veces el triángulo primero, y en el cuarto tiempo recorrerá el área $r\text{ f A B}$ o sean 7 espacios triangulares iguales al primero; luego siendo los tiempos 1, 2, 3, 4, los espacios parciales son 1, 3, 5, 7, (2.^a ley.)

En cuanto a los espacios totales al terminar cada segundo serán necesariamente la suma de los espacios recorridos en los segundos anteriores, más aquel en que termina el movimiento; así en el primer segundo el espacio es el triángulo $C\text{ i m}$ o sea, 1; al terminar el 2.^o segundo el espacio recorrido será $Ch\text{ n}$ o sea 4 veces el primero; al terminar el tercer segundo, habrá andado el espacio $C\text{ f r}$, o sea 9 veces el primero y en el 4.^o segundo, el espacio está representado por el área total $C\text{ A B}$, o sea 16 veces el primero; resultando que en efecto los espacios son como los cuadrados de los tiempos. (3.^a ley.)

Si la fuerza aceleratriz cesase de obrar en un momento cualquiera, el cuerpo, en virtud de la inercia, conservaría la velocidad adquirida y continuaría moviéndose, pero con movimiento uniforme, puesto que ya no actúa sobre él la fuerza aceleratriz, resultando que, al cesar la fuerza aceleratriz, el espacio que recorre un cuerpo con movimiento uniforme, en igual tiempo, es doble del espacio recorrido con movimiento uniformemente acelerado.

78. Movimiento uniformemente retardado. -Si el cuerpo en lugar de descender desde el punto C (fig. 40) empieza, su movimiento ascendente desde B con una velocidad igual a B C, al llegar a r habrá perdido, en virtud de la fuerza retardatriz que obra sobre él, una parte de la velocidad igual a B e, cuya velocidad entonces podría representarse por e i; al llegar a n, del mismo modo su velocidad será menor en lo que representa B d, y estará representada por d h; cuando llegue a m, será la velocidad igual a c f, hasta que llegue a C pierde toda su velocidad, porque estará representada por el límite de C A o igual a m e y no tendrá velocidad ninguna en C como no la tendría en A.

a. Masa en mecánica. -Sabemos que los Físicos entienden por masa (3) de un cuerpo, la cantidad de materia; pero los Mecánicos relacionando la masa con las fuerzas que en ella producen determinados efectos, la definen, la relación que existe entre una fuerza y la aceleración que produce: de modo que dos cuerpos, tendrán igual masa cuando, solicitados

por fuerzas iguales, adquieren en los mismos tiempos aceleraciones iguales en sus velocidades.

b. Fuerza viva. Trabajo mecánico. -Dase en Mecánica el nombre de fuerza viva de un cuerpo en movimiento, el producto de su masa por el cuadrado de su velocidad; es decir, $M V^2$ y se llama trabajo mecánico de fuerza en su tiempo dado, el producto de la intensidad de esta fuerza por el camino recorrido durante el mismo tiempo, en la dirección de la fuerza, por su punto de aplicación. Entre la fuerza viva que posee un cuerpo en movimiento y el trabajo mecánico que ha sido necesario para imprimirle la velocidad que le anima, existe una relación sencilla; que el trabajo es la mitad de la fuerza viva.

c. Cantidad de movimiento. -Para apreciar el valor de una fuerza es preciso tener en cuenta la masa a que se aplica y la velocidad que a esta imprime: de consiguiente la acción de la fuerza quedará representada por el producto de la masa por la velocidad, o sea llamando F a la fuerza, M a la masa y V a la velocidad

$$F = M V$$

y por lo tanto

$$F : F' :: M V : M' V'$$

que dice que las fuerzas son entre sí como el producto de las masas por las velocidades.

Dada la cantidad de movimiento, puede ser ésta muy grande con pequeña velocidad, si la masa es considerable, y por el contrario, la cantidad de movimiento puede también ser muy grande con una pequeña masa, si la velocidad de ésta es extraordinaria: así una locomotora caminando muy despacio, puede por su gran masa derribar a un hombre con sólo tocarle levemente y un perdigón puede penetrar en una piedra, si es lanzado con gran velocidad por un arma de fuego.

LECCIÓN 14.^a Leyes de la caída de los cuerpos. -Su demostración experimental. - Influencia del aire en la caída de los cuerpos. Máquina de Atwood.

79. Leyes de la caída de los cuerpos. -Puesto que la gravedad es una fuerza continua que está obrando siempre y constantemente sobre los cuerpos, necesariamente ha de dar origen a movimientos variados; y la experiencia demuestra que un cuerpo que desciende lo verifica con movimiento uniformemente acelerado, y si asciende, solicitado del mismo modo por la acción de la gravedad, camina con movimiento uniformemente retardado. De consiguiente las leyes de la caída, de los cuerpos o sea cuando descienden, serán las mismas que las del movimiento uniformemente acelerado. Estas leyes estudiadas y demostradas por Galileo se expresan del modo siguiente:

1.^a Todos los cuerpos en el vacío caen con igual velocidad.

2.^a Las velocidades son proporcionales a los tiempos.

3.^a Los espacios son como los cuadrados de los tiempos.

4.^a Si el movimiento acelerado, se causa en uniforme, los espacios recorridos con este movimiento, son dobles de los recorridos, en igual tiempo, con el movimiento acelerado.

80. Demostración experimental de las leyes de la caída de los cuerpos. -Además de las consideraciones geométricas que demuestran las leyes del movimiento uniformemente acelerado que son las mismas que las de la caída de los cuerpos (77) y se deducen del triángulo de Galileo, demuéstranse de un modo práctico y experimental por lo que toca a la caída de los cuerpos, valiéndose al efecto de aparatos, tales como el tubo de Newton, la máquina de Atwood y el cilindro giratorio de Morin. Nos ocuparemos sólo los dos primeros, por ser los que generalmente se emplean en las cátedras de Física elemental. El tubo de Newton, ideado para este objeto por este ilustre físico, se emplea para demostrar la 1.^a ley, es decir, que todos los cuerpos en el vacío caen con igual velocidad. Consiste en un tubo de vidrio de unos dos metros de largo, cerrado en sus extremos por dos guarniciones metálicas: una de ellas lleva una llave que establece la comunicación entre el interior del tubo y el aire exterior y termina en un corto tubo de rosca que permite atornillar en la máquina neumática: colocados de antemano en el interior del tubo cuerpos diferentes como plomo, corcho, madera, etc., se hace en él vacío, e invirtiéndole bruscamente se observa que todos caen a un tiempo, produciendo un solo ruido al chocar contra el fondo del tubo. Si luego abriendo la llave se deja entrar el aire y se repite la experiencia, colocando el tubo vertical, caerán los cuerpos, pero con velocidades diferentes, verificándolo primero el más pesado y sucesivamente los demás, según sus densidades.

Es preciso sin embargo tener presente que si bien la gravedad es igual para todos los cuerpos, debe entenderse en un mismo punto de la tierra, pues si varía, la latitud, varía, la intensidad de la gravedad; los cuerpos caerán con la misma velocidad en cualquier punto, pero esa velocidad será mayor o menor para sus diferentes latitudes, es decir, que un mismo cuerpo no es atraído con la misma fuerza y por lo tanto no cae con igual velocidad cerca del ecuador como en los polos; de aquí que la acción de la gravedad se halle modificada por diversas causas, siendo la más esencial la fuerza llamada centrífuga (90). Además la acción que los cuerpos ejerzan sobre los obstáculos que encuentren en su camino, será muy diferente según su masa: un perdigón y un quintal de plomo caerán en el vacío con la misma velocidad desde una altura dada, pero la presión o el choque que produzcan será proporcionada a la masa y los efectos causados por el quintal de plomo considerables y muy pequeños o insignificantes los del perdigón.

También conviene advertir que no hay contradicción entre esta ley producida por la gravedad y la primera de la atracción que dejamos apuntada (21) que dice que esta fuerza, obra en razón directa de las masas; pues si bien es verdad que sobre la masa de un cuerpo

doble de otro, actúa doble acción de la gravedad, también tiene que poner en movimiento una masa como dos, luego no podrá comunicarle más velocidad que si obrase una sola acción sobre una sola masa.

81. Influencia del aire en la caída de los cuerpos. -Al enunciar que la primera ley de la caída de los cuerpos se cumple solo en el vacío, es porque el aire ofrece resistencias diferentes según la masa y por consecuencia el peso de los cuerpos; por eso hemos visto en el párrafo anterior que cuando el tubo contiene aire, descienden los cuerpos con velocidades distintas a causa de que los de mayor peso pueden separar más fácilmente las moléculas del aire y descender con más rapidez, al paso que los de menor masa, no ejerciendo tanta presión sobre las moléculas de la atmósfera, encuentran mayor obstáculo en su caída y su velocidad se hace menor. Esta influencia es aún más manifiesta en los líquidos, que cuando caen en el vacío lo verifican formando una masa única, pero si descienden en el aire, se dividen en gotas, tanto más pequeñas, cuanto mayor es la masa de aire que tienen que atravesar. Esto se comprueba experimentalmente por medio del martillo de agua, aparato que consiste en un tubo de vidrio de unos 40 centímetros de largo que contiene agua hasta la mitad o los dos tercios y el resto está vacío: se consume esto último haciendo hervir el agua que expulsará el aire, y cerrando al mismo tiempo la extremidad abierta con la lámpara. Si se invierte bruscamente o se le da un movimiento de abajo arriba para que el agua caiga, lo verificará produciendo un ruido cual si fuese una masa metálica.

82. Máquina de Atwood. - Las demás leyes de la caída de los cuerpos se demuestran por medio de esta máquina, en la cual se hallan representadas las tres cantidades que entran en el movimiento uniformemente acelerado, tiempo, espacio y velocidad. En una columna de madera de dos metros y medio de altura (fig. 41) se halla un aparato de relojería cuyo péndulo P bate segundos, marcados por una aguja en la esfera del reloj representando así el tiempo; últimamente se ha modificado este aparato haciendo que la aguja, merced a un mecanismo movido por la electricidad, señale con tinta el momento en que el cuerpo empieza a caer y el en que termina el descenso. Una escala de madera colocada verticalmente y dividida en decímetros y centímetros, cuyo cero se halla en la parte superior, representa el espacio que el móvil va a recorrer; y una masa m suspendida en el extremo de un hilo fino de seda, equilibrada en parte por otra masa m' pendiente en el otro extremo y cuyo hilo pasa el carril de una polea fija colocada en la parte más alta de la columna, representa la velocidad o sea el espacio que esa masa va a recorrer en la unidad de tiempo. Un tope lleno y otro anular, cuyo objeto indicaremos, completan el aparato. Sin embargo, hay en esta máquina algunas otras piezas accesorias, pero que contribuyen a la mayor exactitud en los experimentos; tales son cuatro ruedas movibles colocadas a los lados de la polea, de modo que el eje de ésta descansa sobre ellas, a fin de disminuir en lo posible el rozamiento; y una palanca de escape movida por el mismo mecanismo de relojería, sobre la cual descansa el cuerpo hasta el momento que va a descender.

Veamos cómo se dispone la máquina para la demostración de estas leyes. Hemos dicho que el cordón o hilo que pasa por la polea lleva en sus extremos dos masas m y m' que siendo iguales, en cualquiera posición permanecerán en equilibrio, por ser polea fija; de modo que si la masa m ha de descender por cerca de la escala, será preciso colocarlo un peso adicional con lo cual descenderá aunque con una velocidad menor que si cayese libremente, porque ese peso adicional no mueve solamente a la masa m , haciéndola descender, sino que una parte de su fuerza se emplea en mover a la masa m' que asciende. Este peso adicional puede calcularse a tanteo de modo que descienda con una velocidad dada, ni muy lenta, ni muy rápida. De la misma manera el tope lleno t que tiene por objeto recibir al cuerpo en su caída, se calcula también su posición en la escala de la barra a tanteo, de manera que el cuerpo al caer en el primer segundo de tiempo recorra cierto número de divisiones de la escala, por ejemplo 10 centímetros o 1 decímetro. Hecho esto y colocado el tope en el primer decímetro y la masa que va a descender con su peso adicional en el cero, sostenida por la palanca que se halla unida al movimiento de relojería, se va a demostrar la ley de los espacios que son como los cuadrados de los tiempos. Descendiendo la masa se observará que durante el primer segundo de tiempo recorre el espacio de un decímetro, es decir, que mientras el sonido del péndulo y la aguja de la esfera señalan un segundo, en ese tiempo la masa que cae toca en el tope: para demostrar la ley respecto al 2.º segundo, o sean dos segundos de tiempo, se baja el tope colocándole en el 4.º decímetro y haciendo que la masa descienda, al terminar el golpe seco del péndulo que marca el 2.º segundo, en el mismo instante la masa llega al tope: para el tercer segundo se colocará el tope en el 9 decímetro, cuyo espacio recorrerá la masa en tres segundos y en 4 segundos andará 16 decímetros y así sucesivamente, con lo cual queda demostrada la ley; comprobándose a la vez, por este mismo experimento, que los espacios parciales son como los números impares, pues si en el primer segundo anduvo la masa 1 decímetro y al terminar el 2.º recorrió 4, es evidente que mientras duró este 2.º segundo solo anduvo 3; si al terminar el tercer segundo recorrió 9 decímetros, como 4 los había recorrido en los dos segundos anteriores, durante el 3.º solo caminó 5 y así de los demás; resumiendo, pues, tendremos

Tiempos	1"	2"	3"	4"	5"	6"
Espacios parciales	1	3	5	7	9	11
Espacios totales	1	4	9	16	25	36

Para demostrar la 4.ª ley se sustituye el tope macizo por uno anular, el cual tiene un diámetro que permite pasar fácilmente a la masa m , más no al peso adicional, que ahora se reemplaza por otro que lleva dos apéndices o alas más largas que el diámetro del anillo, de modo que al llegar a él, queda detenido encima, pero la masa atraviesa el anillo y continúa moviéndose, pero ya sin fuerza aceleratriz, pues las dos pesas ya son iguales y por lo tanto caminará ahora por la inercia, con la velocidad adquirida, con un movimiento uniforme, recorriendo espacios dobles, en el mismo tiempo de los que anteriormente había recorrido, con movimiento uniformemente acelerado. Colocando, pues, el anillo anular en los mismos lugares en que antes se puso el tope lleno, es decir, en las divisiones 1 -4 -9 -16... dejará la masa al caer, en los diversos experimentos, el peso adicional de alas sobre el anillo, observándose que entonces recorre en el mismo tiempo, un espacio doble o sea 2 -8 -18 -32...

luego el tope lleno para recibir al cuerpo, se colocará debajo del anular a distancias, en cada segundo, que sean la suma de las que recorre primero con movimiento uniformemente acelerado y después con uniforme o sea 3 -12 -27 -48...; y hechas las experiencias, se verá que se realiza lo dicho, con lo que queda demostrada la ley.

Si los números 2 -8 -18 -32... se dividen por el tiempo empleado en cada caso o sea en 1" -2" -3" -4"... nos darán los números 2 -4 -6 -8... que representan las velocidades y que son como los números 1 -2 -3 -4... que representan los tiempos; es decir, que las velocidades son como los tiempos, con lo cual se confirma la 2.^a ley.

Si el cuerpo en lugar de descender, es lanzado hacia el espacio verticalmente, obrando entonces la acción de la gravedad como fuerza retardatriz, hará que el cuerpo camino cada vez menos o sea con movimiento uniformemente retardado, hasta que llegue un momento en que aniquilada por completo la velocidad, el cuerpo queda en reposo durante un tiempo inapreciable, pues la acción de la gravedad no deja de obrar y por ella el cuerpo desciende por la misma vertical por dónde se elevó, con movimiento uniformemente acelerado, ganando, pues, las mismas velocidades que había perdido en su ascenso; de manera que al llegar al término de su camino, se hallará con una velocidad, que no puede perder, por la inercia, que está representada por el espacio recorrido en su descenso, luego con ella podrá elevarse de nuevo hasta el mismo punto donde empezó el descenso, lo cual se expresa diciendo que todo cuerpo que, cae de una altura dada, al llegar al término de su descenso, se halla animado de una velocidad capaz de elevarle, en el mismo tiempo, a la altura de donde procede. El movimiento uniformemente retardado se estudia también experimentalmente con la máquina de Atwood, haciendo que la masa m ascienda, para lo cual, el peso adicional se colocará ahora en la masa m' .

83. Fórmulas de la caída de los cuerpos. -Las fórmulas (77) (a) y (b) del movimiento uniformemente acelerado, corresponden a la caída de los cuerpos en el vacío. Pues bien, si en ellas

hacemos en la (2) $t=1$, tendremos

lo cual nos dice que la velocidad adquirida en la unidad, de tiempo, es doble del espacio recorrido.

De las fórmulas (1) y (2) se puede obtener la velocidad de un cuerpo al terminar un espacio cualquiera, pues $V=gt$ nos da

que reemplazándola en la fórmula

resulta

o bien

$$V^2 = 2 g e$$

y extrayendo la raíz cuadrada

esto es lo que se llama velocidad debida a la altura.

LECCIÓN 15^a. Movimiento curvilíneo. -Movimiento parabólico. Movimiento circular. - Fuerzas centrales. -Fuerza centrífuga y centrípeta. -Leyes de la fuerza centrífuga. -Figura de la tierra. -Influencia de la fuerza centrífuga en la intensidad de la gravedad. -Casos de fuerza centrífuga.

84. Movimiento curvilíneo. -Si en lugar de actuar sobre un cuerpo una sola fuerza que produce siempre movimiento rectilíneo, obran dos, de los cuales, una que generalmente es continua, solicita el cuerpo hacia un punto fijo y la otra tiende a alejarle de él, entonces se origina el movimiento curvilíneo. Si la curva es una parábola o rama de parábola, el movimiento se llama parabólico, y si es un círculo o sección de círculo, se llama circular.

85. Movimiento curvilíneo.- Si suponemos un cuerpo A (fig. 42) impulsado por una fuerza instantánea que le obligue a seguir la dirección horizontal, su movimiento, si sólo obrase esta fuerza, sería necesariamente uniforme, caminando en la dirección AB, en tiempos iguales, espacios también iguales, 1, 2, 3, 4; pero actuando sobre él la acción de la gravedad, tiende a hacerle caminar verticalmente, con movimiento uniformemente acelerado, recorriendo en tiempos iguales, espacios 1, 4, 9, 16, como los cuadrados de los tiempos. En efecto, solicitado el cuerpo por las dos fuerzas en cada periodo de tiempo, se ve obligado a caminar por las diagonales, que siendo infinitamente pequeñas, porque las fuerzas no dejan de obrar ni un solo momento, en lugar de originar un polígono o sección de polígono, se convierten en una curva, que goza de las propiedades de la parábola: tal es la que describen los proyectiles, impulsados por la fuerza instantánea de la pólvora y atraídos por la continua de la gravedad.

Demuéstrase experimentalmente este movimiento por medio de un aparato (fig. 43) formado por una habla vertical en la cual, se halla trazada una rama de parábola: una pequeña esfera de marfil va a descender desde A y sujeta por una palanca, cae tan pronto como ésta se levanta y aunque al llegar, al punto e, debiera seguir la dirección horizontal, la

acción de la gravedad, combinada con la fuerza de impulsión le obliga a seguir el camino de la rama parabólica c. b.

86. Movimiento circular. -Un cuerpo A (figura 44) que recibe un impulso en la dirección A B y al mismo tiempo se halla solicitado por la fuerza C, seguirá necesariamente la dirección de la diagonal A d del paralelogramo construido sobre las intensidades A m y A n; si al llegar al punto d, cesase de obrar la fuerza C, el cuerpo continuaría caminando en la dirección d e, pero como aquella fuerza no deja de obrar, combinada entonces con la d e, obligan al móvil a caminar por la diagonal d' d' y si al llegar a este punto no hubiese más fuerza que d' d' continuaría en esa dirección; pero repitiéndose en todos los momentos la acción de la fuerza C, el cuerpo seguirá por las diagonales d' d'', d'' d''' y así sucesivamente, trazando el cuerpo una línea poligonal; pero como la acción de las fuerzas combinadas es constante, las diagonales que forman el contorno del polígono son tan infinitamente pequeñas, que se convierten en una curva, en la que si sus puntos equidistan del centro constituyen un círculo o parte de círculo.

87. Fuerzas centrales. Fuerza centrífuga y centrípeta.- Originado, pues, el movimiento curvilíneo por dos fuerzas, estas han recibido el nombre de centrales; distinguiéndose con el de centrífuga o tangencial la que obliga al móvil a alejarse o huir del centro; tal es en el caso anterior la fuerza A B, de, d' e', d'', e'', d'' e'' y llamándose centrípeta la que dirige al cuerpo hacia un centro o punto fijo, como la AC, d c, d'c, d'' c, d'''c.

88. Leyes de la fuerza centrífuga. -La fuerza centrífuga en el movimiento circular da origen a diversos fenómenos, algunos de grandísima importancia, hallándose dicha fuerza, en todos los casos, sujeta a diferentes leyes.

1.^a La intensidad de la fuerza centrífuga es proporcional al cuadrado de la velocidad.

2.^a Dicha intensidad es proporcional a las masas de los cuerpos puestos en movimiento.

3.^a La fuerza centrífuga en un cuerpo cuya velocidad de rotación es constante, está en razón inversa del radio de la circunferencia que describe el cuerpo.

Para la demostración de estas leyes existen aparatos de formas muy diferentes y a los cuales se imprime un movimiento por diversos mecanismos; el más sencillo para este objeto y que permite operar más fácilmente, es un juego de ruedas dentadas colocado en una fuerte mesa, tal como representa la fig. 45 y con el cual se puede imprimir un

movimiento de rotación a los aparatos que se sujetan en su parte superior por medio de dos tornillos. Si en ella se pone una barra de metal A B que lleva una varilla en la cual se halla atravesada una esfera de marfil m que se coloca exactamente en el centro, por rápido que sea el movimiento de rotación que se comunique al aparato, la esfera permanece en reposo, porque hallándose en el centro del círculo que describen, como radios, las dos ramas de la varilla, obedece por completo a la fuerza centrípeta, y allí es nula la centrífuga: pero si se separa un poco de ese centro, en cuanto empieza el movimiento, es lanzada con una velocidad proporcional a la rapidez del movimiento (1.^a ley) hacia el extremo más cercano de la varilla. Si se atraviesan dos esferas de distinta masa m y m' unidas por un pequeño cordón (fig. 46) y se colocan de modo que equidisten del centro, la mayor, al girar el aparato, arrastra a la menor hacia el límite de la varilla. (2.^a ley.) Para demostrar estas leyes en los líquidos se emplea el aparato (fig. 47). formado por dos tubos de vidrio inclinados que tienen mercurio y agua o agua y corcho, es decir, sustancias de distintas masas o densidad: haciéndolas tomar el movimiento de rotación, se desarrolla la fuerza centrífuga que al obrar con más energía sobre los cuerpos de mayor densidad, eleva el mercurio quedando el agua en la parte inferior; otro tanto sucede entre el agua y el corcho.

89. Figura de la tierra. -El desarrollo de la fuerza centrífuga en el movimiento de rotación de la tierra, ha sido causa de la figura que hoy tiene el planeta que habitamos. Admítase que hubo un tiempo en que la tierra, al formarse, se halló toda ella en un estado tal de reblandecimiento a causa del gran calor que entonces poseía que al girar rápidamente, la fuerza centrífuga hizo que se separasen las partes allí donde la velocidad era mayor, como sucede en el ecuador, y se acercasen las correspondientes a los polos, donde la fuerza centrífuga es nula; pues en los puntos geométricos de estos polos no hay movimiento de rotación. La tierra, pues, ensanchándose en aquel círculo máximo y acercándose en los polos, adquirió la forma que hoy tiene de un esferoide. Compruébase este fenómeno por medio del aparato (fig. 48) compuesto de dos láminas de acero templado y flexible A y B, formando dos círculos cruzados entre sí y atravesados en un eje en el cual se hallan fijadas por su parte inferior; haciendo girar a éste, colocándole en la mesa de que hablamos anteriormente, o por otro medio, se observa que se aplanan por la parte superior tomando la forma A' B', tanto más cuanto mayor es la velocidad. Igual, aplanamiento se ha producido en los demás planetas.

90. Influencia de la fuerza centrífuga en la intensidad de la gravedad. -La acción de la gravedad se halla modificada por varias causas siendo la más esencial la fuerza centrífuga: esas causas son 1.^o la latitud; 2.^o la altura; 3.^o la fuerza centrífuga.

La latitud de los diferentes lugares hace variar la intensidad de la gravedad como consecuencia de la forma que la fuerza centrífuga hizo tomar a la tierra: así en los polos los cuerpos son atraídos con más fuerza que en el ecuador, por hallarse más cercanos al centro de la tierra. Por la misma causa, como fuerza de la gravedad disminuye en razón del

cuadrado de la distancia, es menor a medida que crece la altura, por que la distancia al centro de la tierra aumenta: sin embargo, ese efecto sólo se hace sensible para grandes alturas. La influencia de la fuerza centrífuga es más notable. Siendo esta fuerza proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación, es evidente que en el ecuador donde esa velocidad es mayor, tendrá allí la fuerza centrífuga su máximo de acción e irá disminuyendo su energía a medida que los lugares de la tierra se aproximan a los polos. Esta fuerza en el ecuador es directamente opuesta a la gravedad o fuerza centrípeta o igual a $1/289$ de la atracción terrestre: de modo que si por un momento la rotación de la tierra se hiciera 17 veces mayor, la intensidad de la fuerza centrífuga se haría 289 más grande que lo es hoy, por ser este número el cuadrado de 17, y por lo mismo sería exactamente igual a la gravedad: equilibradas esas dos fuerzas, los cuerpos entonces, no serían atraídos ni tendrían peso: y si la velocidad aumentase 18 veces más la fuerza centrífuga, sería igual a 324, es decir, 35 veces mayor que la fuerza centrípeta o de gravedad, y los cuerpos, no solo dejarían de ser atraídos por la tierra, sino que serían lanzados en el espacio. La acción de la gravedad, pues, no es más que el efecto de una fuerza centrípeta.

91. Casos de fuerza centrífuga. -Numerosos son los casos en que se desarrolla la fuerza centrífuga, produciendo notables efectos; la piedra lanzada por el movimiento circular de la honda, el doble péndulo de Watt, regulador de las máquinas de vapor (286); el vaso lleno de agua que suspendido de unas cuerdas, a trianera, de incensario, se le hace tomar, como a la honda, un movimiento circular rapidísimo, sin que se derrame una sola gota; la imposibilidad de colocar encima de un trompo en movimiento o sobre otro cuerpo que gira un grano de arena u otro cuerpo cualquiera, son todos efectos de la fuerza centrífuga.

LECCIÓN 16.^a -Péndulo. -Su división. -Causa del movimiento del péndulo. -Leyes del péndulo. -Longitud del péndulo compuesto. -Fórmula para medir la intensidad de la gravedad por medio del péndulo.

92. Péndulo. Su división. -Hasta ahora hemos considerado a los cuerpos moviéndose libremente en el espacio en dirección rectilínea o curvilínea; pero también pueden moverse cuando se hallan suspendidos de un punto fijo con relación al cual giran trazando siempre la misma curva. Tal es el movimiento que se origina en el péndulo llamado movimiento oscilatorio o de vaivén. Es, pues, un péndulo, todo cuerpo suspendido de un hilo o una varilla que gira siempre en el mismo plano describiendo arcos de círculo iguales. El péndulo se ha considerado de dos maneras, simple y compuesto: el péndulo simple llamado también matemático, no existe en la naturaleza y se supone formado por un punto material suspendido de un hilo inextensible y sin peso y que se mueve en el vacío: este péndulo es puramente ideal y con él se determinan, por el cálculo, las leyes del movimiento oscilatorio; y péndulo compuesto el que se usa en la práctica, y en lo general está formado por una masa, de metal de figura de lenteja para que pueda cortar fácilmente el aire, suspendida de

una varilla, que a su vez se apoya por el extremo superior en un eje o cuchilla semejante al de la balanza.

93. Causa del movimiento del péndulo. -El péndulo se mueve por la acción de la gravedad; es, pues, un cuerpo que desciende. Sea con efecto, el péndulo AB (fig. 49) que en la posición vertical se halla en equilibrio, siendo entonces una verdadera plomada: si se le saca de esa posición elevándole hacia m y se le abandona, descenderá hacia el punto B describiendo el arco de círculo m B: porque la acción de la gravedad no pudiendo obrar en la dirección m T por impedirlo la resistencia del hilo, se descompone en dos fuerzas, una en la prolongación del hilo m r que queda anulada por la tensión del mismo y otra perpendicular a esta m s que es la que obra o impulsa el péndulo a descender; pero al llegar al punto B, puesto que descendió con movimiento acelerado, se encontrará con una velocidad capaz de elevarle a la altura de donde procede, (82) pero en sentido inverso, y por lo mismo continuará moviéndose hasta el punto n o sea con movimiento retardado, ya en n se halla en el mismo caso que cuando estaba en m y por lo tanto desciende hacia B para elevarse nuevamente hasta m y así se repite el movimiento de un modo continuo y constante, porque constante y continua es la causa que lo determina o sea la gravedad. El paso del péndulo desde m a n se llama oscilación, la mitad de ese espacio semi-oscilación, el arco m n amplitud y el tiempo empleado en recorrer el arco m n duración de la oscilación Este movimiento oscilatorio constante o que no termina nunca, sólo se cumple en el péndulo simple o ideal, pues en la práctica o sea en el péndulo compuesto las oscilaciones van siendo cada vez menores o perdiendo de su amplitud a causa de la resistencia del aire y del rozamiento en el punto de suspensión: por eso las leyes del péndulo solo son exactamente ciertas, como las de la caída de los cuerpos, en el vacío, pero se aplican al péndulo compuesto.

94. Leyes del péndulo. -1.^a ley. En un mismo péndulo todas las oscilaciones son iguales o duran el mismo tiempo. Esta ley se refiere a las oscilaciones que no pasan de cinco o seis grados; y para arcos aún menores de 2 ó 3 grados, lo mismo es exacta en el aire que en el vacío. Las oscilaciones que duran el mismo tiempo se llaman isócronas (del griego isos igual y cronos tiempo) y el fenómeno isocronismo. Esta ley fue descubierta y demostrada por Galileo, de quien se cuenta que la halló observando, en cierta ocasión, atentamente el movimiento oscilatorio de una lámpara pendiente de una bóveda de la catedral de Pisa.

Demuéstrase experimentalmente esta ley, haciendo oscilar un péndulo cuya longitud sea invariable y contando el tiempo que emplea en dar cierto número de oscilaciones cuando la amplitud es de 5 grados; después se observa el número de oscilaciones que produce sucesivamente cuando los arcos son de 2 y 1 grado y se verá que en todos estos casos el número de oscilaciones se han verificado en tiempos iguales, luego cada una ha durado el mismo tiempo.

2ª ley. En péndulos de igual longitud y que recorren el mismo arco, la duración de las oscilaciones es la misma, cualquiera que sea la naturaleza de los cuerpos que forman los péndulos.

En efecto, puesto que el péndulo se mueve por la acción de la gravedad y esta fuerza es igual para todos los cuerpos, todos los péndulos caerán con la misma velocidad y por lo tanto la duración de las oscilaciones se verificará en el mismo tiempo. Compruébase esta ley haciendo oscilar varios péndulos de igual longitud y cuyos pesos sean de marfil, plomo, madera, etc.; dejándolos descender desde la misma altura, producirán en igual tiempo el mismo número de oscilaciones.

3ª ley. En péndulos de distinta longitud la duración de las oscilaciones, en el mismo tiempo, es proporcional a la raíz cuadrada de las longitudes.

Es decir, que si las longitudes de varios péndulos son 4, 9, 16, la duración de cada una de las oscilaciones será como los números 2, 3, 4: pero el número de oscilaciones en péndulos desiguales, está en razón inversa de la raíz cuadrada de las longitudes: así en tres péndulos cuyas longitudes sean 1, 4, 9 el primero dará 3 oscilaciones, el segundo 2 y el tercero 1 en el mismo tiempo.

4ª ley. En péndulos de la misma longitud la duración de las oscilaciones es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la intensidad de la gravedad.

Esta ley es resultado de la diferente energía con que obra la gravedad en los diversos lugares de la tierra según la latitud y la altura.

Estas leyes se derivan de la fórmula

que la Mecánica ha hallado por medio del cálculo aplicado al movimiento oscilatorio del péndulo simple. En dicha fórmula t representa, el tiempo que dura una oscilación; es una cantidad constante o sea la razón del diámetro a la circunferencia igual a $3'14159$; l la longitud del péndulo y g la intensidad de la gravedad en el punto donde se hace oscilar el péndulo.

95. Longitud del péndulo compuesto. -Hemos dicho que estas leyes se refieren al péndulo simple o ideal, pero que se aplican al compuesto; mas entonces es necesario conocer lo que se llama longitud del péndulo compuesto. Para esto basta, considerar que formado el péndulo compuesto por una varilla cuyas moléculas están invariablemente unidas; como las más cercanas al punto de suspensión, por ejemplo r (fig. 49) constituyen un péndulo de menor longitud que las más lejanas como s , la duración de las oscilaciones de estas últimas según la 3ª ley, se verificarán con movimiento acelerado, al paso que las más próximas al eje de suspensión lo harán con movimiento retardado, puesto que en el mismo tiempo han de recorrer espacios desiguales, representados por los arcos de círculo

rectificados r y s ; entre estos puntos hay uno en que el movimiento ni se acelera ni se retarda, o lo que es lo mismo a partir de ese punto hacia el eje de suspensión el movimiento es retardado y hacia el cuerpo pesado es acelerado; ese punto se llama centro de oscilación y su distancia al punto de suspensión es lo que constituye la longitud del péndulo compuesto: de donde resulta que la longitud del péndulo compuesto, es la del simple que verifica sus oscilaciones en el mismo tiempo.

Este centro de oscilación tiene por carácter el ser recíproco del de suspensión, esto es, que un péndulo cuyas oscilaciones duran por ejemplo $1/8$ de segundo, si se le invierte y suspende por el centro de oscilación, la duración de sus oscilaciones es la misma o vale también $1/8$ de segundo. Esto da un medio fácil, debido a Kater, de conocer la longitud de un péndulo: para eso observada la duración de sus oscilaciones, se le invierte y suspende por la parte inferior por medio de una cuchilla que se puede fijar en diferentes puntos hasta que se consigue que las oscilaciones en esta nueva posesión sean isócronas de las dadas en la posición anterior.

Un péndulo bate segundos cuando cada una de sus oscilaciones dura un segundo de tiempo: esta duración varía, aún para un mismo péndulo, con la intensidad de la gravedad y por lo tanto con la latitud; luego un mismo péndulo no batirá segundos en el ecuador y cerca de los polos.

96. Aplicaciones. -Varios son los usos a que se destina el péndulo. 1.º Para la medida del tiempo como regulador de los relojes. Esta aplicación está fundada en el isocronismo del péndulo: el movimiento se trasmite a ruedas que se mueven, con la misma regularidad que él, ya por medio de: péndulo de varilla o péndola como en los relojes de pared; ya por un muelle de acero muy fino arrollado en espiral, cuyos movimientos oscilatorios representan los del péndulo, como en los de bolsillo. Pero es preciso tener presente que el péndulo no obra como motor, sino como regulador: el motor está representado o por un peso que descende o por un muelle forzado que se desarrolla; cuando el peso ha descendido del todo o el muelle se ha desarrollado por completo, es preciso elevarlo de nuevo o arrollar el resorte, es decir, dar cuerda al reloj. 2.º Sirve también este aparato para demostrar el movimiento de rotación de la tierra. Foucault fue el primero que hizo para este objeto, aplicación de la propiedad que presenta el péndulo de oscilar siempre en el mismo plano. En efecto, si se suspende una masa de 3 a 4 kilogramos de peso de un largo hilo metálico y se la hace oscilar, se observará que el péndulo al cabo de algún tiempo cambia de planos en su movimiento, lo cual no puede suceder sin que el hilo se tuerza o la tierra gire; pero aún en el primer caso, la torsión solo puede verificarse por el movimiento de rotación del Globo. 3.º Por su isocronismo también se ha hecho una importante aplicación en el metrónomo (del griego metron medida y nomos canto) aparato inventado en 1816 por Maelzel y que sirve para medir la mayor o menor velocidad o viveza del compás en las piezas musicales. Y 4.º por último, sirve el péndulo para determinar el valor de la gravedad en un punto cualquiera de la tierra.

97. Fórmula para medir la intensidad de la gravedad por medio del péndulo. - Moviéndose el péndulo por la acción de la gravedad y no obrando esta fuerza con la misma intensidad en los diversos puntos de la tierra, se comprende que las oscilaciones del péndulo serán diferentes según la latitud: así un péndulo que bata segundos en Badajoz, a medida que se aproxime al ecuador la duración de cada oscilación será mayor de un segundo y por el contrario acercándose al norte esa duración será menor de un segundo de tiempo; pero si se aumenta o disminuye respectivamente la longitud del péndulo, según indica la 3.^a ley, se logrará que sus oscilaciones duren el mismo tiempo en todos los lugares de la tierra. Para medir, pues, la intensidad de la gravedad por medio del péndulo, se hace uso de la fórmula

(94) resolviéndola con relación a g : si pues se elevan al cuadrado sus dos miembros, se tendrá

y multiplicando por g y dividiendo por t^2 se obtendrá la fórmula para determinar la intensidad o sea

luego medida la longitud l del péndulo y observando la duración t de sus oscilaciones e introduciendo estos valores en la fórmula, se tendrá el de g o sea de la gravedad para el punto donde se hace la experiencia.

La longitud que ha de tener el péndulo de segundos ha sido hallada para diferentes puntos y la que corresponde a Madrid según observaciones y cálculos de D. Gabriel Ciscar es de 0'992881 milímetros, o en pies 3'56337.

LECCIÓN 17^a. Rozamiento. -Sus causas. -Sus leyes. -Aplicaciones. -Choque. Su división. -Consecuencias del choque. -Choque central. -Choque excéntrico.

- I -

98. Rozamiento. -En los movimientos que acabamos de estudiar, lo mismo los que producen las máquinas, que los originados en los cuerpos sea en dirección rectilínea o curvilínea, hemos prescindido de las causas que pueden entorpecer o disminuir esos movimientos, considerando a los cuerpos como moviéndose libremente sin que obstáculo alguno obre para minorar su velocidad; pero ya se muevan en el aire, ya en la tierra, ya cuando resbalan los unos sobre los otros, hay causas que hacen que el movimiento se disminuya o sea preciso emplear parte de la fuerza impulsiva, en vencer esos obstáculos. De aquí el rozamiento, o sea la resistencia que se desarrolla entre los cuerpos, que puestos en contacto, se mueven, giran o resbalan.

99. Causas del rozamiento. -Las causas del rozamiento son las asperezas que ofrecen las superficies de los cuerpos, puestos en contacto, pues siendo porosos necesariamente las partes salientes de los unos han de acomodarse en las entrantes de los otros, de modo que al moverse o resbalar encontrarán ciertas resistencias que habrán de vencerse con la misma fuerza que los pone en movimiento. De aquí se deduce que como las asperezas aumentan la resistencia y por lo mismo el rozamiento, éste disminuirá con el pulimento, operación que priva de ellos a las superficies, o con la interposición de aceites o sustancias crasas, que aparte de su suavidad, tapizan los poros y los hacen desaparecer, sino por completo, a lo menos en gran parte.

El rozamiento varía según que el cuerpo resbale o se deslice o ruede sobre una superficie: en el primer caso el rozamiento es mayor y se llama de primera especie, el segundo que es menor, se denomina de segunda especie.

100. Leyes del rozamiento. -Por más que las asperezas varían muchísimo en cantidad y extensión y el rozamiento ha de ser muy diferente en los diversos cuerpos, se ha encontrado que se halla sujeto a determinadas leyes, demostradas por Coulomb en 1781 y confirmadas más tarde por Morin en 1821: el aparato destinado para la demostración experimental de estas leyes, se llama tribómetro (del griego tribe tardanza, roce y metron medida.)

1.^a -El rozamiento es proporcional a la presión; pues con ella se aumenta la adherencia entre los cuerpos.

2.^a -Es proporcional a las áreas de las superficies puestas en contacto; porque cuanto mayor sea la extensión de las superficies, más grande será el número de las asperezas puestas en contacto.

3.^a -El rozamiento es mayor en los cuerpos homogéneos; pues siendo sus asperezas sensiblemente iguales, se acomodan más fácilmente las unas en las otras.

101. Aplicaciones. -No siempre conviene que desaparezca el rozamiento, antes bien en muchos casos, se hace necesario poner en juego sus efectos, aumentándole, para obtener determinados resultados. Siempre que sea preciso tener un movimiento regular y uniforme, debe desaparecer, en lo posible el rozamiento, ya pulimentando las superficies puestas en contacto, ya interponiendo sustancias arcillosas o grasientas; tal sucede en toda clase de máquinas, en que el roce y el desgaste consiguiente de las ruedas, los ejes o los piñones, entorpece los movimientos: por el contrario, cuando debe disminuirse o paralizarse por

completo el movimiento, se hace uso del mayor rozamiento: tal es el caso en que hay que detener un carruaje o un tren por medio del frotamiento contra las ruedas de planchas, galgas o frenos. La demasiada tersura de los rails en los caminos de hierro y de las llantas de los ruedas colocadas sobre ellos, es causa de que, entre otras razones, se dé a los carruajes un gran peso a fin de que la presión, amentando el rozamiento, proporcione punto de apoyo suficiente para el impulso: de lo contrario, como sucede cuando los rails se humedecen y el rozamiento disminuye, las ruedas giran sobre sí mismas sin avanzar o patinan y se necesita mayor fuerza de tracción para el movimiento: por la misma razón, se cubren de asperezas los cabos o mangos de muchos instrumentos del trabajo y las empuñaduras de las espadas y sables a fin de que no se escapen de la mano al hacerlos girar o moverse.

- II -

102. Choque. Su división. -Llámase choque la acción recíproca entre dos cuerpos que se encuentran, uno de los cuales, o los dos, se hallan en movimiento. La consecuencia de este contacto o choque, es la comunicación del movimiento, como veremos. Bajo este concepto los cuerpos se dividen en elásticos y no elásticos, los primeros son los que perdiendo su forma, en el acto del choque, la recobran después; y no elásticos los que, siendo blandos, se deforman en el momento del choque, y conservan después la forma adquirida, y si son duros, no pierden su forma. El choque puede ser central o directo y excéntrico u oblicuo: es central cuando se verifica en la dirección de una línea que se supone pasa por los centros de los cuerpos y excéntrico cuando lo hace en otra línea cualquiera.

103. Consecuencia del choque. -Hemos dicho que la consecuencia del choque es la comunicación del movimiento. En efecto, supongamos primero dos cuerpos inelásticos y duros A y B (fig. 50) que caminan con velocidades contrarias y se chocan con choque central; como no han de perder su forma, se ve que si las velocidades y las masas son iguales, ambas quedarán en reposo después del choque, lo cual prueba que ha habido comunicación de movimiento; pues A comunicó su velocidad a B y él quedó en reposo, pero B no podrá ponerse en movimiento con la velocidad recibida, porque siendo cuerpo duro, no pierde su forma, las moléculas no se comprimen y por lo tanto no hay movimiento de reacción (16); otro tanto sucederá al cuerpo B con relación a A; luego se han comunicado sus velocidades por más que permanezcan en reposo, porque la acción del uno queda destruida por la del otro. Si los cuerpos son blandos, se verificará el mismo fenómeno, porque si bien cambian de forma en el acto del choque, la conservan, luego sus moléculas tampoco se mueven en sentido contrario o de la reacción. Pero si uno de los cuerpos está en reposo y el otro viene a chocar con él, la velocidad se comunicará repartiéndose entre los dos, es decir en una masa doble, y ambos caminarán unidos con la mitad de la velocidad que traía el que había chocado. Por fin, si los cuerpos son elásticos entonces la comunicación del movimiento es más manifiesta, como observaremos.

La comunicación del choque no es instantánea, lo cual prueba que hay dos momentos consecutivos en el fenómeno; uno en el contacto de los cuerpos que es el verdadero choque y otro después que es la comunicación del movimiento. Estos dos momentos corresponden a los dos efectos de la presión en el acto de chocar y de reacción en que las moléculas intentan recobrar su forma: por eso siendo todos los cuerpos más o menos elásticos, se nota en parte, aunque pequeña, la comunicación del movimiento, aún en los cuerpos duros. Que la comunicación del movimiento no es instantánea, se demuestra con variedad de ejemplos. Una bala de fusil dirigida contra una vidriera agujera el vidrio sin romperle, pues dada la gran velocidad del proyectil, que se trasmite a las moléculas del vidrio en el punto del choque y son arrastradas por la bala, no permite, dado lo rápido de la acción, que aquella velocidad se comunique a la vez a las moléculas inmediatas, que permanecerán en reposo.

104. Choque central. -En el choque directo o central de los cuerpos no elásticos, cuando el uno está en reposo y el otro en movimiento, la velocidad después del choque no será cero, sino en el caso de que la masa del cuerpo en reposo sea infinitamente grande con relación a la del cuerpo chocante: tal sucede cuando un proyectil choca contra una gran masa. En el caso de movimiento, la suma de las cantidades de movimiento antes del choque, es igual a la suma de las cantidades de movimiento después del choque. Llamando X a la velocidad después, del choque, M y M' dos masas con las velocidades respectivamente V y V', la acción de estas fuerzas antes del choque será M V y M' V' (78-c) siendo después del choque la velocidad igual para los dos o sea

$$M V + M' V' = (M + M') X$$

y por tanto

es decir, que cuando los cuerpos van en un mismo sentido la velocidad final es igual al cociente, de dividirla suma de las cantidades de movimiento antes del choque por la suma de las masas.

Si los cuerpos caminan en sentidos contrarios resultaría

y si uno de ellos está en reposo, entonces

Para demostrar experimentalmente estos fenómenos, se emplea el aparato (fig. 51). Si se suspenden de los cordones dos esferas iguales de arcilla humedecida y se las deja caer desde el mismo número de grados de los cuadrantes, al chocar, ambas quedan en reposo (a); si ahora una está en reposo en el cero y la otra desciende desde el grado 40 por ejemplo, ambas caminan juntas, después del choque, llegando hasta el grado 20 del cuadrante opuesto (b).

En el choque central de los cuerpos elásticos, es preciso tener presente los dos períodos que se suceden en el momento del contacto; el primero, en que se comprimen, pueden considerarse como no elásticos, y por lo tanto sus efectos están comprendidos en las fórmulas anteriores; y el segundo en que las moléculas reaccionan por la acción de la fuerza elástica; y como esta fuerza es igual, y contraria a la de acción o sea la compresión, se toma entonces el duplo. Demuéstrase con diversos experimentos en el citado aparato (fig. 51) suspendiendo de los dos cordones cuerpos elásticos como esferas de marfil.

1.º Si dos esferas de igual masa, la una B está en reposo y la otra A desciende desde el grado 35 por ejemplo después del choque, la que venía en movimiento queda en reposo y la que estaba en reposo se pone en movimiento elevándose exactamente hasta el grado 35 en dirección contraria a la chocante, donde hará sonar un timbre allí colocado. Ha habido, pues, una comunicación, total del movimiento; pues si en el caso de ser los cuerpos no elásticos el que estaba en reposo recibía la mitad de la velocidad del chocante, ahora por ser elástico la duplica, y por lo tanto la recibe toda.

2.º Si las dos esferas de igual masa descienden respectivamente del grado 35 de los dos cuadrantes, después del choque, ambas retroceden cambiadas las velocidades; y como aquí son iguales, una y otra, se elevará hasta la división 35 de donde habían descendido. Si las velocidades son desiguales, es decir, si la una desciende del grado 30 y la otra del 20, también retroceden, después del choque, cambiadas las velocidades; la que descendió del número 30, se eleva hasta el 20 y viceversa. Fácil es la explicación de uno y otro fenómeno. Cuando las dos esferas de igual masa caminan en dirección contraria con la misma, velocidad; en el momento del choque, la esfera A comunica su movimiento a la B y queda en reposo; pero como recibe de B una velocidad igual, con ella se pone en movimiento en dirección contraria otro tanto sucede a la B que trasmite como hemos dicho su velocidad a A, quedando en un momento en reposo, pero como recibe la que este le comunicó, con ella se mueve en sentido opuesto. Si las esferas traen velocidades distintas, al cambiarse éstas, después del choque, cada una caminará en dirección contraria con la que recibe; la de mayor velocidad con menos y viceversa.

3.º Varias esferas de igual masa se hallan en contacto y en reposo, suspendidas por hilos iguales y paralelos: si otra cualquiera choca contra la primera, aquella y las demás quedarán en reposo, excepto la última que se pone en movimiento con la velocidad que traía la que chocó. En efecto, al chocar ésta comunicó su velocidad a la primera y ella quedó en reposo; la primera la transmitió a la siguiente y ella queda estacionaria y así sucesivamente, hasta que la última no teniendo a quien comunicar la velocidad recibida se pone en movimiento. Si en lugar de una sola esfera son dos las que descienden y chocan contra la primera que está en reposo, saldrán las dos últimas con la velocidad de las del que produjeron el choque y si son tres caminarán las tres últimas.

4.º Si son dos esferas de distinta masa y choca la mayor no queda en reposo, sino que comunica parte de su velocidad, proporcionada a la masa que la recibe y sigue moviéndose después del choque; y si la chocante es la de menor masa, retrocede después del choque.

5.º Tres esferas (fig. 52) de distintas masas A mayor que B y esta mayor que C, choca la primera contra B, al comunicarle su velocidad, esta la trasmite a C, que siendo de menor masa que las dos, camina con una velocidad mayor que la recibida de B.

105. Choque excéntrico. -Si sobre un plano se deja caer perpendicularmente un cuerpo no elástico, éste quedará sobre el plano, por aniquilarse la velocidad en el momento del choque; pero si el plano es de mármol y el cuerpo de marfil, es decir elásticos, al chocar el cuerpo contra el plano, la fuerza elástica desarrolla una acción contraria que destruye la que se pierde por el choque y como el cuerpo queda con la velocidad de su descenso, rebota y tiende a elevarse hasta, la misma altura de donde procedió. Si el cuerpo cae oblicuamente sobre el plano, el fenómeno en rigor es el mismo, pero se manifiesta de otro modo. Sea un plano de mármol A B (fig. 53) sobre el cual cae oblicuamente una esfera de marfil C, al tocar al plano en el punto n su acción se descompone en dos fuerzas, una paralela al plano n' y obra perpendicular m' n; esta última, fuerza se emplea en hacer cambiar de forma al plano en el primer momento, pero como éste es elástico, reaccionando sus moléculas, desarrollan una fuerza igual y contraria a la m n que con la n n', no destruida, serán fuerzas angulares que tendrán una resultante n C' en cuya dirección se moverá el cuerpo hasta llegar a c'. Esta dirección que toma el cuerpo elástico después del choque se llama reflexión; el ángulo formado por la dirección del cuerpo al caer y la normal al plano o sea C n m, se llama ángulo de incidencia y el formado por la dirección que toma el cuerpo después del choque y la misma normal o sea m n C' se llama ángulo de reflexión. La reflexión de los cuerpos elásticos se halla sometida a dos leyes:

1.ª El ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

2.ª Tanto el ángulo de incidencia como el de reflexión se hallan situados en el mismo plano.

Varios aparatos se conocen para demostrar estas leyes: el más sencillo consiste en un semicírculo dispuesto horizontalmente, (fig. 51) de madera, cubierta su superficie de bayeta verde y dividido en dos cuadrantes; en su centro lleva un plano vertical de mármol negro m. Si se coloca fijo por medio de un tornillo en una de las divisiones, la 20 por ejemplo, un tubo A provisto de un resorte y que lleva en su interior una esferita de marfil; lanzada ésta por la fuerza del resorte contra el plano de mármol, después del choque irá a parar en B a la división 20 del otro cuadrante; y lo mismo sucederá, sea cual fuere la división de donde salga la esfera que irá a encontrar a la misma división del lado opuesto. La esfera en sus dos direcciones forma con la normal al plano de reflexión dos ángulos iguales como lo demuestran los arcos que abrazan y además se hallan en el mismo plano como lo manifiesta la disposición del aparato.

Mecánica de los líquidos.

Capítulo I
Hidrostática

LECCIÓN 18.^a Hidrostática. -Propiedades de los líquidos. -Principio de igualdad de presión. -Prensa hidráulica.

106. Hidrostática. -Hemos considerado a la Mecánica dividida en tres secciones de los sólidos, de los líquidos y de los gases. La Mecánica de los líquidos se divide en Hidroestática (del griego hidros agua y estate, fijo, estable) que se ocupa del equilibrio de los cuerpos líquidos y de las presiones que ejercen sobre las paredes de las vasijas que los contienen, e Hidrodinámica (de hidros agua y dinamos movimiento) que trata de su movimiento.

107 Propiedades de los líquidos. -Los líquidos gozan de todas las propiedades generales que caracterizan a la materia: son, pues, graves o pesados, extensos, impenetrables, porosos, divisibles, compresibles y elásticos. De estas dos últimas propiedades hablaremos particularmente en esta lección. La compresibilidad siendo muy débil en los líquidos ha dado motivo a que durante mucho tiempo se considerase a estos cuerpos como absolutamente incompresibles. Nació esta creencia de un experimento hecho el año de 1661 por los académicos de Florencia: quisieron estos sabios saber si el agua se reducía a menor volumen por efecto de fuertes presiones; a este fin construyeron una esfera hueca de oro, la llenaron de agua por un pequeño orificio y soldado éste, la sometieron a fuertes golpes de martillo para disminuir su volumen, pero observaron que el agua en lugar de reducirse también a un volumen menor, trasudaba a través de las paredes de la esfera a manera de rocío; de lo cual dedujeran que el agua no era compresible, pero que el oro era un cuerpo poroso.

Mas a fines del pasado siglo, los trabajos de Canton en Inglaterra en 1761, de Aersted en 1823 y Regnault en 1847 y otros físicos, demostraron concluyentemente que el agua y en general todos los líquidos son compresibles, si bien en una cantidad muy pequeña. Los aparatos destinados a este objeto reciben el nombre de piezómetros (del griego piezo compresión y metron medida), pero cuya exactitud deja mucho que desear: el que generalmente se usa es el de Aersted modificado posteriormente. Un depósito de vidrio A (fig. 55) terminado por un tubo capilar encorvado que se halla dividido en partes de igual capacidad del volumen total del depósito y trazadas en una lámina metálica: en ella y a los lados del piezómetro hay un termómetro para conocer la temperatura y un manómetro para apreciar la presión que se ejerce: ambos aparatos se estudiarán más adelante. Lleno el depósito y tubo capilar de agua o del líquido que se quiera comprimir, se sumerge la extremidad de este en mercurio m, que se halla en el fondo de un cilindro de cristal C de paredes fuertes y resistentes, apoyado en un pie de metal. En su parte superior lleva una guarnición metálica a la cual puede atornillarse un cuerpo de bomba cuyo émbolo p se mueve por un tornillo y sirve para ejercer la presión y por fin un embudo e con su llave

completa el aparato. Colocado el piezómetro dentro del cilindro de cristal, se llena de agua, se atornilla la bomba y por el embudo se vierte agua para expulsar el aire y llenar el espacio que queda debajo del émbolo; se da vueltas al tornillo para que el émbolo descienda y se ve que el mercurio se eleva en el tubo capilar, lo cual no se verifica sin que el líquido contenido en él se comprima: ahora dividiendo el número de partes a que ascendió el mercurio en el tubo capilar, por el volumen primitivo o del depósito y por la presión ejercida que indique el manómetro, se tendrá el coeficiente de compresibilidad aparente. Si hecha la experiencia se da vueltas al tornillo en sentido contrario, de modo que el émbolo ascienda y la presión disminuya, se notará que el líquido recobra exactamente su volumen primitivo descendiendo el mercurio al fondo del vaso, lo cual demuestra que los líquidos tienen una elasticidad perfecta.

a. Cohesión. -Sabemos (22) que la fuerza que une las moléculas semejantes de los cuerpos se llama cohesión y que es muy enérgica en los sólidos. En los líquidos la cohesión es muy débil, pero se nota fácilmente cuando están en pequeñas masas, pues entonces por efecto de esta fuerza afectan la forma esférica. Varias experiencias, debidas principalmente a Plateau, físico de Gante, ponen de manifiesto la cohesión de los cuerpos líquidos. Si en una mezcla de agua y alcohol colocada en una gran vasija de vidrio, se sumerge por medio de una pipeta aceite cuya densidad sea igual a la de la mezcla para que quede en suspensión en el seno de ésta, se le ve tomar la forma esférica,: si ahora por medio de un alambre se le hace adquirir un movimiento rápido de rotación, se aplana y hasta llegará a desprenderse una porción del aceite en forma de anillo prolongado, si la velocidad es grande, conservando la forma esférica la parte que queda en el interior de aquel.

b. Adhesión. -Recibe este nombre, como ya sabemos, la atracción entre las superficies de dos cuerpos diferentes. Es bastante notable entre los sólidos y líquidos y en los líquidos entre sí. Se demuestra suspendiendo un disco de vidrio del platillo de una balanza y colocándole sobre la superficie del agua, adhiriéndose de tal modo que es necesario colocar en el otro platillo cierto número de pesas para que se desprenda, lo cual al mismo tiempo que prueba la adhesión del sólido con el agua, demuestra la de las moléculas de este líquido, pues al elevarse el platillo trae adherido al disco un pequeño cilindro de agua cuyas moléculas forman un todo adherente.

108. Principio de igualdad de presión. -Así se llama y también principio de Pascal

por haberle descubierto y demostrado este gran geómetra, el principio que sirve como de fundamento a toda la Hidrostática. Este principio se enuncia; la presión ejercida en un punto cualquiera de una masa líquida se trasmite en todas direcciones y es proporcional a las superficies que la reciben. Demuéstrase experimentalmente este principio por medio de una vasija de forma cualquiera (fig. 56) llena de agua y que lleva varios aberturas cilíndricas cerradas por émbolos. Si sobre uno de ellos se ejerce una presión cualquiera, por ejemplo de 60 kilogramos, todos los demás émbolos serán impelidos hacia fuera con la misma fuerza de 60 kilogramos. Este hecho es una consecuencia de la constitución de los líquidos, suponiéndolos sin peso; pues dada la gran movilidad de sus moléculas ha de

transmitirse por una reacción a las inmediatas, de éstas a las siguientes y así sucesivamente hasta llegar a las que tocan a las superficies de las paredes de la vasija, las que recibirán la presión según la extensión de esa superficie. Respecto a la segunda parte del principio de Pascal, su evidencia no puede demostrarse tan fácilmente por la experiencia, a causa del peso del líquido y del rozamiento de los émbolos; sin embargo, de un modo bastante aproximado a la verdad se comprueba por medio del aparato (fig. 57) cuyos dos émbolos P y p tienen una superficie respectivamente, como 20 y como 1. Si sobre el segundo se ejerce una presión de 2 kilogramos, será preciso hacer sobre el émbolo P un esfuerzo de 40 kilogramos, si se ha de producir el equilibrio; porque en efecto la presión de 2 sobre la superficie del émbolo p, transmitiéndose en todas direcciones, ha de obrar por igual, sobre cada porción de superficie del émbolo P y como esta, superficie es 20 veces mayor, sufrirá una presión de $20 \times 2 = 40$. Por eso dice con gran verdad Pascal «Si una vasija llena de agua, cerrada por todas partes, tiene dos aberturas, una de ellas 100 veces mayor que la otra, un hombre empujando un émbolo ajustado a la abertura menor equilibrará, el esfuerzo de 100 hombres, que empujen otro émbolo colocado en la mayor y vencerá él solo a la fuerza de 99. Y cualquiera que sea la proporción de esas aberturas, si las fuerzas que se aplican a los émbolos son como las aberturas, estarán en equilibrio.»

109. Prensa hidráulica. -Importante aplicación del principio de Pascal es la prensa hidráulica, la cual fue anunciada por el mismo sabio, por más que en su tiempo no hubiera podido realizarse por completo en la práctica. Este aparato construido por primera vez en Londres en 1796 por Bramah se compone (fig. 58) de dos cilindros o cuerpos de bomba de muy distinto diámetro y de gran resistencia, unidos entre sí por medio de un tubo. El cilindro de menor diámetro A comunica con un depósito de agua, la que comprimida por un émbolo m que se mueve por medio de una palanca P, es lanzada al cilindro de mayor diámetro B, empujando y elevando otro émbolo que termina en una plancha R sobre la que se colocan los objetos que se van a prensar, los cuales por los movimientos del émbolo se aproximan y comprimen contra otra plancha O fuertemente fija y sostenida por cuatro columnas de hierro. Un manómetro M de que hablaremos más adelante, sirve para; conocer la presión que se ejerce. Como la presión sobre el émbolo de mayor diámetro es considerable, el agua se escapa por entre el émbolo y el cilindro, por bien que se disponga su ajuste, perdiéndose así gran parte del esfuerzo empleado: este inconveniente con que tocó Pascal y fue causa de que no pudiera plantearse en la práctica, la aplicación mecánica de este principio, fue salvado por Bramah con el empleo del ceñimiento de cuero, que así se llama, una lámina gruesa de cuero impregnada de grasa y doblada en forma de canal invertida, aplicada en la parte superior del cuerpo de bomba por donde ha de salir el émbolo, cuanto más se comprime el agua, más tienden a separarse las dos hojas del ceñidor, adhiriéndose con fuerza al émbolo y al cuerpo de bomba, no pudiendo por lo mismo escaparse el agua.

Por lo que dejamos expuesto se comprende que la presión que puede desarrollarse por medio de la prensa hidráulica, depende de la relación que tengan entre sí las bases de los émbolos; es decir, que si el área de la base del émbolo grande es 100 veces mayor que la del pequeño, la presión ejercida sobre aquel será 100 veces la desarrollada en el menor;

pudiendo aún para una misma relación, aumentar el esfuerzo, dando mayor longitud a la palanca que mueve el émbolo del menor diámetro. Así si el brazo de potencia en esta palanca es cuádruplo que el de la resistencia, el esfuerzo será cuatro veces mayor, de manera que aplicando una fuerza de 40 kilogramos, el efecto sobre el émbolo será de $40 \times 40 = 160$, que transmitirá al émbolo mayor, el cual si el área de su base es 100 veces mayor, la presión que ejercerá será de $160 \times 100 = 16.000$ kilogramos.

Las aplicaciones de esta utilísima máquina son numerosas, usándose en todos aquellos casos en que es preciso desarrollar enormes presiones: úsase para la extracción del aceite de las semillas oleaginosas; para prensar el algodón, las telas y, los paños: para la prueba de resistencia de los cañones, de las calderas de vapor, etc.

LECCIÓN 19.^a Presiones ejercidas por los líquidos. -Presión de arriba abajo y de abajo arriba. -Presión sobre el fondo de la vasija. -Presiones laterales. -Centro de presión.

110. Presiones ejercidas por los líquidos. -Todo líquido contenido en una vasija, en el estado de reposo, ha de obedecer necesariamente a la acción de la gravedad y en su consecuencia ejercerá sobre las paredes interiores del vaso presiones variables y en todos sentidos: estas presiones podemos reducirlas a presiones de arriba abajo, de abajo arriba, laterales y sobre el fondo del vaso.

111. Presión de arriba abajo. - Suponiendo dividido un líquido cualquiera en capas horizontales de igual espesor, es evidente, como consecuencia del principio ya demostrado de Pascal, que cada una de las capas líquidas sostiene el peso de las que tiene encima, originándose presiones de arriba abajo, que han de crecer con el número de capas y por lo tanto con la profundidad: estas presiones de arriba abajo se hallan sometidas a las tres leyes siguientes:

1.^a La presión sobre, cada capa líquida es proporcional a la profundidad.

Esta ley es evidente; pues si consideramos por ejemplo la quinta capa líquida, ha de ejercer una presión igual a su peso, más el de las cuatro capas que tiene encima y la capa octava producirá también una presión igual a su peso, más el de las siete que soporta, creciendo así la presión con el número de capas y por lo mismo con la profundidad.

2.^a Para una misma profundidad en diferentes líquidos la presión es proporcional a la densidad del líquido.

Es asimismo evidente esta 2.^a ley, pues siéndolo la primera y dependiendo estas presiones de la acción de la gravedad y por lo mismo del peso, la presión será proporcional necesariamente al valor de la densidad del líquido.

3.^a La presión es igual en todos los puntos de una misma capa horizontal.

Supuesto el líquido dividido en capas de igual espesor y homogéneo, es decir, de igual densidad en todos sus puntos, claro está que según el principio de Pascal, la presión que cada capa ejerza será la misma en todos sus puntos, pues de lo contrario no sería cierto el principio de igualdad de presión.

112. Presión de abajo arriba. -Siendo los líquidos perfectamente elásticos y transmitiéndose en todos sentidos la presión ejercida en un punto cualquiera de su masa, es evidente que ejerciendo las capas líquidas superiores una presión sobre las inferiores, éstas a su vez originarán una reacción igual y contraria de abajo a arriba, cuya fuerza o presión se llama empuje de los líquidos. Demuéstrase experimentalmente esta presión por medio de un tubo de vidrio (fig. 59) abierto por sus bases: en la inferior se aplica un disco de metal a que se sostiene por medio de un cordón. Introduciendo el aparato dentro del agua y abandonando el cordón, se ve que el disco continúa aplicado a la abertura del cilindro, lo cual prueba que sufre, una presión de abajo arriba superior a su peso. Si ahora se vierte poco a poco agua dentro del tubo, el disco continuará adherido hasta el momento en que el nivel del líquido en el interior del tubo sea igual al del agua exterior; en cuyo caso destruida la presión de abajo arriba por la de arriba abajo, el disco cae obedeciendo a la acción de la gravedad: de aquí se deduce que la presión de abajo arriba está representada por el peso de una columna líquida que tiene por base la sección inferior e interior del tubo y por altura la distancia vertical desde el disco hasta la superficie de nivel del líquido en que se halla introducido el líquido.

113. Presión sobre la vasija. -Independientemente de las presiones referidas, los líquidos ejercen otra sobre el fondo de la vasija: esa presión que un líquido ejerce sobre el fondo de la vasija que le contiene, es igual al peso de una columna líquida que tiene por base dicho fondo y por altura la distancia vertical desde dicho fondo hasta la superficie del nivel. Por lo tanto esa presión es independiente de la forma de la vasija y de la cantidad de líquido. Para demostrarlo se hace uso del aparato de Haldat que consta (fig. 60) de un tubo dos veces encorvado en la misma dirección en ángulo recto: el extremo A se halla rodeado de una guarnición metálica con llave b que termina en rosca, donde se pueden atornillar vasijas de distinta forma y capacidad. Se pone mercurio en el tubo hasta la llave b, se atornilla una vasija cualquiera, por ejemplo la cilíndrica C, se vierte en ella agua, la que con su presión sobre el mercurio lo eleva en la rama d, cuya altura se señala por medio de un anillo móvil O y la del nivel del agua con un puntero m también movable; practicado, esto se abre la llave b para derramar el líquido, se destornilla la vasija y se sustituye por la cónica e, en la cual se echa agua hasta la misma altura que señalaba anteriormente el puntero, y se verá que el mercurio, a pesar de la mayor cantidad de agua contenida en la vasija, se eleva en la rama a exactamente hasta la misma altura que en la experiencia

anterior: y otro tanto sucederá con cualquiera vasija que se atornille, sea cual fuere su forma y la cantidad de líquido que contenga, siempre que la altura de este sea la misma: por donde se ve que la presión sobre el fondo movable representado por el mercurio, en las diversas vasijas, es la misma, puesto que se eleva en todos los casos hasta el mismo punto. Y que en la presión sobre el fondo de los vasos no influye la forma de estos, se demuestra también por consideraciones teóricas. Sea, en efecto, una vasija (fig. 61) que contenga agua hasta O, cuyo líquido supondremos dividido en capas horizontales a b, b c, c d, d e: considerando en cada una la porción cilíndrica, tendremos que según el principio de Pascal, la presión que ejerce la primera capa a b se trasmite a b r, que puede considerarse como fondo de la columna líquida que tiene por base b r y por altura la de esta, primera capa. Por la misma razón, la presión ejercida sobre c s es también la de un cilindro líquido cuya base es c s y la altura la suma de las alturas de las dos capas y del mismo modo las demás hasta la e q que soporta una presión igual a una columna líquida que tiene por base o sea el fondo e q y por altura la distancia de m a O. Otro tanto sucede y con igual razonamiento se demuestra, en el caso que la vasija, siendo también cónica, estuviese invertida. De este hecho físico se deduce que pueden producirse enormes presiones con una cortísima cantidad de líquido, pues basta por ejemplo, fijar un tubo de vidrio de muy pequeño diámetro, p pero de gran altura, sobre una vasija ancha, llenarlo todo de agua u otro líquido y la presión estará representada por el peso de un cilindro de agua que tenga por base el fondo de la vasija y por altura la del líquido en el interior del tubo. En esto está basado el experimento llamado tonel de Pascal, pues merced a un tubo de muy estrecho calibre, pero de diez metros de altura, fijo en la base superior de un tonel, consiguió aquel sabio desfondarlo. (fig. 62)

Esta presión ejercida sobre el fondo es también independiente de la que el vaso produce sobre el cuerpo que le sostiene, pues mientras ésta es siempre igual al peso del vaso más el del líquido en él contenido, la ejercida sobre el fondo depende sólo de éste y de la altura del líquido y puede ser mayor, menor o igual que aquella según la forma de la vasija. Así en los vasos (fig. 63) que tienen el mismo fondo y agua hasta igual altura, la presión sobre aquel es la misma para los tres, pero la presión sobre el sostén m, m' y m" de los vasos, es mayor en el B que en el A y menor en el C; este fenómeno singular recibe el nombre de paradoja hidrostática.

114. Presiones laterales. -Centro de presión. -Trasmitiéndose en todos sentidos, las presiones que ejercen los líquidos, consecuencia de la gravedad, compréndese que han de producir también su efecto sobre las paredes laterales de la vasija, obrando perpendicularmente a ellas, sea cual fuese la forma del vaso, pues aunque por la disposición de la pared, la presión fuere oblicua, se descompondría en dos fuerzas, una perpendicular a la pared que produce todo su efecto y otra paralela sin efecto alguno: estas presiones para cada capa líquida son iguales y contrarias y por lo tanto producen equilibrio, pero se comprueba su existencia por medio del molinete hidráulico. Un vaso de vidrio (fig. 61) que puede hallarse suspendido de una cuerda o apoyado en dos ejes, permanecerá vertical pudiendo girar libremente alrededor de los dos puntos de apoyo: lleva, en su parte inferior un tubo de latón encorvado en sus extremos en ángulos rectos, en sentido contrario y cerradas las aberturas con dos tapones. Lleno de agua el vaso, tan pronto como se quitan los

tapones, empieza a girar en sentido contrario a la dirección con que sale el líquido; pues produciéndose, cuando el tubo está cerrado presiones iguales y contrarias se equilibran, pero en el momento que una desaparece, por faltar la pared donde producía su efecto en el acto de quitar el tapón, la fuerza lateral contraria obra sobre la porción de pared opuesta y la imprime un movimiento en dirección contraria a la pared abierta o sea por donde fluye el líquido.

Las presiones laterales pueden representarse por fuerzas paralelas, desiguales, o que crecen con la profundidad y que van en la misma dirección y su resultante será la ya conocida. (38) Sin embargo esa resultante sólo se encuentra por el círculo, el cual demuestra que la presión total de un trozo cualquiera de pared, es igual al peso de una columna líquida cuya base sea ese trozo y la altura la distancia vertical de su centro de gravedad a la superficie libre del líquido. El punto de aplicación de la resultante de todas las presiones laterales, se conoce con el nombre de centro de presión y se encuentra siempre más bajo que el de gravedad de la pared, pues creciendo esas presiones con la profundidad, no pueden coincidir el centro de presión y el de gravedad.

LECCIÓN 20.^a Condiciones de equilibrio de un líquido en una vasija. -Equilibrio de varios líquidos en una vasija. -Equilibrio de un líquido en vasos comunicantes. -Equilibrio de varios líquidos en vasos comunicantes. -Aplicaciones. -Pozos artesianos.

115. Condiciones de equilibrio de un líquido en una vasija. -Un líquido colocado en una vasija, cualquiera que sea su forma, para que esté en equilibrio, es necesario que satisfaga a dos condiciones:

1.^a Que su superficie sea horizontal o forme ángulos rectos con la acción de la gravedad, o fuerza que le solicite.

2.^a Cada molécula ha de sufrir presiones iguales y contrarias.

Demuéstrase la primera condición porque suponiendo que un líquido contenido en un vaso (fig. 65) tuviera la superficie A B inclinada con relación a la dirección de la gravedad m n, esta fuerza se descompondría en dos, una perpendicular m s a la superficie del líquido, que se destruye por la resistencia de éste, y normal la otra, m r a esa misma dirección ni n que solicitará las moléculas de la superficie hasta que se hallen en la misma posición que ella o sea en sentido horizontal. Esta, condición se cumple aún cuando la superficie líquida tenga una gran extensión como sucede con los mares; pues suponiendo las superficies parciales como lados de polígono, infinitamente pequeños, la línea poligonal se convierte en una curva, que es la forma que afecta, la superficie de las aguas del mar: lo cual no podría suceder si la superficie del líquido, en cada punto de las verticales, no fuera horizontal. Experimentalmente también se comprueba que la dirección de la gravedad o sea la plomada (22) en cada punto de la tierra es normal a la superficie de un líquido en equilibrio, pues colocando el extremo de la más pesada en la superficie del agua, se verá la

imagen del hilo exactamente en la prolongación rectilínea de aquel, lo cual según un principio de óptica, no podría verificarse si el hilo de la plomada no fuese perpendicular a la superficie del líquido.

La 2.^a condición, siendo evidente, no necesita demostración, pues de no ser iguales y contrarias las fuerzas, la molécula líquida se movería en la dirección de la fuerza mayor y no habría equilibrio.

116. Equilibrio de varios líquidos en una vasija. -Si varios líquidos se hallan contenidos en una vasija, para que estén en equilibrio, es indispensable además de las dos condiciones dichas, que satisfagan a una tercera y es que los líquidos han de situarse según sus densidades, creciendo de arriba abajo. Si en un frasco largo y estrecho se ponen mercurio, agua saturada de carbonato de potasa, alcohol y aceite, se vera que el mercurio ocupa el fondo y encima se colocan sucesivamente, según el orden de sus densidades, el agua, el alcohol y el aceite. Este sencillo aparato recibió en lo antiguo el nombre de redoma de los cuatro elementos.

117. Equilibrio de un líquido en vasos comunicantes. -Dos o más vasijas cuyos fondos comunican entre sí por medio de un tubo, constituyen vasos comunicantes. Un líquido colocado en vasos así a dispuestos, no estará en equilibrio, hasta que, además de las dos condiciones generales precedentes, la altura de nivel en todas las vasijas sea la misma, o de otro modo, la superficie, libre del líquido se encuentre en todos los vasos en el mismo plano horizontal. Sean dos vasijas A B (fig. 66) unidas por el tubo ni n; una molécula situada en el punto P, que puede considerarse como el fondo común de ambos vasos, no podrá estar en equilibrio sino sufre presiones iguales y contrarias; esas presiones son equivalentes (113) al peso de una columna líquida que teniendo por base la molécula P, sea su altura la distancia vertical desde P a la superficie del líquido; luego si esas presiones han de ser iguales y por lo tanto persistir el equilibrio, es necesario que teniendo la misma base sea igual su altura.

118. Equilibrio de varios líquidos en vasos comunicantes. -Si los líquidos fuesen heterogéneos, además de las condiciones ya referidas, no podrán estar en equilibrio sino cuando, las alturas de nivel estén en razón inversa de las densidades. Sean dos tubos comunicantes A y M (fig. 67) si en ellos se pone mercurio tendrá el mismo nivel en ambos vasos; pero si en uno se vierte agua, que es 13'6 más ligera que el mercurio, se verá que la altura de nivel de aquella es 13'6 mayor que la del azogue.

119. Aplicaciones. -Los principios de Hidrostática que acabamos de exponer tienen varias y muy importantes aplicaciones. Además de la prensa hidráulica de que hemos hablado, hay otros varios aparatos basados en los hechos referidos; tales son el nivel de agua, el de aire y los pozos artesianos. El nivel de agua se compone de un tubo de latón u hoja de lata terminado en sus extremos en ángulos rectos, (fig. 68) en los que se hallan fijos dos tubos de vidrio: la rama horizontal es mucho mayor que las verticales. Colocado sobre un trípode se pone agua hasta cierta altura a b en ambos tubos, hallándose el nivel en el mismo plano horizontal en uno o en otro. Con este aparato se nivela o se determina la diferencia de altura de dos puntos no muy lejanos. Más sensible que este es el nivel de aire (fig. 69) formado por un tubo de vidrio ligeramente arqueado, lleno de agua o mejor de éter sulfúrico puro, con una burbuja de aire, que tiende a ocupar la parte superior en virtud de su menor densidad. Este tubo se coloca en un estuche de metal, descubierto por la parte superior y con dos señales m n entre las cuales ha de hallarse la burbuja de aire cuando el nivel esté horizontal. Este aparato acompaña a muchos instrumentos de Física y Geodesia para determinar su horizontalidad.

Los pozos artesianos son también verdaderos vasos comunicantes. Llámense así por haberse abierto los primeros en Artois, antigua provincia de Francia aunque ya se conocen de tiempos antiguos en el Egipto y principalmente en la China donde son muy numerosos. En Europa, figuran desde tiempos también muy antiguos en Italia. Son estos pozos largos hoyos o perforaciones verticales y estrechas, practicadas con la sonda, a profundidades variables, hasta encontrar el agua. Su explicación es sencilla: los terrenos que componen la corteza de la tierra, están formados por capas, permeables unas a las aguas, como la arena y otras impermeables o que difícilmente son atravesadas como la arcilla y otras rocas. El agua de las lluvias o de otro origen, procedente de puntos más o menos elevados, se filtra y corre por entre esas capas y hallándose debajo de una impermeable no puede venir hacia la superficie para nivelarse: pero si desde la parte superior del suelo se practica una abertura que taladre la capa impermeable, el agua ascenderá a una altura igual a la del terreno con quien está en comunicación.

El pozo artesiano de Grenelle, cerca de París, uno de los más notables, tiene 548 metros de profundidad, da 3000 litros de agua por minuto; su temperatura es de 27 en todas las estaciones y se eleva en forma de surtidor a 33 metros sobre el suelo.

LECCIÓN 21.^a Presiones que sufre un cuerpo sumergido en un líquido. -Principio de Arquímedes. Su demostración experimental. -Determinación del volumen de un cuerpo. -Equilibrio de los cuerpos sumergidos y flotantes. -Metacentro. =Aplicaciones.

120. Impresiones que sufre un cuerpo sumergido en un líquido. -Un cuerpo sumergido en un líquido experimenta presiones en todos sentidos que crecen con la profundidad. Las presiones laterales, en cada capa, es decir, para una misma altura, son iguales y contrarias y se destruyen; pero la de abajo arriba y de arriba abajo son desiguales, siendo mayor la primera, por lo cual el cuerpo tiende a elevarse. Sea en efecto un prisma sumergido en el

agua (fig. 70); las caras laterales sufrirán presiones iguales y contrarias que se equilibran, pero las presiones sobre las bases m y n son evidentemente desiguales; pues la presión ejercida sobre la base n está representada por el peso de una columna líquida que tiene por base dicha cara n y por altura n a; y la que sufre la cara m por otra columna que tiene por base esta cara y por altura a m: la diferencia entre estas dos columnas es $n a - m a$, es decir, está representada por el peso de una columna líquida que tiene la base y la altura del prisma. La presión, pues, de abajo arriba n a mayor que m a, equivale al peso del volumen de agua desalojada por el prisma.

121. Principio de Arquímedes. -Su demostración experimental. -Hemos visto en el párrafo anterior que un cuerpo sumergido en un líquido está sometido a dos fuerzas verticales que obran en sentido opuesto; la una que obliga al cuerpo a descender y la otra que tiende a elevarlo con una fuerza igual al peso del líquido que desaloja; luego el cuerpo dentro del agua, sostenido en parte por la fuerza mayor de abajo arriba, pesará menos que en el aire o perderá parte de su peso. Este hecho lleva el nombre de principio de Arquímedes, por haber sido hallado y demostrado por este gran sabio y se enuncia del modo siguiente: todo cuerpo sumergido en un líquido pierde una parte de su peso igual al peso del volumen líquido

que desaloja.

Demuéstrase experimentalmente este principio por medio de dos cilindros de metal, uno hueco y otro macizo (fig. 71) teniendo éste un volumen igual a la capacidad del hueco: se suspende el macizo del hueco y éste del gancho de uno de los platillos de la balanza hidrostática, cuya barra se ha elevado previamente. Equilibrados los cilindros, se sumerge el macizo en una vasija que contenga agua para lo cual se hace, descender la barra dentada de la balanza y se observará que ésta se inclina en favor del platillo de los pesos, para lo cual prueba la exactitud de la primera parte del principio, el cuerpo ha perdido parte de su peso demostrar la segunda parte, se vierte agua en el cilindro hueco e inmediatamente se restablece el equilibrio, y como el agua de este cilindro es un volumen líquido exactamente igual al del macizo sumergido, es evidente que perdió de su peso lo que pesa este cilindro de agua, puesto que con él se restablece el equilibrio. La experiencia puede invertirse: una vez equilibrados los cilindros, se vierte agua en el hueco y el equilibrio de la balanza se rompe; sumergiendo ahora el cilindro macizo en el agua, el equilibrio se restablece. El resultado es el mismo.

122. Determinación del volumen de un cuerpo. -Entre las varias aplicaciones que tiene el interesante principio de Arquímedes, no es la menos importante, el medio que nos da para obtener con precisión el volumen de un cuerpo. Suspéndase dicho cuerpo por medio de una seda finísima del gancho de uno de los platillos de la balanza hidrostática y restablecido el equilibrio, sumérgase el cuerpo en agua pura y perderá una parte de su peso

que se averigua colocando pesas en el mismo platillo; estas pesas representan el peso del volumen de agua desalojada, igual exactamente al volumen del cuerpo. Supongamos que la pérdida del peso fueron 50 gramos, luego el volumen del agua desalojada pesa 50 gramos, y como un gramo es el peso de un centímetro cúbico de agua pura a 4 grados de calor, el volumen del agua desalojada, y por lo tanto el del cuerpo, son 50 centímetros cúbicos. Como no es fácil que el agua está a la temperatura de 4.º durante la operación, hay que hacer una pequeña corrección que se indica más adelante en el tratado del calor.

123. Equilibrio de los cuerpos sumergidos y flotantes. -Un cuerpo sólido colocado en un líquido puede hallarse en una de las tres posiciones siguientes: flotante, sumergido o pesado. Es flotante cuando colocado en el interior del líquido, el volumen que desaloja pesa más que el cuerpo en cuyo caso predominando el empuje de abajo arriba el sólido viene hacia la superficie del líquido o flota. Situado en ella permanecerá flotante mientras el volumen del líquido que desaloje pese tanto como él y en cuanto al volumen de la parte sumergida está en razón inversa de la densidad del líquido; y en razón directa de la densidad del cuerpo flotante. Es sumergido si el volumen de líquido desalojado pesa tanto como el sólido, permaneciendo entonces en cualquier punto del seno de la masa líquida, y es pesado o se va al fondo, si el volumen del líquido pesa menos que él. Se comprende bien que un cuerpo no siempre será flotante ni pesado para todos los líquidos, pues sólido que es pesado en un líquido, es flotante en otro: así el hierro es pesado dentro del agua, pero es flotante para el mercurio, porque en igualdad de volúmenes, pesa más el hierro que el agua y menos que el mercurio.

Tanto los cuerpos sumergidos como los flotantes, para estar en equilibrio es necesario,

1.º Que el peso del líquido que desaloje sea igual al del sólido.

2.º Que el centro de gravedad del cuerpo y el de presión del líquido desalojado se hallen en la misma vertical.

Siendo el caso que más interesa conocer el de los cuerpos flotantes por sus muchas aplicaciones, principalmente a los buques, diremos que un cuerpo flotante puede hallarse en equilibrio estable, inestable o indiferente. Está en equilibrio estable cuando el centro de gravedad se halla debajo del de presión: es inestable si el centro de gravedad se halla encima del de presión e indiferente si el centro de gravedad guarda siempre la misma distancia al centro de presión, cualquiera que sea la posición que tenga el cuerpo; una esfera de corcho o de cera, en el agua.

Sin embargo, puede darse el caso en que el equilibrio sea todavía estable aún cuando el centro de gravedad se halle encima del de presión, siempre que se halle debajo de un punto conocido con el nombre de metacentro, que en rigor puede considerarse como el centro donde se halla aplicado el empuje del líquido, no habiendo entonces contradicción con la ley general del equilibrio estable ya conocido.

124. Metacentro. -Supongamos un cuerpo flotante, la sección de un buque por ejemplo (fig. 72), en el que el centro de gravedad se halla en g y el de presión en c en la línea $A B$; a pesar de estas condiciones aún puede estar en equilibrio estable; en efecto, si el buque se inclina, la línea $A B$ tomará la posición $A' B'$; el centro de gravedad del barco que no varía (42) pasará a g' y el centro de presión se colocará en c' si ahora se traza una vertical que pase por el punto c' y corte a la recta $A' B'$ en m , puede suponerse aplicado a este punto m el empuje del líquido: pero hallándose m más alto que el centro de gravedad g , las fuerzas; aplicadas en m y en g , son un par de fuerzas, producirán en el buque un movimiento que le obliga a tomar la posición primitiva que es precisamente el carácter del equilibrio estable. Este punto m es lo que se llama metacentro: luego el cuerpo flotante estará en equilibrio estable cuando el metacentro esté más alto que el centro de gravedad del cuerpo flotante.

125. Aplicaciones. -Son tan varias las aplicaciones y tantos los hechos cuya explicación tiene su fundamento en la teoría de los cuerpos flotantes, que solo podemos limitarnos a hablar de las más importantes; tales son la natación, la vejiga natatoria de los peces y la estiva de los buques. La natación en el hombre es fácil, pues por lo general, en igualdad de volumen, el cuerpo humano es más ligero que el agua dulce y más aún que la del mar y por lo tanto flota. La base del arte de nadar, está en saber mantener la cabeza, que es más pesada que los miembros inferiores, fuera del agua para poder respirar, moviendo al mismo tiempo, las extremidades de modo que hallando punto de apoyo en el agua, impulsen el cuerpo en una dirección dada. En todo caso, la primera condición, por más que no sea física, tanto para mantenerse a flote, como para nadar, es penetrar en el agua sin temor ninguno. Facilitan la flotación el uso de vejigas llenas de aire, de trozos de corcho o aparatos de goma elástica o cautchú llenos de aire que se rodean al cuerpo.

La mayor parte de los peces tienen en el abdomen una vejiga natatoria llena de gases, merced a la cual pueden flotar, sumergirse o hacerse pesados. Cuando el pez quiere descender o irse hacia el fondo, comprime con los músculos del abdomen su vejiga. que reduciéndose a menor volumen, aumenta de densidad, el pez se hace pesado y descende; y por el contrario dilatando más o menos el abdomen y por lo mismo la vejiga, los gases aumentan de volumen, se hacen más ligeros y el pez queda sumergido en un punto dado dentro del agua o asciende. Las aletas sirven para producir el impulso y la cola para cambiar de dirección.

La estiva de los buques, es decir, la distribución de la carga, es punto interesante en el arreglo de un buque, pues la mala posición de aquella puede hacer cambiar las condiciones marineras del bajel, aunque su construcción se haya sujetado a todas las reglas del arte. La carga, donde se ha de hallar el centro de gravedad, es necesario que se encuentre en la parte más inferior, a fin de que estando aquel más bajo que el metacentro tenga el buque la mayor estabilidad posible y pueda fácilmente en cualquier movimiento que le incline o eche,

recobrar su posición: eso aparte de que la carga no debe variar de lugar o moverse con las sacudidas o balanceos del buque, para que el centro de gravedad permanezca siempre en el mismo punto.

LECCIÓN 22. Peso específico. -Fórmula y métodos para determinarle. -Peso específico de los sólidos. -Cuerpos solubles en el agua. -Peso específico de los líquidos.

126. Peso específico. -Dejamos dicho (23) que peso específico de un cuerpo, es la relación entre el peso de un volumen dado de dicho cuerpo y el de un volumen igual de agua pura. El cuerpo ha de hallarse a la temperatura de cero grados y el agua a la de 4.º El peso específico de los sólidos y líquidos se compara o refiere al del agua, que se toma por unidad o es igual a la temperatura referida de 4 grados, pues es cuando tiene su mayor densidad (253). Para los gases se toma como unidad el aire en ciertas condiciones.

127. Fórmula y métodos para determinarle. -Si se representa por P el peso de un cuerpo, insoluble en el agua, por P' el peso de un volumen de agua pura igual al del cuerpo, por E el peso específico del cuerpo y por 1 el del agua, tendremos

Luego para determinar el peso específico de un cuerpo por todos los métodos que indicaremos, se necesitan dos datos; el peso P de un volumen dado del cuerpo el peso P' de otro volumen igual de agua. El primer dato P se puede hallar por medio de la balanza y el P' haciendo aplicación del principio de Arquímedes. Tres son los métodos más empleados para determinar el peso específico de los cuerpos sólidos y líquidos; 1.º el de la balanza hidrostática, 2.º el areómetro y 3.º el frasco.

128. -Peso específico de los sólidos. 1º Balanza hidrostática. -Suspendido el cuerpo por una seda muy fina del gancho de uno de los platillos de la balanza hidrostática, se equilibra con pesos conocidos; estos pesos representan el peso del cuerpo, es decir, P: en seguida se le sumerge en agua pura y como perderá una parte de su peso, para restablecer el equilibrio habrá que colocar de nuevo pesas en un platillo o retirarlas del otro; estas pesas son el peso del volumen de agua igual al del cuerpo, esto es P': el cociente de

es el peso específico del cuerpo. Para mayor exactitud y si hubiese duda de la balanza, debe emplearse el método de las dobles pesadas.

2.º Areómetro de Nicholson. El aparato empleado en este método llamado areómetro (del griego araios ligero, flotante y metron medida) consiste en un cilindro de metal hueco para que flote (fig. 73) que termina en dos conos; del inferior pende otro cono invertido o platillo con plomo en su interior, para que esté en equilibrio estable. Del cono superior arranca una varilla que lleva en el punto a una raya o señal llamada línea o punto de enrase y termina en un platillo b: en las dos operaciones que hay que hacer con el aparato ha de sumergirse en el agua hasta la línea de enrase, desalojando así en ambas el mismo volumen. El aparato se halla lastrado de tal manera, que colocado en el agua, flota hasta el arranque de la varilla. Sumergido en este líquido se colocan pesas en el platillo hasta que enrase; en seguida se pone el cuerpo que se procura sea un pequeño trozo y hundiéndose entonces el instrumento hay que separar pesas para que vuelva a enrasar; estas pesas representan evidentemente el peso del cuerpo, es decir P, cual si se hubiese hallado por medio de una balanza, por cuya razón algunos llaman a este aparato balanza de Nicholson. Hecho esto, se traslada el cuerpo al cono o platillo inferior C y sumergido de nuevo el aparato, el cuerpo perderá de su peso, siendo necesario colocar nuevas pesas para que enrase: estas pesas representan el peso del volumen de agua desalojada o sea P' luego

será el peso específico buscado.

3.º Frasco de Klaprot. Este procedimiento consiste en el empleo de un frasco pequeño de boca ancha (fig. 74) que puede cerrarse con un tapón esmerilado y hueco que se prolonga en un tubo que termina en una cápsula o vaso a. En el tubo hay una señal b hasta donde se llena de agua; al cerrarlo, el agua pasa por el tubo y rebasa esta señal; el exceso de agua se quita por medio de papel secante, o por otro medio análogo. Se empieza por hallar el peso del cuerpo en el aire o P, en seguida se pesa el frasco lleno de agua, se sumerge en esta el cuerpo y desalojará un volumen de agua igual a aquel: entonces se vuelve a pesar añadiendo pesas que indicarán el peso del volumen de agua desalojada o P', de aquí

que será el peso específico.

129. Cuerpos solubles en el agua. -Puede suceder que el cuerpo cuyo peso específico se quiere determinar sea más ligero que el agua: o que embeba parte de ella, o sea soluble en este líquido. En el primer caso, para que no flote, en el método de la balanza, se le añade otro cuerpo que sea más pesado, restando luego lo que este cuerpo adicional pesa en el aire y en el agua: si se emplea el gravímetro de Nicholson, se sujeta en el cestillo inferior por medio de una pieza semi-esférica agujereada, introduciéndole así en el agua. Si fuese sustancia capaz de embeber agua, se pesa primero en el aire, se le sumerge en el agua para que absorba toda la que sea posible, se le pasa nuevamente y la diferencia de peso se resta del que desaloje al introducirla en el agua; después se practican las dos operaciones como en los demás cuerpos. En el caso de ser el cuerpo soluble se hace necesario emplear otro líquido que no ejerza acción ninguna sobre el sólido, por ejemplo el alcohol. Se procede como si fuera el agua y hallado el peso específico del cuerpo con relación al líquido

empleado, hay que buscarlo relativamente al agua, para lo cual, el peso específico hallado con el alcohol, se multiplica por la densidad del mismo líquido. En efecto, siendo P el peso del cuerpo, P' el peso del alcohol y P'' el del agua, en igualdad de volúmenes tendremos el peso específico del cuerpo con relación

al alcohol

y el del alcohol respecto al agua

y por lo mismo,

130. Peso específico de los líquidos. -1.º Balanza hidrostática. Se suspende por medio de una seda del gancho de uno de los platillos de la balanza un cuerpo pesado, una esfera, por ejemplo, de vidrio o de platino y se equilibra: en seguida se sumerge en el líquido cuya densidad se va a determinar y perdiendo parte de su peso, se quitan pesas del platillo hasta restablecer el equilibrio, las cuales representan el peso de un volumen dado del líquido, o sea P . Se saca y limpia la esfera, se restablece de nuevo el equilibrio, y se introduce en el agua y faltando también el equilibrio, las pesas que se quiten representarán el peso del volumen de agua P' igual al del líquido propuesto, puesto que en ambos se introdujo la misma esfera y

será la densidad del líquido.

2.º Areómetro de Fahrenheit. En este método el areómetro que se emplea se diferencia del de Nicholson en que no tiene platillo inferior, llevando sólo un pequeño depósito con mercurio para que el aparato esté lastrado, y en que es de vidrio para poder sumergirlo en cualquier líquido. Determinado con toda exactitud el peso del areómetro, se le introduce en un vaso o probeta que contenga el líquido cuya densidad se desea conocer y se colocan pesas en el platillo hasta que enrasa: estos pesos más el peso del areómetro representan el peso de un volumen de líquido igual a la parte sumergida; hecha la misma operación, colocando el aparato en el agua y enrasándole, se tiene el peso de un volumen de agua igual al del líquido; dividiendo el primero por el segundo, el cociente es el peso específico.

3.º El frasco. El empleado para este objeto (fig. 75) es un depósito ancho y prolongado A con un cuello muy estrecho que lleva en a una señal y termina en una parte ensanchada cerrada con tapón esmerilado por si el líquido es volátil. Hallado de antemano el peso del frasco, se llena hasta la señal a con el líquido en cuestión y se pesa, la diferencia de pesos entre el del frasco vacío y lleno del líquido, representa, el peso P de un volumen dado de este: se vacía y seca y se llena de agua hasta la misma señal y hallado el peso de este volumen de agua P' se dividen para obtener la densidad.

Pesos específicos

de los cuerpos sólidos y líquidos de más importancia

y aplicaciones.

Agua pura y a 4.º -1.

Sólidos más pesados que el agua.

Ámbar amarillo 1'08

Fósforo 1'17

Azufre 2'03

Porcelana de Sevres 2'15

Porcelana de China 2'38

Vidrio 2'49

Cristal de roca 2'65

Perlas 2'75

Cristal común 2'89

Diamante. 3'50 a 3'53

Zinc fundido 6'86

Estaño fundido 7'29

Hierro forjado 7'78

Acero sin temprar 7'81

Latón 8'39

Cobre 8'78

Plata 10'47

Plomo 11'35

Oro 19'36

Platino 23'00

Sólidos más ligeros que el agua

Sodio 0'97

Hielo 0'93

Boj 0'91

Potasio 0'86

Haya 0'85

Tejo 0'81

Manzano 0'73

Cerezo 0'71

Pino 0'65

Cedro 0'56

Álamo común 0'38

Corcho 0'24

Líquidos más pesados que el agua

Leche de vaca 1'03

Agua del mar 1'03

Ácido acético 1'06
Agua del Mar Muerto 1'23
Ácido clorhídrico 1'24
Ácido nítrico 1'43
Ácido sulfúrico 1'84
Mercurio 13'59
Líquidos más ligeros que el agua

Agua a cero 0'99
Esencia de nafta 0'87
Esencia de trementina 0'86
Aceite de oliva 0'81
Alcohol puro 0'79
Éter sulfúrico 0'73

LECCIÓN 23. Areómetros de volumen variable. -Areómetro de Baumé. -Pesa-ácidos, pesa-sales etc. -Alcohómetro centesimal de Gay-Lussac. -Areómetro universal. -Densímetros.

131. Areómetros de volumen variable. -Los areómetros anteriormente descritos de Nicholson y Fahrenheit, se llaman de volumen constante, porque siempre se sumergen la misma cantidad y de peso variable, porque para que eso suceda se necesitan pesos diferentes: pero hay otros areómetros que unas veces se sumergen más y otras menos y se llaman de volumen variable, siendo su peso siempre el mismo, por lo que se denominan de peso constante.

En general estos instrumentos están formados por un flotador de vidrio (fig. 76) que lleva en la parte media próximamente un depósito A cilíndrico o esférico lleno de aire, y termina en la parte inferior en una pequeña esfera c con mercurio o perdigón para lastrarlo y en la parte superior en un tubo delgado en cuyo interior está la escala trazada en una tira de papel.

132. Areómetro de Baumé. -Uno de los areómetros más generalizados es el de Baume, cuya forma es igual a la que acabamos de describir. Gradúase este aparato de dos maneras; o para líquidos más densos que el agua, o para líquidos menos densos: en el primer caso se lastra de tal manera, que introducido en el agua pura se sumerge hasta el extremo superior del vástago a en donde se señala el cero; enseguida se introduce el aparato en una disolución de 85 partes de agua en peso por 15 de sal común y flotará más por ser la disolución más densa que el agua pura y en el punto de enrase con el nivel del líquido se

pone el grado 15 dividiendo el espacio que media entre el cero y 15, en quince partes iguales y se continúa la división por la parte inferior.

Para los líquidos menos densos que el agua se introduce primero en una disolución de 90 partes en peso de agua y 10 de sal común y el punto donde enrase el aparato se pone cero, que es próximamente en el arranque del vástago: sumergiéndolo luego en agua destilada, se hundirá más, y en el punto de enrase puso Baumé 10, dividiendo luego, como en el caso anterior hasta la terminación del tallo.

133. Pesa-ácidos. -Pesa-sales etc. -Los areómetros de Baumé aunque no dan la densidad de los líquidos, ni aun la cantidad de sustancias disueltas, han recibido una importante aplicación, pues basados en el mismo principio y con graduaciones especiales, se han construido para conocer la concentración de una disolución salina, ácida, alcohólica o azucarada, diversos aparatos que se conocen con los nombres de pesa-ácidos, pesa-alcoholes, pesa-jarabes etc.; así como los hechos para averiguar la pureza de un líquido o su mezcla con otras sustancias, como el oleómetro, el lactómetro. etc. pues sabiendo que en el aceite puro de oliva, o en la leche pura, los instrumentos se sumergen una cantidad dada, cuando, floten mas o menos, indicará una mezcla o falsificación de estas sustancias: sin embargo tales indicaciones no son del todo exactas.

134. Alcohómetro centesimal de Gay-Lussac. -Mas útil que los areómetros referidos es el alcohómetro de Gay-Lussac

que mide la fuerza de los líquidos alcohólicos, es decir, el número de centésimas de alcohol puro, en volumen, que contienen dichos líquidos a la temperatura de 15.º

La forma de este aparato es semejante a la del areómetro de Baumé, pero su graduación es diferente; la escala consta de 100 divisiones o grados, correspondiendo el cero al agua pura y el 100 al alcohol puro y, cada una de las divisiones representa una centésima de alcohol en volumen. Como el instrumento se gradúa para la temperatura de 15º, para otras temperaturas sus indicaciones no son exactas, pues el mayor o menor calor dilata o contrae los líquidos, y variando el volumen, el alcohómetro se sumerge más o menos de lo que debiera sumergirse; para corregir este error Gay-Lussac construyó tablas a propósito.

135. Areómetro universal. -Así se llama un areómetro que puede servir para líquidos más o menos densos que el agua. Lleva para eso dos escalas, cuyo cero es común, trazada una hacia la parte superior del vástago y la otra hacia la inferior: esta última y suspendiendo del aparato un pequeño lastre movable, sirve para líquidos más densos que el

agua y la primera y con el aparato sólo o sin el lastre adicional se emplea para líquidos menos densos.

136 Densímetros. -Con estos aparatos, como su nombre lo indica, se averigua la densidad relativa de los líquidos por las divisiones que el instrumento, se sumerja dos son los principales, el de Gay-Lussac y el de Rousseatt.. El primero llamado también volúmetro tiene la forma del areómetro de Baumé, pero se gradúa según que haya de servir para líquidos mas o menos densos que el agua. Para los primeros (fig. 77) se lastra de modo que en el agua pura se introduzca hasta la parte superior A del vástago, donde se pone 100 y sumergiéndole en otro líquido de densidad conocida, pero mayor que la del agua, en la razón por ejemplo de 4 a 3, se introducirá hasta el punto B donde se señala 75 representando por V el volumen sumergido en el agua y por v el que tiene en el líquido, como los volúmenes están en razón inversa de las densidades se tendrá

y

De modo que si el volumen V vale 100, el de v valdrá 75, que se señalan como hemos dicho. Como v es la cuarta, parte de V o sea 100, se divide el espacio A B, o sea de 75 a 100, en 25 partes iguales, de modo que cada una es

de A B o

de V; la división se continúa por la parte inferior del vástago.

Ahora para hallar el peso específico de un líquido, ácido nítrico por ejemplo, no hay mas que introducir el aparato en dicho líquido y el número de enrase que señale se divide por 100. Siendo en efecto 100 el volumen del agua desalojada y 70 el del ácido nítrico, 1 la densidad del agua y x la que se busca del ácido, como en igualdad de peso, los volúmenes de dos cuerpos están en razón inversa de sus densidades tendremos.

Para líquidos menos densos que el agua, se lastra el instrumento de manera que el punto 100 que corresponde al agua pura, se halle en la base del vástago; se pone en la parte superior un peso igual a la cuarta parte del peso del aparato, de modo que ahora el total será 125, cuyo número se escribe en el nuevo punto de enrase, dividiendo el intervalo de 100 a 125, en 25 partes iguales, se continúa la división por la parte superior.

Como este densímetro sólo puede utilizarse en grandes cantidades de líquido, no sirve cuando sólo se tiene una corta cantidad de líquido, como sucede muchas veces con

sustancias orgánicas, como la bilis: para estos casos se hace uso del densímetro de Rousseau, que se diferencia sólo del areómetro de Baumé, en que lleva (fig. 78) en el extremo del vástago una capsulita A O donde se coloca el líquido, la cual mide un centímetro cúbico.

El cero de la escala se halla en B, punto en que enrasa en el agua destilada y sus divisiones corresponden a

de gramo o sea 0, gr. 05. Para averiguar la densidad de un líquido se le vierte en la cápsula hasta la señal A y si el aparato en rasa en la 20'5 división, la densidad del líquido será o gr. 05 x 20'5 = 1'025.

Capítulo II

Hidrodinámica

LECCIÓN 24. Hidrodinámica. -Ley de Torricelli. -Salida de un líquido por orificios practicados en pared delgada. Vena líquida. -Contracción de la vena líquida. -Gasto teórico y gasto práctico. -Salida constante. -Salida de un líquido por tubos adicionales. -Surtidores. Unidades de medida para el gasto del agua.

137. Hidrodinámica. -Dejamos dicho que la hidrodinámica tiene por objeto el estudio de los líquidos en movimiento; cuya parte práctica o sean los métodos para la elevación y conducción de las aguas se llama Hidráulica. En el estudio del movimiento de los líquidos se supone, lo mismo que en la Hidrostática, que aquellos son incompresibles y tienen una fluidez perfecta.

138. Ley de Torricelli. -El principio fundamental de la Hidrodinámica, conocido también con el nombre de ley o teorema de Torricelli dice que, la velocidad con que un líquido sale por un orificio practicado en la pared delgada de una vasija, es igual a la que adquiriría un cuerpo cayendo libremente en el vacío de una altura igual a la distancia del nivel hasta el centro del orificio. Esa velocidad, adquirida por un cuerpo que cae de cierta altura, obedeciendo a la acción de la gravedad, es capaz de elevarle a la misma altura de donde procede, velocidad que se halla representada por la fórmula citada (83). El teorema de Torricelli, pues, es una consecuencia de las leyes de la caída de los cuerpos.

Demuéstrase experimentalmente la ley de Torricelli por medio del aparato de Charles, que es una, gran caja prismático-rectangular de cobre (fig. 79) cuya cara anterior es de cristal para poder ver el agua que hay en el interior; lleva en su parte inferior un tubo A en ángulo recto provisto de llave y otras varias piezas para diversas experiencias que no interesan en estos estudios. Abierta la llave salta un surtidor de agua, que se eleva muy próximamente hasta el nivel que el líquido tiene en el interior de la caja.

Dos consecuencias importantes se deducen del teorema de Torricelli; 1.^a Que la velocidad de salida de un líquido es independiente de su densidad. Lo cual es una consecuencia de las leyes de la gravedad, pues que todos los cuerpos caen con igual velocidad. Así el agua, el mercurio y cualquier otro líquido, saldrán con la misma velocidad, siempre que la altura de nivel sobre el orificio sea la misma para todos los líquidos, 2.^a Que la velocidad, en el borde del orificio, es proporcional a la raíz cuadrada de la altura de nivel del líquido en el depósito sobre el centro del orificio.

Si en un depósito la altura sobre el centro del orificio vale a , es decir, el espacio que recorre, esa velocidad será

y para otro depósito

de donde

y suprimiendo el factor común

que es la velocidad teórica.

Ahora bien, en el movimiento de los cuerpos líquidos se pueden presentar varios casos, de los que estudiaremos dos: 1.^o cuando el líquido sale por un orificio practicado en pared delgada; 2.^o saliendo por tubos adicionales cortos o largos.

139. 1.^o Salida por orificios practicados en pared delgada. -Vena líquida. -Si en un vaso de paredes delgadas, lleno de agua, se practica un orificio circular, saldrá un chorro que recibe el nombre de vena líquida, cuya dirección varía según la posición de la pared si ésta forma el fondo de la vasija y es horizontal, la vena es vertical y si la pared es vertical oblicua, la vena toma la forma de una parábola. La vena líquida ofrece varios caracteres y fenómenos que fueron estudiados minuciosamente por Sabart: de ellos se deduce que la vena consta de dos partes; la primera a partir del orificio, está completamente tranquila, es trasparente y parece un cilindro de cristal; la segunda está agitada, es turbia y de trecho en trecho presenta dilataciones que se llaman vientres y angostamientos denominados nodos. Esta segunda porción de la vena no es continua, pues a través de ella, aunque esté

constituida por un líquido opaco, como el mercurio, se distingue la luz de una bujía. Obsérvanse además en la parte diáfana, una serie de anillos casi iguales que naciendo cerca del orificio, se prolongan hasta la parte turbia: estos anillos a manera de vibraciones, son originados por pulsaciones constantes en el orificio de salida y tan rápidas que pueden dar origen a sonidos.

140. Contracción de la vena. -El líquido, que fluye por un orificio circular afecta la forma de un cilindro, pero que no tiene el mismo diámetro en toda su extensión, sino que disminuye algún tanto, llegando a ser sólo dos tercios del diámetro de salida, lo cual origina lo que se llama contracción de la vena líquida. Si la vena asciende verticalmente, la contracción se extiende hasta la parte turbia: si es horizontal el estrechamiento, continúa, de un modo imperceptible y si la vena sale inclinada bajo un ángulo hasta de 45° , no hay apenas contracción y desde 45° hasta la ascensión vertical ya no se contrae, sino que por el contrario, aumenta el diámetro de la vena.

Si en lugar de ser circular el orificio de salida es poligonal, la forma de la vena es la del orificio, si bien cambia a medida que se aleja, pero presentando los mismos vientres y nodos.

141. Gasto teórico y gasto práctico. - Llámase gasto de un orificio en general, la cantidad de líquido que sale por él en un segundo de tiempo. El gasto puede ser teórico y práctico: es gasto teórico, el volumen de líquido igual al de un cilindro o un prisma que tenga por base el orificio y por altura la velocidad, según el teorema de Torricelli; y gasto práctico o efectivo, el volumen de líquido que real y efectivamente se derrama en un segundo. El gasto teórico, pues, es el producto del área del orificio por la velocidad teórica: el gasto práctico es siempre menor que el teórico, ya a causa de la contracción en las paredes delgadas, ya por el rozamiento en los orificios de paredes gruesas. El gasto efectivo solo llega por término medio a los dos tercios del teórico.

142. Salida constante. -Interesa muchas veces tener una salida constante de un líquido, para lo cual es preciso que el nivel de este permanezca invariable. Varios son los medios con que se logra este resultado: 1.º por derrame, haciendo llegar al depósito una cantidad de líquido mayor que la que sale por el orificio, vertiéndose el exceso por los bordes o por un agujero especial; 2.º por el sifón y 3.º por el flotador de Prony. Éste último aparato consta de un vaso cilíndrico o prismático A (fig. 80) que lleva en su fondo o lateralmente una llave B y contiene agua, cuya altura se aprecia por un tubo comunicante: dentro de él hay otro vaso o flotador F enlazado por medio de varillas o tirantes a un depósito situado en la parte inferior. Abierta la llave del depósito, el agua se derrama y cae en la vasija inferior, la que

aumentando su peso desciende y tira del flotador, el cual penetrando más dentro del agua, desaloja un volumen de este líquido igual al derramado, resultando que el nivel de la vasija superior permanece el mismo y por lo tanto la salida del líquido es constante.

143. 2° Salida por tubos adicionales. -Llámanse tubos adicionales los que se colocan en los orificios de los depósitos para aumentar o disminuir el gasto. Su forma varía, aunque por lo común son cilíndricos o cónicos, siendo unos y otros cortos o largos. Si la vena líquida pasa por el tubo sin adherírsele, el gasto no se modifica, pero si hay adherencia entre las paredes del orificio y el líquido, entonces no hay contracción en la vena y el gasto aumenta.

Si el tubo es cilíndrico y su longitud dos o tres veces mayor que su diámetro, el gasto aumenta una tercera parte y el líquido sale a boca llena. Si el tubo es un tronco de cono y se halla aplicado al orificio por la base menor, aumenta el gasto dos o tres veces más que con los cilíndricos de igual diámetro: si el tronco de cono es la aplicado por la base mayor, se puede aumentar una mitad, y por último si son dos troncos de cono unidos por sus bases menores, aumentarán extraordinariamente el gasto. Sin embargo, para unos mismos tubos cónicos el gasto y la velocidad aumentan o disminuyen con el ángulo de convergencia, es decir, en el formado por las prolongaciones de las generatrices opuestas del tronco de cono.

El uso de los tubos adicionales para aumentar el gasto, fue bien conocido de los antiguos romanos, que los colocaban en los orificios de salida del agua, con que la administración pública abastecía las casas de los que gozaban de este privilegio o le pagaban: el abuso fue tal que las leyes tuvieron que imponer penas por este fraude.

Si el líquido ha de derramarse por tubos largos y de gran diámetro, es necesario que estos tengan cierta inclinación o que el líquido se halle sometido a una presión en la base aplicada del tubo.

144. Surtidores. -Son chorros de agua muy delgados que se elevan verticalmente, si el orificio es a en una pared horizontal; o inclinados si la pared es oblicua. La elevación del surtidor es próximamente la del depósito del líquido: sin embargo puede variar por diferentes causas. Los orificios en pared delgada son los que dan surtidores de mayor altura y más transparentes: los tubos adicionales cónicos dan también surtidores transparentes, pero su altura sólo es las ocho o nueve décimas partes, que lo que los elevan los de pared delgada, y los tubos adicionales cilíndricos producen surtidores turbios, en la altura sólo es 0'66, de la que corresponde a los orificios de pared delgada. En general se logra la mayor altura de un surtidor, practicando el orificio de salida o luz en pared delgada, aumentando el diámetro de los tubos según su longitud y procurando que estos tubos no tengan recodos bruscos.

145. Unidades de medida para el gasto del agua. -Varias son las unidades de medida para el agua corriente; la más usadas son la pulgada de fontanero y el real de agua. La pulgada de fontanero es la cantidad de agua que se derrama en 24 horas por un orificio circular de diámetro de una pulgada francesa, con carga de 7 líneas sobre el centro y produce 881 pies cúbicos o 19.365 libras o unos 40.000 cuartillos. El real de agua es la cantidad que se derrama en 24 horas por un orificio, igual al antiguo real de plata de Segovia, de 0 líneas de diámetro con carga de 1 línea sobre el borde y produce cerca de 150 pies cúbicos o 3.206 litros o 6.430 cuartillos.

Capítulo III

Capilaridad

LECCIÓN 25. Fenómenos capilares. -Leyes de los fenómenos capilares. -Causa de la curvatura de las superficies líquidas en los fenómenos capilares. -Fenómenos que se explican por la capilaridad.

146. Fenómenos capilares. -Obsérvanse en el contacto de los cuerpos sólidos y líquidos, unos fenómenos que por tener lugar más preferentemente en los tubos cuyo diámetro es muy pequeño y comparable con el de un cabello, (capillus) han recibido el nombre de fenómenos capilares. La parte de la Física que estudia estos fenómenos se llama capilaridad, aunque también se da este nombre a la causa o fuerza que los produce.

Esta clase de fenómenos pueden reducirse a dos grupos; según que el líquido moje al sólido o no le moje 1.º sí se introduce una lámina de vidrio en el agua, en lugar de permanecer la superficie de esta horizontal, se eleva por las caras de la lámina (fig. 81) tomando una forma cóncava: si en lugar de una lámina se introducen dos paralelas, pero cercanas de modo que las dos curvaturas se toquen, se observa que el agua también se eleva entre las dos, en razón inversa del espacio que las separa: si las láminas forman ángulo, siendo su arista vertical, el líquido se eleva hacia el vértice del ángulo diedro, afectando la forma de una hipérbola equilátera; y por último, si en vez de láminas, se introducen tubos, el agua también asciende, tanto más cuanto menor es su diámetro. 2.º Fenómenos inversos pero sujetos a las mismas leyes se observan cuando los líquidos no mojan a los tubos, por ejemplo, si son láminas o tubos que se introducen en el mercurio; es decir, que en lugar de elevarse el líquido se deprime. (fig. 82) Si en el interior de los tubos mojados el líquido afecta la forma de menisco cóncavo, en los no mojados toma la de menisco convexo. Todos estos fenómenos, en último resultado, son consecuencia de las acciones moleculares atractivas o repulsivas de las moléculas líquidas entre sí y entre estas y las de los sólidos.

147. Leyes de los fenómenos capilares. 1.^a El ascenso o la depresión en el interior de los tubos está en razón inversa del diámetro de los mismos. 2.^a- La elevación varía con la naturaleza del líquido y con la temperatura, pero es independiente de la materia del tubo y del espesor de sus paredes, y 3.^a la depresión varía con la naturaleza de los tubos, aunque estos tengan el mismo diámetro: así en un tubo de hierro de un milímetro de diámetro la depresión es de 1mm 226 y en uno de platino de igual diámetro sólo es de 0'635.

148. Causa de la curvatura de las superficies líquidas. -Fácil es darse cuenta de la forma que afectan las superficies líquidas, teniendo presente la atracción que se manifiesta entre el sólido y el líquido o en las moléculas de este último entre sí. Veamos por qué causa se forma el menisco cóncavo o el convexo. Sea una molécula líquida m en contacto con un cuerpo sólido (fig. 83) que se hallará sometida a tres fuerzas, la gravedad que obra en la dirección de vertical $m G$, la atracción del líquido que ejerce su acción en la línea $m P$ y la atracción del sólido que obra en la dirección $m n$; estas fuerzas tienen una resultante que según su posición, que dependerá de las intensidades de las fuerzas, originará un menisco cóncavo o convexo porque en todos los casos, la superficie del líquido ha de ser normal a esa resultante. (115). En efecto, si la atracción del líquido consigo mismo, o sea la fuerza $m P$ es menor que la que este ejerce sobre el sólido o sea n , la resultante de estas fuerzas será $m R$ y como la superficie del líquido ha de ser normal a la fuerza que solicite sus moléculas, el líquido se elevará afectando la forma cóncava: por el contrario (fig. 84) si la atracción del líquido sobre sí mismo $m P$, es mayor que la del sólido n , la resultante será R y la superficie del líquido que ha de ser normal también, tomará la forma convexa.

Aún queda sin embargo por averiguar cuál es la causa de esas atracciones y repulsiones; en esa parte la teoría, de la capilaridad es una de las más difíciles, teniendo necesidad de acudir al cálculo para poder explicar los fenómenos tan complejos que abraza.

149. Fenómenos que se explican por la capilaridad. -El agua y otros líquidos que ascienden por un terrón de azúcar que solo tenga un punto sumergido; el ascenso también del agua por las paredes colocadas cerca de sitios húmedos; la subida del petróleo, el aceite y los líquidos combustibles por las mechas y torcidas y otros machos, son todos fenómenos que se explican por la capilaridad. Ciertos insectos que corren por la superficie de las aguas sin hundirse, lo verifican por un fenómeno capilar; las patas de dichos insectos están como barnizadas por una materia grasa o aceitosa, el agua no las moja y alrededor de ellas se forma un menisco convexo de bastante resistencia, para poder apoyarse en él el insecto. Por la misma razón, cuerpos metálicos mucho más pesados que el agua, pueden flotar en este

líquido, si antes han sido recubiertos con una capa ligera de grasa, tal sucede con una aguja fina de coser.

150. Ósmosis. Endósmosis y exósmosis. -Siempre que dos líquidos capaces de mezclarse, se hallan separados por una membrana permeable se establecen entre ellos dos corrientes de desigual intensidad, la una que va del líquido más denso al menos denso, y la otra del menos al más denso: la fuerza de impulsión que origina esas corrientes se llama osmosis (del griego osmos empuje o impulsión). La corriente que va del líquido menos denso al más denso, que es más enérgica y hace por lo tanto que el volumen del líquido aumente, se llama endósmosis o corriente entrante (del griego endon dentro, oosmosis impulsión) y la menor que hace disminuir el volumen del líquido, exósmosis o corriente saliente (de exos fuera, oosmosis corriente). Dutrochet que fue el primero que en 1826 dio a conocer en Francia este fenómeno, ideó un aparato para poner de manifiesto estas corrientes que ha recibido el nombre de endosmómetro. El que generalmente se ve en los Gabinetes de Física (fig. 85) consiste en un pequeño vaso V, cuyo fondo está formado por una membrana, dentro de la cual se coloca uno de los líquidos, por ejemplo, alcohol teñido de rojo y se cierra con tapón de corcho atravesado por un tubo largo, que por un extremo penetra en el líquido y el otro termina en un embudo: este tubo está fijo en una tabla que lleva una escala: el vaso se introduce en una vasija que contenga el otro líquido, agua, por ejemplo. Tan pronto como se dispone el aparato, empiezan las corrientes, y al poco tiempo se ve aumentar el nivel en el interior del tubo y que el líquido exterior se tiñe de rojo, lo cual demuestra que ambos líquidos han atravesado la membrana.

La altura a que se eleva el nivel en el tubo del endosmómetro varía con los diferentes líquidos menos denso al que lo es más, con la excepción del alcohol y el éter que respecto del agua obran como líquidos más densos. En general para que se produzcan fenómenos de ósmosis, oía preciso 1.º que los líquidos sean capaces de mezclarse, 2.º que tengan distinta densidad y 3.º que la membrana sea permeable, cuando menos, a uno de ellos.

Varios son las hipótesis propuestas para explicar la endósmosis, pero ninguna de ellas satisface; unos dicen que depende del desarrollo de corrientes eléctricas; otros que no es más que un fenómeno capilar, auxiliado por la afinidad de los líquidos, y algunos en fin, ven la causa en la mayor o menor permeabilidad de las membranas. Un hecho, sin embargo, se observa en estos fenómenos que no relaciona la endósmosis con la capilaridad y es que la temperatura hace más enérgica la endósmosis, pero disminuye los efectos capilares.

151. Difusión. -Llámase Difusión la mezcla espontánea de dos líquidos que no ejercen entre sí acción química, pero cuya naturaleza o grado de concentración son diferentes. Aunque ya fue conocido el fenómeno de la difusión a fines del siglo pasado, no se estudió en todos sus detalles, ni se determinaron sus leyes hasta el año de 1854, por Graham, en Londres. Varias experiencias confirman la difusión; evitaremos una, fundada en el

principio de que los ácidos tienen la propiedad de enrojecer las tinturas azules de los vegetales. En un vaso prolongado se coloca una disolución azul de tornasol poco concentrada y por medio de un embudo largo que llegue hasta la parte inferior, se vierte con cuidado ácido sulfúrico que permanecerá en el fondo y se verá que al cabo de poco tiempo la tintura azul se va enrojeciendo de abajo a arriba y que pasados dos días todo el líquido se ha enrojecido, cual prueba que el ácido se difundió por toda la sustancia colorante.

Grahan halló las siguientes leyes respecto de la difusibilidad. 1.º En igualdad de tiempo la difusibilidad varía de un líquido a otro. 2.º En un mismo líquido la difusión es proporcional a la cantidad de sal en disolución; y 3.º Dos líquidos sin acción química entre sí y desigualmente difusibles, colocados de modo que puedan difundirse, se separan en parte, siendo el más difusible el primero en separarse.

152. Diálisis.- La diálisis (separación) no es más que una aplicación al análisis químico, de la diferente difusión de los líquidos al través de las membranas. Grahan, a quien se debe el conocimiento de la mayor parte de estos fenómenos y que dio a conocer la diálisis en 1867, divide los cuerpos con relación a estos hechos, en dos grupos, cristaloides las sustancias que tienen la propiedad de cristalizar (sales) y coloides las no cristalizables como la goma, la gelatina, la albúmina, que los primeros son muy fluidos, tienen sabor y se difunden fácilmente a través de las membranas; los coloides son viscosos, insípidos y, se difunden difícilmente. El aparato de Grahan para este objeto que denominó dializador (fig. 86) es una modificación del endosmómetro. Consta de una caja cilíndrica a manera de tamiz formada por una guta-percha y cuyo fondo lo constituye una membrana de papel pergamino, es decir, papel sin cola que se ha sumergido por breve tiempo en ácido sulfúrico y se barniza, con una ligera capa de albúmina que se coagula al calor. Colocado en este aparato el líquido que se quiere analizar, se pone flotante en un vaso mayor que contenga agua pura; al cabo de uno o dos días la sustancia se separa y pasa al través del papel pergamino al líquido exterior, pudiendo recogerla, por evaporación.

153. Absorción. -Con la palabra absorción y también imbibición se expresa, la penetración de una sustancia en un cuerpo poroso. Sin embargo hay una diferencia entre ambas palabras, pues la absorción es más genérica y se refiere a la penetración de cualquier sustancia líquida o gaseosa y la imbibición es más específica y sólo se aplica a los líquidos. La absorción de los gases por algunas sustancias porosas, como la del gas hidrógeno por el musgo o esponja de platino, es uno de los hechos más notables y de él hablaremos en Química. En los vegetales la absorción se verifica en general por todas las partes del vegetal, pero muy especialmente por la terminación de las raíces y por las hojas: por estos órganos penetran los elementos líquidos (imbibición) y gaseosos que elaborados luego por la planta, sirven para su nutrición y crecimiento. De la absorción por las raíces de sales disueltas en el agua, se ha hecho una importante aplicación, haciendo penetrar en ese estado

de disolución, materias que comunican al tejido de las maderas colores diferentes, dándoles mayor flexibilidad o dureza. En cuanto a los animales inferiores la absorción se verifica como en los vegetales por una simple imbibición, pero en los de organización más complicada hay una verdadera absorción: la rubia. por ejemplo, con que se alimenta a los animales jóvenes es absorbida penetrando hasta el interior de los huesos, a quienes colora de rojo.

Título III

Mecánica de los gases

Capítulo I

Estática de los gases

(Areostática)

LECCIÓN 26. Caracteres generales de los gases. -Fuerza expansiva. -Peso de los gases. -Analogías y diferencias entre los gases y los líquidos. -Atmósfera. -Presiones que ejerce el aire.

154. Caracteres generales de los gases. -Sabemos (5) que se da el nombre de gases y también fluidos aeriformes a los cuerpos que, por regla general son invisibles y cuyas moléculas dotadas de una gran fuerza, de repulsión, tienden siempre a ocupar mayores espacios. Estos cuerpos han sido hasta ahora clasificados en gases permanentes y gases no permanentes, más semejante distinción es ya inadmisibles, desde que trabajos de actualidad muy recientes han logrado que casi todos los gases dejen de ser permanentes, haciéndolos tomar el estado líquido y no pocos el de sólido: por esto la única división que hoy puede admitirse es la de gases propiamente dichos y vapores. Los primeros conservan su estado de gaseidad a la temperatura y presión ordinaria, y los vapores son fluidos uniformes en que se convierten los líquidos por la acción del calor. Más adelante nos ocuparemos con alguna extensión de los vapores.

Dos propiedades distinguen muy principalmente, a los gases; la, compresibilidad y la elasticidad o fuerza expansiva: la primera es muy notable, pudiendo reducirse a un espacio muy pequeño una cantidad considerable de aire o de otro gas.

La Mecánica de los gases se divide en Estática y Dinámica: la primera o sea la areostática trata del equilibrio y la segunda de su movimiento.

155. Fuerza expansiva. - La expansibilidad, llamada también fuerza expansiva, tensión o fuerza elástica, o sea la facilidad con que los gases tienden a ocupar mayor volumen se demuestra colocando una vejiga medio llena de aire debajo de una campana puesta en la máquina neumática: a medida que se extrae el aire del interior de la campana se observa que la vejiga se hincha, llegando a ponerse completamente tersa, pero recobrando su volumen primitivo tan pronto como se deja penetrar, el aire en la campana.

Admitiéndose en la moderna teoría dinámica del calor que las moléculas de los gases tienen una elasticidad perfecta y que están animadas de una velocidad inicial sumamente rápida, han de dispersarse inmediatamente por el espacio mientras no encuentren obstáculo alguno: consecuencia de esa misma elasticidad perfecta, cuando se hallan contenidos en vasijas cerradas, sus moléculas están en continuo choque entre sí y contra las paredes del vaso. Un volumen, pues, de gas tiene una elasticidad que es proporcional a la fuerza viva (34 a) es decir al producto de la masa de sus moléculas por el cuadrado de su velocidad.

156. Peso de los gases. -Dada la densidad y gran expansibilidad de las frases, pudiera creerse que se extienden y difunden por el espacio sin obedecer a la acción de la gravedad y que por lo mismo no debieran tener peso: tal fue la creencia de los antiguos, sobre todo a consecuencia de la experiencia atribuida a Aristóteles que quiso apreciar el peso del aire, pesando una vejiga llena de aire y después vacía, para lo cual la estrujaba y oprimía convenientemente, resultando que en ambos casos la vejiga pesaba lo mismo: y en efecto, así tenía que suceder, pues según el principio de Arquímedes vejiga, llena de aire pierde de su peso lo que pesa el volumen de aire desalojado y como ese volumen es igual muy próximamente al contenido en el de la vejiga cuando se extrae ese aire y queda vacía, recobra exactamente lo que perdía cuando estaba llena. A pesar de este experimento, se sospechaba que el aire era pesado, pues no se desconocía la resistencia que opone en muchos casos, principalmente cuando se halla agitado. Hoy está fuera de toda duda, después de la de Otto de Guericke, la pesantez del aire y por consecuencia que este cuerpo, como todos los gases, obedecen a la fuerza de gravedad. Para demostrarlo se toma un globo de vidrio (fig. 87) cuyo volumen es siempre el mismo ya esté con aire, ya vacío; este globo lleva una llave para establecer la comunicación con el interior. Hecho en él el vacío por medio de la máquina neumática, se pesa y abriendo luego la llave, se oye un silbido que indica la entrada del aire y el equilibrio se altera en favor del globo que ahora pesa más. Fácil es de esto experimento deducir el peso de un volumen dado de aire como de cualquier otro gas, con que previamente se llene el globo. Conocido el volumen del globo en litros, se obtiene que un litro de aire puro y seco, a cero grados y bajo la presión de 0'm760, pesa 1 gramo y 293 milésimas o próximamente 1 gr. 3 y su densidad con relación al agua se obtendrá dividiendo el peso de un volumen de aire, por ejemplo un litro o sea 1 gr 293 por el peso de un volumen igual de agua, o 1.000 gr. y el cociente 0,001293. será el peso específico del aire o sea 773 veces menor que la unidad, lo que dice que en igualdad de volumen, el aire pesa 773 veces menos que el agua.

157. Analogías y diferencias entre los gases y los líquidos. -Las diferencias entre los cuerpos gaseosos y los líquidos están, en el estado en que se presentan unos y otros y además en la notable compresibilidad de los gases que es muy pequeña en los líquidos; y por último en la expansibilidad natural y propia de los cuerpos en estado de gas y de que carecen en absoluto los líquidos, como no sea que se sometan a una mayor temperatura. Pero a pesar de estas diferencias existen entre unos y otros cuerpos grandes analogías: en ambos se cumple del mismo modo el principio de Pascal, pues si en una vasija llena de aire con varios orificios se coloca en cada uno de ellos un aparato, que indique la presión (175) y se comprime la masa de aire, todos los aparatos acusarán la misma presión: también en los gases se verifica el teorema de Torricelli, así como la contracción de la vena gaseosa; los gases, en fin, como los líquidos ejercen presiones en todos sentidos sobre las paredes de los vasos que los contienen.

158. Atmósfera. -Así como en la Mecánica de los líquidos se toma el agua como tipo para el estudio de las propiedades de estos cuerpos y en ella se observa físicamente es aplicable a todos los líquidos; así en el estudio de los gases es el aire atmosférico o la atmósfera quien sirve para conocer las propiedades físicas de los cuerpos gaseosos, que son las mismas que las del aire.

Llámase atmósfera (del griego atmos vapor o exhalación y sfaira esfera) el conjunto de gases y vapores que envuelve y rodea a la tierra y gira con ella en sus dos movimientos. El elemento principal de la atmósfera es el aire, que los antiguos consideraban como uno de los cuatro elementos en que descansaba toda su filosofía natural; el aire, el agua, el fuego y la tierra; la Química moderna demuestra que el aire es una mezcla de dos elementos llamados oxígeno y nitrógeno o azoe, en las proporciones de

	En peso	En volumen
Oxígeno	23'01	20'80
Nitrógeno	76'99	79'20
	—————	—————
	100'00	100'00

Además forman parte de la atmósfera el ácido carbónico, producto de la respiración de los animales y de las combustiones, vapor de agua, en cantidad variable según los climas y las estaciones y otros varios gases y cuerpos extraños.

A pesar de la gran expansibilidad del aire es ilimitada, pues obedeciendo por una parte a la acción de la gravedad y por otra hallándose en las regiones elevadas una temperatura muy baja, han de encontrarse sus moléculas sumamente contraídas, de donde resulta que aquella fuerza expansiva está superada por otras dos y la atmósfera ha de estar solicitada

hacia la tierra y por lo tanto, no puede extenderse infinitamente: según cálculos y observaciones la altura de la atmósfera es de 60 kilómetros, si bien hay quien, modernamente, atribuye a la atmósfera una altura de 340 kilómetros, admitiéndose que pasado este límite se halla el vacío absoluto.

159. Presiones que ejerce el aire. -Siendo el aire grave o pesado necesariamente ha de ejercer presiones sobre todos los cuerpos en él colocados: presiones que pueden reducirse a presión de arriba abajo, de abajo arriba y lateralmente. La presión de arriba abajo se demuestra, entre otras experiencias, por la que se conoce con el nombre de rompe-vejigas, cuyo aparato es un cilindro o vaso de vidrio abierto por sus dos bases, una de las cuales lleva un reborde donde se ata un trozo de vejiga bien tensa y por el otro extremo se aplica a la platina de la máquina neumática extrayendo el aire de su interior, la presión atmosférica obrando de arriba abajo, comprime la membrana, que, se pone cóncava, hasta, que se rompe, produciendo, una detonación a causa de la entrada brusca del aire. La presión de abajo arriba se manifiesta cubriendo con una hoja de papel la boca de una copa o vaso de vidrio que esté llena de agua; aplicando suavemente la mano sobre el papel e invirtiendo la copa, se puede retirar la mano sin que el líquido se derrame. La presión lateral se comprueba por medio de un frasco con tapón esmerilado que lleva en la pared lateral una abertura que puede estar cerrada con un tapón. Lleno el frasco de agua se quita este tapón lateral y el líquido no se derrama y para que tal suceda es preciso abrir la boca superior, en cuyo caso destruida la presión lateral por la de arriba abajo, el líquido sale, obedeciendo a la acción de la gravedad. Por fin el aire ejerce presiones en todos sentidos, como lo demuestra concluyentemente el experimento de los hemisferios de Magdeburgo (fig. 88) así llamados de la ciudad donde los inventó Otto de Guericke. Sea dos hemisferios huecos, de cobre, uno de los cuales lleva un reborde saliente en el que va colocada una rodaja estrecha de cuero impregnada de grasa para que ajusten bien: uno de los hemisferios va provisto de una llave y el otro de un anillo o asa. Puestos en contacto se atornillan en la máquina, neumática y hecho el vacío, cerrada la llave y destornillados de la máquina, no podrán separarse, sea cual fuere su posición, a no ser empleando un esfuerzo extraordinario, lo cual prueba la presión en todos sentidos.

LECCIÓN 27. Medida de la presión atmosférica. -Barómetro. -Valor de la presión atmosférica en kilogramos. -Diferentes clases de barómetros. -Barómetro de cubeta. -Íd. de Fortín. -Íd. de Winkelmann.

160. Medida de la presión atmosférica. -Demostrado que el aire es un cuerpo pesado y que la atmósfera ejerce presiones en todos sentidos, se trató de averiguar cuánto es el valor de esa presión y débese al ilustre Torricelli ya citado, año de 1643, un experimento concluyente que da con exactitud la medida de la presión atmosférica. Tomó este físico un tubo de unos 90 centímetros de longitud (fig. 89) por 6 ó 7 milímetros de diámetro, abierto por uno de sus extremos; lo llenó de mercurio y cerrando con el dedo la extremidad abierta,

lo invirtió e introdujo en una cápsula o cubeta C que contenía también mercurio: separando el dedo puso observar que una pequeña porción del mercurio contenido en el tubo, descendía a la cubeta, quedando en el interior, una columna mercurial próximamente como A B.

De esta experiencia dedujo Torricelli que el mercurio se mantenía en el interior del tubo por la presión atmosférica de arriba abajo, obrando sobre la superficie del líquido contenido en la cubeta; ni más ni menos que sucede en los tubos comunicantes que contienen líquidos de distinta densidad; en el caso actual el cuerpo de mayor densidad es el mercurio y su altura ha de ser menor que la correspondiente al aire en razón inversa de sus densidades. Por otra parte, este experimento era una prueba decisiva de las ideas teóricas, ya manifestadas por Torricelli a propósito de las cuestiones suscitadas en su tiempo acerca de la elevación del agua por medio de las bombas, de lo cual hablaremos en breve.

Conocida en el mundo sabio esta sencillísima, pero preciosa experiencia de Torricelli, se reprodujo empleando otros líquidos, y en todos el resultado fue el mismo. Uno de los físicos que con más afán repitieron la experiencia poniendo el aparato en condiciones de diferente altura, fue el célebre Pascal, quien dijo que si la presión atmosférica era la causa de que el mercurio se mantuviera en el interior del tubo, si esa presión disminuye, como sucedería elevándose en una montaña, la columna, mercurial también disminuiría o descendería en una cantidad proporcional. Al efecto se dirigió a su cuñado Perier para que repitiera la experiencia en el Puy. de Dome, montaña, de la Aubernia, y el 20 de Setiembre de 1618 practicó este el ensayo y observó que la columna de mercurio había descendido 3 pulgadas y 1 línea, pues mientras en la falda de la montaña era de 26 pulgadas y 3 líneas, en lo alto sólo se elevaba a 23 y 2 líneas. Pascal repitió en París el experimento al pie y en lo más elevado de la Torre de Santiago y encontró una diferencia de más de dos líneas entre ambos puntos.

161. Barómetro. -La experiencia de Torricelli, que como se ve es el medio de conocer la presión atmosférica, dio origen a ese importante instrumento del que tanto uso se hace conocido con el nombre de Barómetro (del griego aros pesantez y metron medida); es, pues, el barómetro un aparato destinado a medir la presión que ejerce el aire en un punto cualquiera de la tierra.

162. Valor de la presión atmosférica en kilogramos. Representando la columna de mercurio del tubo de Torricelli la presión atmosférica, fácil es averiguar cuánta es esa presión en kilogramos, para una superficie dada. Suponiendo que la altura del mercurio es de 76 centímetros y la sección inferior del tubo 1 centímetro cuadrado, el volumen del mercurio que es un cilindro, será igual a 76 centímetros cúbicos: pesando el centímetro cúbico de mercurio, comparado con el del agua, 13 gr. 6, el peso total del mercurio es $13'6 \times 76 = 1.033$ gram. o un kilogr. 33 gram., lo cual dice que sobre cada centímetro cuadrado,

el aire atmosférico ejerce una presión de 1 kilogr. y 33 gramos; luego sobre un decímetro cuadrado, la presión es de 103 kilogr. 300 gr. y sobre un metro cuadrado, vale 10.500kilógr. Esta presión de una atmósfera cuando el barómetro señala 76 centímetros de altura, es la unidad de medida para las presiones que ejercen los gases y vapores. Así las paredes de una vasija que contengan un gas o un vapor, sufren sobre cada centímetro cuadrado la presión de 1 kilogr. 33 gr. si la presión es de una atmósfera y de 2, 3 kil. 33 gr. etc. si la presión es de 2, 3, etc. atmósferas.

163. Diferentes clases de barómetros. -Rigurosamente no hay más que dos clases de barómetros de mercurio, el de cubeta y el de sifón, siendo los que se conocen con nombres diferentes modificaciones más o menos importantes del primitivo barómetro y basados todos en la experiencia de Torricelli. Además se construyen barómetros sin mercurio y llamados metálicos, como el de Bourdon.

164. Barómetro de cubeta. -Es el primer barómetro conocido, no siendo otra cosa que el aparato o tubo de Torricelli. El mercurio que se emplee en la construcción del barómetro ha de ser perfectamente puro y bien seco, el tubo que tiene de 85 a 90 centímetros de longitud, ha de quedar completamente privado de aire y humedad, cuando se llene de mercurio, de lo contrario pasando a la parte superior del tubo ejercerán presión sobre el mercurio y le harán descender. A fin de evitar que esto pueda suceder, se pone mercurio en el tubo hasta la tercera parte e inclinándole se hace hervir con objeto de expulsar el aire y la humedad; se pone luego otra tercera parte y se hierva nuevamente y así hasta que lleno todo el tubo, se tapa con el dedo y se invierte en la cápsula o cubeta que contiene mercurio; separado el dedo sucede lo que en el experimento de Torricelli. La porción superior del tubo que queda completamente vacía al descender el mercurio, se llama cámara barométrica o vacío de Torricelli. Este aparato se fija en una tabla de madera. (fig. 90) Conócese que el vacío es perfecto en la cámara, cuando dándole un movimiento suave de descenso el mercurio choca con la parte superior y produce un sonido seco y metálico como en el martillo de agua. (81)

Para conocer las variaciones de la columna de mercurio, es decir, lo que asciende o descende según que la presión del aire aumente o disminuya, lleva el barómetro una escala dividida en pulgadas y líneas o en milímetros y fracciones de milímetro que se aprecian por medio de un vernier. El cero corresponde con el nivel del mercurio en la cubeta, pero como este nivel varía, pues unas veces pasa parte del mercurio al tubo y otras cae de éste a la cubeta la forma de ésta ha de ser tal, para que el cero sea invariable, que en gran superficie contenga la menor cantidad posible de mercurio, por ejemplo la de un cilindro cuya altura sea igual al diámetro de la base; de este modo las variaciones son menos sensibles, pero aún así no se evita por completo este error, lo que sólo se logra en los barómetros de fondo o escala móviles.

Llábase altura barométrica, en cualquiera clase de barómetros, la distancia vertical del cero o sea el nivel del mercurio en la cubeta, hasta el del tubo. La altura media del barómetro al nivel del mar es de 760mm y en uno de agua sería de 10m 33.

165. Barómetro de Fortin. -Hemos dicho que hay error en las alturas que señala el barómetro de cubeta a causa de variar constantemente el cero de la escala y a este inconveniente se agrega la dificultad de trasportarle, porque el aire puede fácilmente penetrar en el vacío de Torricelli. Estos inconvenientes se evitan con el barómetro de Fortin. Es también de cubeta, pero está dispuesta de un modo ingenioso; (fig. 91) su fondo es movable, formado por una piel de gamuza que puede subir o bajar por medio de un tornillo T; en la parte superior hay una punta de marfil A, a cuyo extremo corresponde el cero de la escala de modo que en todas las observaciones ha de enrasar con el nivel del mercurio de la cubeta: el tubo barométrico va encerrado en un estuche de metal que lleva dos aberturas longitudinales, para ver el nivel del mercurio y en el cual está trazada la escala en milímetros y un vernier movido por una rosca D aprecia fracciones de milímetro. Para hacer una observación, si la punta de marfil está al aire y no toca a la superficie del mercurio, se da vueltas sobre la derecha al tornillo del fondo de la cubeta, de modo que elevándose asciende el mercurio hasta que enrasa con la punta, entonces se mide la altura en el tubo por medio de la escala; si la punta estuviera cubierta, por el mercurio, por haber descendido desde el tubo a la cubeta, se hace girar el tornillo sobre la izquierda, el fondo baja y el mercurio deja al descubierto la punta y se enrasa.

Cuando el barómetro se quiere trasportar, se mueve el tornillo de modo que el fondo se eleva hasta que cubeta y tubo estén llenos de mercurio, en cuyo caso, ni penetra el aire, ni hay temor de que se rompa el tubo por el choque del metal líquido. Como el barómetro en las observaciones ha de estar perfectamente vertical, se le suspende por un anillo que lleva el estuche en la parte superior o bien se coloca en un trípode que sostiene una suspensión de Cardán, formada por dos anillos concéntricos por cuyo interior pasa el estuche del barómetro, el cual se fija por medio de dos tornillos en uno de los anillos, y éste, por otros dos, cuya posición es perpendicular a la de los primeros, está unido al segundo anillo, de modo que aunque oscile el barómetro él mismo viene a la posición vertical.

166. Barómetro de Winkelmann. -Cuando el barómetro no ha de trasportarse, es decir, ha de servir para observaciones en un mismo punto o localidad, es preferible al barómetro de Fortin, el del constructor Winkelmann, pues la gamuza del fondo de aquel puede alterarse principalmente por el calor que la agrieta y el mercurio se derrama. El barómetro de Winkelmann tiene el fondo de la cubeta fijo y la punta de marfil donde se supone el cero, movable: ésta se halla unida a la escala que se mueve a lo largo del estuche que encierra el tubo por medio de una barra dentada que engrana en un piñón; para hacer una observación, se mueve la escala y por consecuencia la punta, de modo que enrase con el mercurio.

LECCIÓN 28. Barómetro de sifón. -Íd. de cuadrante. -Íd. de Bourdon. -Íd. aneroide. - Correcciones barométricas. -Oscilaciones barométricas. -Aplicaciones.

- I -

167. Barómetro de sifón. -Un tubo de vidrio encorvado (fig. 92) con dos ramas desiguales, la mayor cerrada y la menor corta, ancha y abierta y que hace el oficio de cubeta; tal es el barómetro de sifón: el cual ha sido modificado por Gay-Lussac, a fin de hacer sus indicaciones más exactas y poder trasportarle sin que se altere. Al efecto reunió las dos ramas por medio de un tubo capilar de modo que cuando se invierte queda todo el tubo lleno de mercurio en virtud de la capilaridad; aún así un golpe demasiado brusco, puede hacer que se divida la columna en el tubo capilar, entrando entonces el aire. Para evitar este último inconveniente, Buntzen introdujo una nueva modificación por la cual el tubo capilar en vez de ser como una continuación de la rama larga, se halla soldado a otro de gran diámetro, en el que penetra dicha rama que termina en punta afilada; con lo que aún cuando pasen burbujas de aire al tubo capilar, no pueden atravesar por la punta muy fina del tubo barométrico. La rama corta en uno y otro barómetro está cerrada, pero tiene un pequeño orificio lateral por el cual obra el aire. Lleva este barómetro dos escalas que tienen el cero común en la parte media del tubo, la una hacia la rama larga y superior y la otra en la rama corta: sumando los dos números que indican el nivel en ambas ramas, se obtiene la altura total.

168. Barómetro de cuadrante. -Una especial y sencilla disposición en el barómetro de sifón, dio origen al barómetro muy generalizado hasta hace poco tiempo y conocido con el nombre de barómetro de cuadrante, debido a Hooke (Roberto) físico inglés que vivía en el último tercio del siglo XVII Es un barómetro de sifón fijo en una tabla: (fig. 93) encima de la rama corta hay una polea de doble carril por el cual pasa dos veces una seda que en un extremo lleva un pequeño flotador, que se apoya en el mercurio y en el otro un contrapeso. En el centro de la polea se halla fija una aguja que se mueve con ella sobre un cuadrante, donde además de una escala circular dividida en pulgadas y líneas, están escritas las palabras Buen tiempo, Variable, Lluvia, etc. Cuando el barómetro baja, es decir disminuyendo la presión, el mercurio desciende en la rama larga y se eleva en la corta; el flotador es empujado por el líquido y el contrapeso hace girar la polea y con ella la aguja que se dirige hacia Variable o Lluvia: si por el contrario el barómetro sube o la presión aumenta, desciende el mercurio en la rama corta, baja el flotador, hace moverse la polea y la aguja señala Buen tiempo, etc.

169. Barómetro de Bourdon. -Un barómetro notable por su pequeño volumen; su sensibilidad y que no está expuesto a los contratiempos y roturas de los de vidrio y mercurio, es el barómetro metálico de Bourdon, que está fundado en el principio siguiente: si en un tubo de paredes flexibles y elásticas arrollado en espiral se ejerce una presión sobre las partes exteriores, se arrolla o cierra más, pero si la presión disminuye, se desarrolla en virtud de su elasticidad. Consiste, pues, (fig. 94) en un tubo de latón de paredes aplanadas, delgadas y flexibles en el cual se ha hecho el vacío: hállase fijo por el centro formando casi un círculo; en sus extremos lleva dos palancas 11' que se articulan a un arco de rueda dentada que engrana en un piñón en cuyo centro se halla fija una aguja, que puede girar sobre un cuadrante parecido al del barómetro de Hooke. El tubo y la aguja se hallan dentro de un estuche de metal de más o menos lujo. Si la presión aumenta, el tubo se arrolla y la aguja marcha de izquierda a derecha y si disminuye, el tubo se desarrolla y la aguja gira en sentido contrario. Este barómetro ha venido a sustituir al de cuadrante y su uso se ha extendido mucho.

170. Barómetro aneroide. -Llámase así y también barómetro holostérico, un barómetro metálico fundado en el mismo principio que el anterior con la diferencia en su construcción, de que en lugar de tubo es una caja metálica hueca y hecha en ella el vacío, de paredes muy delgadas y acanaladas para que sean más flexibles. A fin de que la presión atmosférica no comprima demasiado las paredes y las inutilice, se hallan sostenidas por un muelle que termina en una masa dispuesto convenientemente: los movimientos de las paredes producidos por la presión del aire, se transmiten por medio de palancas a una aguja que gira sobre un cuadrante, como en el barómetro de Bourdon.

171. Correcciones barométricas. -Las indicaciones del barómetro no son rigurosamente exactas, pues hay causas que hacen que la altura de la columna de mercurio sea mayor o menor de lo que corresponde a la presión atmosférica. Es, pues, indispensable hacer algunas correcciones en la altura hallada en cada observación barométrica. Estas correcciones se refieren a la capilaridad, la temperatura y la altura del instrumento sobre el nivel del mar.

A. Corrección de capilaridad. -El mercurio en todos los barómetros de cubeta sufre una depresión mayor o menor según el diámetro, por efecto de la capilaridad, (146) a no ser que el diámetro sea excesivo, por ejemplo de unos tres centímetros. Esa depresión depende no sólo del radio interno del tubo, sino que para un mismo tubo varía con la altura de la flecha, es decir, la distancia de la base del menisco hasta el vértice, según que aquel se forme en el ascenso del mercurio o en el descenso. Conocido el diámetro del tubo, se anota para siempre y medida la altura del menisco, se determina la corrección que corresponde por medio de tablas, como la de Delcros, leyendo en la intersección de las columnas vertical y horizontal y el número que señale indica la corrección que es siempre aditiva.

Así para un diámetro de 8mm y altura del menisco de 0'6, la corrección es de 0'35. En el barómetro de sifón se evita la capilaridad y por lo tanto la corrección, dando igual diámetro a ambas ramas.

B. Corrección de temperatura. -Como el calor contrae o dilata el mercurio, según que la temperatura aumente o disminuya, su densidad varía y la altura no será la misma para presiones iguales: hay que reducir, pues, dicha altura a una temperatura constante y se ha convenido que sea la de cero grados. Para hallar la temperatura, los barómetros llevan un termómetro lo más próximo posible al tubo barométrico y por medio del cálculo se hace la corrección; si bien para simplificar éste hay unas tablas de fácil manejo que pueden verse en cualquiera de los Anuarios del Observatorio de Madrid.

Esa corrección es sustractiva cuando la temperatura es superior a cero° y aditiva en el caso contrario.

C. Corrección de la altura sobre el nivel del mar. Cuando las observaciones barométricas hechas en distintos lugares han de compararse entre sí, como sucede con las verificadas en las varias Estaciones meteorológicas de un país, es necesario que todas las indicaciones se refieran a una misma elevación, o como si todos los barómetros estuviesen colocados al mismo nivel en la atmósfera. Para lograr esto es preciso hacer la correspondiente corrección por medio de una fórmula que insertan los Anuarios meteorológicos. Por esta corrección se supone que todas las observaciones se hacen al nivel del mar.

172. Oscilaciones barométricas. -La altura de la columna barométrica no solo varía, por muy diferentes causas, de un día a otro, sino a veces en un mismo día: esas oscilaciones pueden referirse a dos clases: oscilaciones accidentales y oscilaciones diurnas. Las primeras son muy irregulares y dependen de las estaciones, los vientos, etc., y las segundas son constantes, pues se verifican periódicamente, observándose dos oscilaciones extremas a determinadas horas, durante el día; una máxima y otra mínima y otras dos durante la noche, principalmente en las regiones intertropicales, pues en los demás climas, las variaciones accidentales perturban algo las oscilaciones periódicas diurnas y no pueden tan fácilmente observarse. En aquellas latitudes las dos máximas se verifican a las diez de la mañana y diez de la noche y las mínimas a las cuatro de la madrugada y de la tarde; de modo que bien pueden compararse esas presiones mayores y menores de la atmósfera a las marcas, pues el océano atmosférico produce también su flujo y reflujo.

Cuando se quiere tener la altura media del día se suman las observaciones hechas durante ese periodo y se dividen por el número de ellas: sumando las medias diarias del mes y dividiendo por 30 ó 31 se obtiene la media mensual y con la suma de las doce medias de los doce meses y dividiendo por este número, se obtiene la media anual y asimismo se hallará la media de un quinquenio o de un decenio.

173. Aplicaciones. -Interesantes son las aplicaciones de este aparato. Sirve, como hemos dicho, para determinar la presión que ejerce el aire en un punto dado. Se emplea también para conocer los cambios atmosféricos y para la medición de alturas, siendo entonces un verdadero instrumento geodésico.

A. Indicaciones del barómetro respecto al estado del cielo. -Esta aplicación no puede considerarse en absoluto como cierta, pues en rigor el barómetro sólo da a conocer el peso 15 la presión del aire: pero sin embargo, como las condiciones de la atmósfera en su temperatura, humedad, etc. le dan una mayor o menor densidad, al obrar sobre el barómetro un mismo estado de la atmósfera, producirá siempre los mismos efectos de ascenso o de descenso del mercurio: Por eso las observaciones repetidas en una misma comarca y hasta para una misma latitud, pueden llegar a ser, de una manera general, indicaciones bastante buenas para predecir los cambios del tiempo. Concretándonos a nuestra península diremos que se ha observado que cuando reinan los vientos del S. o del S. O. que son cálidos y por consiguiente ligeros, pesan poco sobre el barómetro y éste baja, pero como se impregnan de humedad al atravesar el océano, que depositan o condensan en nuestros bosques y terrenos, producen la lluvia. Por el contrario; los vientos del N. y N. E. son fríos, densos y pesados y hacen subir el barómetro, pero como para llegar hasta nosotros tienen que atravesar extensos continentes, se secan y absorbiendo más tarde la humedad y por lo tanto las nubes, despejan el cielo y ocasionan el buen tiempo. De aquí que un ascenso en el barómetro sea indicio de buen tiempo y un descenso, de mal tiempo; a no ser que la subida del mercurio sea producida por hallarse el aire sumamente cargado de vapor acuoso o humedad y por consiguiente muy pesado, en cuyo caso el barómetro sube, pero el cielo se halla cubierto y excesivamente húmedo. Las oscilaciones bruscas son indicio de mal tiempo o viento.

B. Medición de alturas por el barómetro. -Disminuyendo la presión del aire a medida que se asciende sobre el nivel del mar, el barómetro irá bajando en una cantidad proporcional a la altura y lo contrario sucederá si se desciende debajo de aquel nivel, en el interior de los pozos y galerías subterráneas. He aquí que, por el número de milímetros que el barómetro baje o suba se podrá saber la altura o la profundidad a que se haya llegado; aplicación importantísima del barómetro que le hace a veces tan recomendable como los más delicados aparatos geodésicos y usado en ocasiones con más ventaja que estos. En efecto si se supone la densidad del aire uniforme o que disminuye siempre en una cantidad constante en las diferentes capas, fácil sería averiguar la altura con sólo ver el descenso del barómetro, pues siendo la densidad del aire 10.466 veces menor que la del mercurio, si el barómetro, en una altura dada, desciende 1mm indicará que la densidad del aire ha disminuido en una cantidad representada por el peso de una columna de 10'm 466 que será la altura a que se ha elevado. Si desciende 2, 3... milímetros, la altura será de 2, 3... veces 10'm 466. Mas el fenómeno no sucede con tanta sencillez y regularidad, pues la densidad del aire va siendo cada vez menor hacia las partes superiores de la atmósfera, pero sin ley determinada y por lo tanto, las consideraciones aritméticas anteriores sólo son ciertas para pequeñas alturas. Sin embargo, merced a observaciones detenidas y cálculos minuciosos se

ha podido obtener una fórmula general bastante complicada, cuyas operaciones se facilitan mucho por medio de hablas calculadas al efecto, que figuran en los citados Anuarios. La fórmula de Babinet, para alturas menores de 1.000 metros es sencilla.

D es la diferencia de nivel entre los dos puntos de observación inferior y superior y por consecuencia la altura en metros que se busca: A y a las alturas barométricas de las dos estaciones inferior y superior y T y t las temperaturas de las mismas.

Cuando la altura no es excesiva, las observaciones pueden hacerse por una sola persona y con un solo barómetro; pero si es grande, lo efectúan dos, provistas de dos barómetros que marchen exactamente, o cuya pequeña diferencia se conoce. Colocados los dos observadores uno en la parte baja y otro en la elevada hacen la observación del barómetro del termómetro a la misma hora.

LECCIÓN 29. Ley de Mariotte. -Manómetros. -Manómetro de aire libre. -Íd. de aire comprimido. -Íd. metálico de Bourdon. -Aplicaciones.

174. Ley de Mariotte. -En igualdad de temperatura el volumen de un gas está en razón inversa de la presión que sufre y su densidad y elasticidad en razón directa de la misma fuerza. Esta ley establecida en el siglo XVII, por el físico francés Mariotte, ha servido como de fundamento para determinar la fuerza, elástica de los gases y vapores. Para demostrarla se emplea un sencillo aparato que se llama tubo de Mariotte, que es en efecto un tubo de vidrio en forma de sifón (fig. 95) cuya rama corta está cerrada y la mayor abierta. Colocado verticalmente en una tabla, lleva dos escalas, cuyos ceros se hallan en la misma línea horizontal, una correspondiente a la rama menor que indica partes de igual capacidad y la otra en la rama larga dividida en centímetros. Viértese mercurio de modo que llegue hasta la línea de los dos ceros, en cuyo caso el aire que queda encerrado en la rama corta está sufriendo la presión de una atmósfera, es decir, la presión del aire que obra, por la rama abierta sobre el mercurio: si ahora se derrama más mercurio en la rama mayor (fig. 96) hasta que el aire encerrado en la pequeña se reduzca a la mitad de su volumen C B, se verá que la columna de mercurio colocada en la rama larga A representa la altura del barómetro en el momento de la experiencia: de donde se deduce que el aire q ne antes sufría la presión de una atmósfera, tenía un volumen como uno y ahora con dos atmósferas de presión, representadas una por la columna de mercurio y la otra por la ordinaria del aire, el volumen es como 1/2; y si el tubo fuese suficientemente largo que permitiera añadir otra columna de mercurio igual a la anterior, en cuyo caso la presión sería de tres atmósferas, el volumen del aire se reduciría a 1/3; de donde las presiones y los volúmenes del aire guardan la siguiente relación:

Presiones...

1 -2 -3 -4...

Volúmenes...

Para comprobar la ley en presiones inferiores a una atmósfera, se hace uso del aparato llamado barómetro de cubeta profunda. (fig. 97) Colócase mercurio en el tubo barométrico, graduado A hasta las dos terceras partes, quedando en la otra aire, se tapa con el dedo, se invierte y se coloca en la cubeta larga B que contiene mercurio y separando el dedo, se sumerge el tubo hasta que el líquido tenga el mismo nivel en su interior y en la cubeta y se lee en la escala del tubo cuánto es el volumen del aire encerrado; entonces se levanta el tubo, (fig. 98) el aire se dilata y llegando a ocupar un volumen doble que antes, el mercurio que se ha elevado en el interior del tubo hasta C acusará la mitad de la presión atmosférica que el barómetro ordinario señale en aquel momento; luego sufriendo el aire la presión de media atmósfera, su volumen se ha duplicado; y si se saca más el tubo de modo que el volumen de aire se haga tres veces mayor, la presión estará representada por un tercio de atmósfera; de modo que cuando la presión es 1, el volumen del aire es 1, y si la presión es de media atmósfera, el volumen del aire es doble y así sucesivamente.

Presiones...

Volúmenes...

1 -2 -3 -4...

De estas experiencias se deduce que la densidad del aire aumenta cada vez más a medida que el volumen disminuye, lo cual constituye el principio de que, para una misma temperatura la densidad de un gas es proporcional a la presión que sufre. De modo que siendo la densidad del aire a la presión de una atmósfera, como hemos visto (156), 773 veces menor que la del agua, a una presión de 773 atmósferas, el aire reducido en su volumen, tendría la misma densidad que el agua, siempre que a esa presión aún fuera gaseoso.

La ley de Mariotte que se ha tenido como exacta, no lo es sin embargo para todas las presiones, pues según las experiencias y los cálculos de Dulong y Arago, verificadas con motivo de los trabajos de Despretz sobre la diferente compresibilidad de los gases, se ha encontrado que a grandes presiones se separan algo de lo consignado en la ley de Mariotte; pero que no siendo las presiones extremadas, las diferencias entre el enunciado teórico y el resultado de las experiencias, son bastantes pequeñas, para poder prescindir de ellas.

175. Manómetros. -Reciben el nombre de manómetros, (del griego manos tenso y metron medida) los aparatos destinados a medir la tensión o presión que ejercen los gases y vapores cuando ésta es superior a la de una atmósfera. Tres son los principales; el manómetro de aire libre, el de aire comprimido y el metálico de Bourdon.

176. Manómetro de aire libre. -Consta este manómetro de un tubo largo de vidrio A C encorvado en forma de sifón (fig. 99); su rama corta llena de mercurio se pone en comunicación con el gas o el vapor, cuya tensión se desea conocer, el cual obrando sobre el mercurio le eleva en la rama larga, que se halla graduada en atmósferas, es decir, de 76 en 76 centímetros, o simplemente 2, 3, 4 atmósferas: de modo que cuando el nivel del mercurio se halla en el cero, la tensión es la ordinaria de la atmósfera; si se eleva el mercurio a 76 cent. tiene dos atmósferas de tensión, si a dos veces 76 cent. tres atmósferas y así sucesivamente. Este aparato tiene el gran inconveniente de que a poco que aumenten las tensiones, es preciso, dar al tubo una longitud desmesurada, lo que es expuesto a que se rompa y embarazosa su colocación.

177. Manómetro de aire comprimido. -Compónese este aparato (fig. 100) de un tubo de vidrio de 60 a 70 centímetros que se halla sólidamente fijo en una cubeta de hierro C que contiene mercurio y lleva un tubo lateral a con llave, el cual se pone en comunicación con el depósito de gas o vapor cuya tensión se ha de medir. El tubo manométrico está lleno de aire y se gradúa por comparación con otro análogo. Cuando la presión es de una atmósfera, el mercurio tiene el mismo nivel en el tubo lateral y en la cubeta; pero si el gas o vapor que penetra por el tubo lateral tiene la tensión de dos, tres, etc. atmósferas, el mercurio se eleva hasta la división 2, 3 etc., reduciéndose en consecuencia el volumen del aire encerrado en el tubo, según la ley de Mariotte. Este manómetro tiene el inconveniente, como el anterior, de ser de vidrio y además las últimas divisiones están tan juntas, que difícilmente pueden leerse; todos estos inconvenientes se evitan con el manómetro metálico.

178. Manómetro metálico de Bourdon. -Este sencillo aparato está fundado en el mismo principio que su barómetro (169). Consta de un tubo metálico arrollado en espiral (fig. 101) que por uno de sus extremos comunica por medio de un tubo con llave, con el depósito del gas o vapor y el otro lleva una aguja que puede correr en un arco de círculo dividido generalmente de 1 hasta 6 ó 10 que representan atmósferas. Esta graduación se hace por comparación con un manómetro de aire comprimido. Hallándose el tubo lleno de aire y sometido a la presión ordinaria, la aguja señala 1 atmósfera, pero si se deja penetrar el vapor obrando sobre las paredes interiores del tubo, le desarrolla y la aguja corre por encima del arco graduado, indicando el número de atmósferas de presión que tiene el vapor. Este manómetro ha sido modificado por Desbordes, sustituyendo el tubo por una lámina de acero muy elástica y haciendo obrar el vapor sobre una especie de pequeño émbolo que trasmite la presión a la lámina.

179. Aplicaciones. -Interesante es el conocimiento de las presiones que producen los gases y vapores, principalmente del vapor de agua en su aplicación a las máquinas llamadas de vapor, pues de ese modo se puede apreciar el efecto útil que desarrollan; de ahí la gran importancia de estos aparatos, siendo sobre todos el más apreciado el metálico de Bourdon, porque ofrece la notable circunstancia de no ser nada frágil y poderse instalar fácilmente: por eso hoy se encuentra este manómetro en casi todas las máquinas de vapor fijas y sobre todo en las locomotoras.

LECCIÓN 30. Aparatos fundados en la presión atmosférica. -Bombas. -Bomba aspirante. -Ídem impelente. -Íd. aspirante-impelente. -Bomba de efecto continuo. -Bomba de incendios. -Pipeta. -Fuente intermitente. -Sifón.

180. Aparatos fundados en la presión atmosférica. Bombas. -Entre los diversos aparatos que están fundados en la presión atmosférica, figuran en primer término por su importancia y numerosas aplicaciones, las bombas o sean máquinas destinadas a elevar los líquidos o lanzarlos a distancias mayores o menores. Si el líquido que se eleva o impulsa es el agua, estos aparatos se llaman entonces bombas hidráulicas. La teoría física de las bombas es sencilla y fácil de comprender: en lo antiguo hasta la época de Galileo, se atribuía la elevación del agua en el interior de las bombas a que la naturaleza tenía horror al vacío; principio inexacto, pues tal fenómeno es simplemente un efecto de la presión atmosférica como demostraremos. Tres clases de bombas se conocen; bomba aspirante bomba impelente y bomba aspirante-impelente.

Varios elementos entran a formar una bomba, 1.º el cuerpo de bomba que es un cilindro hueco de metal, generalmente de hierro; 2.º el émbolo que algunos llaman pistón, palabra que se ha generalizado bastante, que es un cilindro de poca altura horadado o macizo según los casos, de hierro o de madera forrado de cuero o estopa que ajusta, exactamente al cuerpo de bomba en cuyo interior se mueve; 3.º las válvulas, discos o piezas cónicas o esféricas que cierran y abren los orificios de comunicación de los émbolos o cuerpos de bomba con el tubo que aspira o eleva el agua; son de tres clases de charnela, cónicas o de bolas.

Las primeras están forradas de cuero en su parte inferior para que ajusten bien a la abertura que han de cerrar y articuladas en un punto por un gozne o charnela, las cónicas son conos truncados de metal que cierran aberturas de la misma forma y cuyo movimiento, cuando abren o cierran los orificios está limitado por diferentes medios, siendo el más común el de colocar en la válvula una varilla que pasa por una brida y termina en un tope, de modo que además de abrir solo lo necesario el orificio al cerrarle no se inclina lateralmente encajando en él exactamente y por fin las válvulas de bola consisten en una esfera metálica, que ajusta a un orificio semi-esférico de menor diámetro, limitándose también su movimiento por medio de unas varillas arqueadas de poco más altura que la esfera.

181. Bomba aspirante. Esta bomba tiene por objeto elevar los líquidos de un depósito cualquiera.

Consta (fig. 102) de un cuerpo de bomba c provisto en su parte superior de un tubo lateral por donde ha de derramarse el líquido aspirado: en el interior del cuerpo de bomba hay un émbolo P con su correspondiente válvula, el cual asciende o desciende por medio de una palanca a él articulada; en la base del cilindro hay un orificio que puede cerrar una válvula H y a él está aplicado un tubo largo y estrecho de metal o de cuero llamado tubo de aspiración A que se sumerge en el agua que se va a elevar. Las dos válvulas se abren de abajo arriba.

Veamos de qué manera funciona esta bomba. Supongamos que el émbolo se halla en la parte inferior del cuerpo de bomba; al elevarse lleva delante de sí el aire contenido en el cuerpo de bomba, el cual sale por el tubo lateral y deja necesariamente debajo un espacio vacío o con aire muy enrarecido, que es ocupado por el aire del tubo que se dilata y levanta la válvula, inferior H, que hemos dicho se abre de abajo a arriba según opinión de los antiguos, si el agua se precipitaba entonces en el interior del cuerpo de bomba, ascendiendo por el tubo de aspiración, era a causa del horror que la naturaleza tiene al vacío; pero si esto fuese cierto, el agua se elevaría indefinidamente mientras hubiese vacío y sin embargo no sucede así, pues esa elevación tiene un límite: el agua en efecto asciende y penetra en el cuerpo de bomba por la presión atmosférica exterior que obra sobre la superficie del líquido. Al descender el émbolo comprime el agua y parte del aire que hay en el cuerpo de bomba, y esta presión transmitida en todos sentidos, cierra la válvula inferior, no permitiendo que el líquido retroceda al depósito, y abre la del émbolo, pasando el agua encima de él, a medida que desciende: al segundo movimiento de ascenso se repiten los mismos fenómenos, el émbolo lleva delante de sí el agua que sale por el tubo lateral y deja, como anteriormente, casi un vacío debajo, la presión del aire obra sobre el líquido que se eleva por el tubo, levanta la válvula y penetra en el cuerpo de bomba, al descender el émbolo, el agua con su peso y presión cierra la válvula inferior y abriendo la del émbolo, pasa encima de él, para salir después por el tubo lateral, reproduciéndose los mismos fenómenos sucesivamente en los dos movimientos de ascenso y descenso del émbolo.

Hemos dicho antes que la elevación del agua tiene un límite, pues ya sabemos que la presión atmosférica solo equilibra, al nivel del mar, a una columna de aquel líquido que tenga de altura 10m' 33, de modo que en un tubo cuya longitud fuera mayor de 10 metros, aunque en él se hiciera el vacío perfecto, el agua, por la presión atmosférica no le llenaría por completo; bien así como el mercurio en el tubo barométrico no ocupa el vacío de Torricelli, porque la presión del aire no tiene fuerza bastante para elevarle más que a 76 centímetros al nivel del mar. De modo que disminuyendo la presión atmosférica con la elevación, resulta que el agua, por medio de la bomba aspirante, solo puede ascender a una altura, que esté en relación con la que tenga el lugar donde se halle colocado el aparato, sobre el nivel del mar. Además de esta circunstancia, hay otra causa que contribuye a que esa elevación no sea prácticamente lo que se deduce de la teoría y es que el émbolo nunca llega a tocar exactamente en el fondo del cuerpo de bomba, sino que queda debajo de él un

espacio que se llama perjudicial, lleno de aire a la presión atmosférica. Al elevarse el émbolo ese aire se dilata, pero aún conserva una determinada tensión, no pudiendo en consecuencia enrarecerse ni menos pasar todo el aire del tubo de aspiración al cuerpo de bomba, y por lo mismo, el agua no puede elevarse todo lo que debiera en virtud de la presión atmosférica, pues esta se halla contrarrestada en parte, por el aire del espacio perjudicial. Esto hace que aun a orilla del mar el agua no se eleve exactamente a los 10m'33 y por consiguiente, a medida que el sitio donde funciona la bomba, se eleva sobre ese nivel, la columna de agua ha de ascender mucho menos por ejemplo en Madrid que se halla a 655 metros de altura, el agua solo se eleva debajo del émbolo a 6m'75 (24 pies), y en Badajoz que está a 155 metros, el agua se elevará a 8 metros (28'22 pies); pero una vez encima del émbolo puede ascender hasta donde se quiera, si se cuenta con fuerza para ello; para este caso se dispone la bomba colocando encima del cuerpo de la misma un tubo, recibiendo entonces el nombre de bomba elevatoria o elevatriz.

182. Bomba impelente. -Tiene por objeto la bomba impelente, lanzar el agua a una altura más o menos grande. Consta también esta máquina (fig. 103) de un cuerpo de bomba C, con válvula V en la parte lateral o en la inferior que se abre de abajo arriba o de fuera a dentro, el cual se halla sumergido dentro del líquido que se va a elevar: el émbolo P es macizo, es decir, no tiene válvula, pero sí existe en la parte inferior lateral D del cuerpo de bomba, en comunicación con un tubo O por donde va a ser lanzada el agua; esta válvula se abre de dentro a fuera. El mecanismo de esta bomba es sencillo. Al descender el émbolo comprime el agua que hay en el interior del cuerpo de bomba, la cual cierra la válvula inferior V y abre la lateral D pasando al tubo O; al elevarse el émbolo se abre la válvula lateral V y se cierra la D, llenándose nuevamente el cuerpo de bomba de líquido el cual es lanzado obra vez al descender. Con esta bomba puede elevarse el agua hasta una altura considerable, si la fuerza aplicada al émbolo y que comprime el líquido es grande y la resistencia del aparato lo permite.

183. Bomba aspirante-impelente. -No es otra cosa que la reunión de las bombas anteriormente descritas formando un solo cuerpo. Tiene esta bomba F (fig. 104) de aspirante el tubo de aspiración A y válvula en la parte inferior; y de impelente que el émbolo no tiene válvula. Funciona pues como bomba aspirante por la presión atmosférica y como impelente por la impulsión del émbolo sobre el líquido. Esta bomba es la que se emplea siempre que hay que hacer uso de una impelente, pues no estando dentro del agua no se altera tanto y su inspección es fácil.

184. Bomba de efecto continuo. -Las bombas aspirante e impelente producen la salida del agua de un modo intermitente; pues en la aspirante sólo se derrama cuando el émbolo

asciende y en la impelente cuando desciende. Para obtener una salida constante del líquido se hace uso de la bomba de efecto continuo o de doble efecto, que es una bomba aspirante-impelente (fig. 105) que lleva dos tubos laterales de la misma altura que el cuerpo de bomba, con quien comunican por la parte superior e inferior; por el uno A se aspira el agua que la vierte encima y debajo del émbolo y el otro B la da salida; en las aberturas de comunicación hay válvulas que se abren de fuera a dentro las que comunican con el tubo de aspiración y de dentro a fuera los del tubo de expulsión. En virtud de esta disposición el émbolo comprime el líquido y le hace salir tanto en el descenso, derramando el que llega a la parte superior, como en el descenso el que está en la parte inferior.

Puede producirse también la salida constante por medio de la adición de un depósito de aire en comunicación con el cuerpo de bomba. El agua, pues, es lanzada por el émbolo al depósito de aire, el cual es comprimido y reobrando sobre el líquido le impele en el momento que el émbolo no obra para hacer salir el agua; de modo que la salida es continua por los efectos alternativos del émbolo y del aire comprimido.

185. Bomba de incendios. -Esta bomba (fig. 106) no es más que la reunión de dos aspirantes-impelentes exactamente iguales, pero que funcionan de modo que mientras el émbolo de la una desciende, comprime el agua y la lanza, el de la otra se eleva y viceversa; lo cual se logra por medio de una doble palanca P P' cuyos brazos se mueven ascendiendo y descendiendo alternativamente. Aún así el efecto no es rigurosamente continuo, pues cuando los émbolos están respectivamente en la parte más baja y más alta de su carrera, cesa el impulso y el agua no sale; pero como esto sucede en un momento casi inapreciable, pues el movimiento de la palanca que mueve el émbolo es rápido, la intermitencia es pequeña: no obstante para evitarla por completo, el agua es lanzada por uno y otro cuerpo de bomba a un depósito de aire D, que obra como dejamos dicho en el párrafo anterior.

186. Aplicaciones. -La utilidad de las bombas se manifiesta en sus muchas aplicaciones. Las aspirantes se emplean para la elevación de las aguas de los pozos, cisternas, etc.; para el desagüe de las galerías y pozos del interior de las minas, no menos que para la extracción del aceite y otros líquidos de los grandes depósitos. Las impelentes, con el nombre de bombas de jardín, se usan con muy buen éxito para regar; y en las máquinas de vapor para lanzar el agua al interior de la caldera; y por fin la bomba de incendios, cuya utilísima aplicación recuerda su mismo nombre.

187. Pipeta. -Se llama así y también cata-licores un sencillo aparato que se emplea para extraer cortas cantidades de líquido de un depósito cualquiera. Es un tubo de vidrio o de hoja de lata (fig. 107) abierto por sus dos extremos, siendo el inferior de pequeño diámetro.

Para extraer el líquido se le sumerge por la abertura menor y aquel penetrará en el interior expulsando el aire, cerrando entonces con el dedo la extremidad superior A, se le saca y el líquido permanecerá dentro del tubo sin derramarse, más que unas gotas, porque la presión del aire obra de abajo arriba; si quitando el dedo se descubre la abertura superior, la presión atmosférica de arriba abajo destruye la de abajo arriba y el líquido cae obedeciendo a la acción de la gravedad. A veces la pipeta, siendo de vidrio, termina en orificio casi capilar y está doblado en ángulo recto, en cuyo vértice o cerca de él, tiene un depósito esférico: entonces se emplea no sólo para extraer pequeñas porciones de líquido, si no para hacerlas llegar a un depósito impeliendo el líquido con la boca o por otro medio.

188. Sifón. -Cuando la cantidad de líquido que hay, que trasvasar es considerable, se hace uso del sifón; aparato también sencillo formado por un tubo de vidrio o de hoja de lata encorvado y de ramas desiguales. (fig. 108) Para usarle se pueden emplear dos procedimientos primero se llena con el líquido que se va a trasvasar y cerrando con los dedos las dos extremidades, se introduce la rama corta a en el líquido y separando el dedo de la rama larga, empieza a derramarse, dejando un vacío al descender; entonces la presión atmosférica obra sobre el líquido de la vasija y le obliga a elevarse, ocupando el espacio vacío, se derrama de nuevo y así sucesivamente. Este medio es algún tanto embarazoso, sobre todo si el sifón es grande; por lo cual, y no siendo nocivo el líquido, es preferible introducir la rama menor en el depósito y hacer por la abertura de la rama larga una succión con la boca, con lo que se logra el vacío y el sifón funciona como en el caso anterior. Si el líquido que se va a trasvasar es nocivo, por ejemplo, el ácido sulfúrico, entonces el sifón lleva un tubo lateral (fig. 109) por cuyo extremo a se aspira el aire, teniendo al mismo tiempo cerrada con el dedo la abertura b y dejando de aspirar cuando el líquido haya llegado en la rama larga por debajo del nivel del que hay en el depósito. Es aún mejor emplear un sifón que lleva en el extremo de la rama larga una llave y otras dos en la parte superior de la curvatura: cerrada la primera, se abren las superiores vertiendo por la una el líquido y saliendo el aire por la otra; lleno ya, se cierran estas dos y se abre la inferior, derramándose el líquido.

La teoría del sifón es la siguiente; llenas las dos ramas del líquido, este se halla sometido a dos fuerzas representadas por la presión atmosférica menos el peso de una columna líquida en la rama corta y la misma presión del aire menos el peso de otra columna líquida en la rama larga y siendo ésta mayor que en la rama corta, el líquido se derramará por la diferencia de estas dos presiones, en el sentido de la mayor o sea por la rama larga, según esto, el sifón no funcionará en el vacío, ni tampoco si tiene alguna abertura en el punto de unión de las dos ramas, ni en fin, si la rama corta tiene una altura mayor que la columna líquida que pueda equilibrar la presión atmosférica.

189. Fuente intermitente. -Con los nombres, de fuente mágica, embudo mágico, regadera mágica, etc.

se conocen diversos aparatos que figuran en lo que se llama Física recreativa: todos tienen su fundamento en la presión atmosférica, pero carecen de un verdadero interés científico y de aplicaciones de importancia; por esta razón sólo nos ocuparemos de la primera o sea la fuente mágica o intermitente. Consta de un globo de vidrio (fig. 110) que puede cerrarse en su parte superior con un tapón esmerilado de vidrio: en su base lleva dos o tres aberturas muy pequeñas que pueden corresponder o no, con otros tantos tubitos de salida, según que se establezca la comunicación o se interrumpa, haciendo girar el vaso sobre su guarnición metálica: un tubo de vidrio A atraviesa el vaso y el interior de la columna o pie y termina cerca del fondo de un plato metálico en el que hay un orificio b de un diámetro tal, que solo puede dar salida a parte del líquido que derraman los tubos. Pónese agua en el globo hasta los dos tercios y se cierra; el líquido, se derrama cayendo en el plato inferior, siendo reemplazado por el aire que penetra por la abertura inferior del tubo y como la salida por el orificio de aquel no es tanta como la cantidad del líquido derramado, aumenta el nivel y cubre la abertura del tubo, en cuyo caso no pudiendo penetrar el aire, la presión atmosférica exterior obra sobre los orificios de los tubos y no permite al líquido salir; pero como continúa derramándose el que hay en el plato, llega a descubrir la abertura del tubo, penetra entonces el aire en el depósito, la presión interior del globo se hace igual a la exterior de la atmósfera y el líquido cae, hasta que nuevamente se obstruye la abertura inferior del tubo y deja de salir el líquido, verificándolo cuando aquel llega a descubrirse para dejar entrar el aire.

LECCIÓN 31. Aparatos fundados en la elasticidad y compresibilidad del aire. -Máquina neumática. -Llave de doble efecto. -Máquina neumática de Bianchi. -Máquinas neumáticas de mercurio. -Aplicaciones. -Máquina contraneumática. -Bomba de compresión. -Escopeta de viento. -Fuente de Heron.

190. Máquina neumática. -Llámase máquina neumática (del griego pneumatikos que concierne al aire) un aparato destinado a extraer el aire de cualquier recinto. Fue inventada esta preciosa máquina por Otto de Guericke el año de 1650. Consta de tres partes esenciales el cuerpo o cuerpos de bomba, la platina y el barómetro truncado o probeta.

A. Cuerpo de bomba. La máquina neumática construida por Otto de Guericke solo tenía un cuerpo de bomba, pero poco después Hawksbee, físico inglés, añadió otro para facilitar el enrarecimiento del aire. En el día se construyen máquinas de un solo cuerpo de bomba y de doble efecto. El cuerpo de bomba de esta máquina es una bomba aspirante que en lugar de aspirar agua, aspira aire. La máquina neumática ordinaria que generalmente figura en los gabinetes de Física, consta de dos cuerpos de bomba iguales, de modo que descrito uno, queda conocido el otro. Se compone este cuerpo de bomba (fig. 111) de un cilindro de vidrio o de metal en el cual puede moverse un émbolo P con su correspondiente válvula cónica; en el fondo del cilindro hay obra válvula también cónica y ambas se abren de abajo arriba. La válvula inferior está unido, a uno, varilla que atraviesa el émbolo con roce fuerte, de modo que cuando éste asciende lleva consigo la varilla y la válvula se levanta, pero solo hasta cierta altura, pues el extremo de la varilla toca pronto en la parte

superior del cuerpo de bomba y deja de moverse resbalando por ella el émbolo que continúa ascendiendo. Al descender hace bajar la varilla y la válvula se cierra. Colocados, pues, vertical y paralelamente los dos cuerpos de bomba sobre una fuerte placa de metal, comunica cada uno de ellos con un tubo común de aspiración que va a terminar en la platina y sus émbolos se mueven alternativamente por el engrane de las barras que son dentadas, en un piñón, en cuyo eje se halla fijo un doble manubrio que asciende y desciende y con él los émbolos.

B. Platina.-Es un disco de vidrio esmerilado colocado en un estuche de metal que se halla en la terminación del tubo de aspiración y sobre el cual se colocan las campanas en las que va a hacerse el vacío: en el centro de la platina abre el extremo del tubo de que termina en rosca y a la cual pueden atornillarse los tubos, globos y demás vasijas de las que haya de extraerse el aire.

C. Barómetro truncado. Entre los cuerpos de bomba y la platina hay colocado un aparato llamado barómetro truncado y también probeta E, que tiene por objeto indicar cuándo empieza a hacerse el enrarecimiento y cuando termina. Es un barómetro de sifón de ramas iguales, cerrada la una y abierta la otra y cuya altura es algo menor que la mitad de un barómetro ordinario: hállese colocado a rosca en el tubo de aspiración y cubierto con una campana de cristal de las llamadas en Química probeta V. La rama cerrada está toda llena de mercurio sin dejar vacío de Torricelli; porque la presión atmosférica es mayor que el peso de la columna de mercurio contenida en el tubo barométrico; medida que se enrarece el aire del recipiente coloca pero colocado sobre la platina, se extrae también de la probeta, su tensión decrece y el mercurio desciende elevándose en la rama abierta, lo cual se aprecia por una escala dividida en milímetros, cuyo cero está en la parte media de las dos ramas: y si el vacío se hiciera perfecto, el mercurio se nivelaría en ambas ramas, porque sin presión ninguna, obedecería el líquido a la ley de los vasos comunicantes.

El modo de funcionar de la máquina neumática es fácil de comprender con solo recordar lo que acontece en las bombas aspirantes. Veamos lo que sucede con uno de los cuerpos de bomba, pues lo mismo pasa con el otro. Al elevarse el émbolo lleva delante de sí el aire que sale por un orificio de la parte superior del cuerpo de bomba y deja debajo un vacío; al mismo tiempo la válvula inferior se levanta arrastrada, su varilla por el émbolo; y el aire del recipiente y del tubo de aspiración pasa por el orificio de la válvula al cuerpo de bomba. Al descender el émbolo, baja la varilla de la válvula inferior y se cierra, no pudiendo el aire retroceder a la campana, o recipiente colocado sobre la platina; pero comprimido por el émbolo en su descenso, levanta la válvula de este y pasa encima: al segundo movimiento del émbolo se repiten los mismos fenómenos y una nueva cantidad de aire del recipiente se dilata y ocupa el cuerpo de bomba cuando el émbolo asciende; pasando encima de éste y a la atmósfera cuando desciende. Este movimiento de un solo émbolo que hace intermitente la salida del aire, se logra sea continua con el juego alternado de los dos.

A primera vista parece que repitiendo durante algún tiempo los movimientos de los émbolos, debe llegar un momento en que se extraiga todo el aire, y sin embargo esto no sucede, ni puede suceder, pues siempre queda debajo de las válvulas y de la base del émbolo un espacio perjudicial (181) lleno de aire, aunque en corta cantidad, de modo que

cuando el enrarecimiento es ya considerable, ese aire no tiene fuerza bastante para levantar la válvula y la máquina no funciona.

191. Llave de doble efecto. -Por muy bien dispuestos que se hallen los émbolos y las válvulas y toda la máquina funcione, con la mayor precisión, no es posible llegar al vacío absoluto en los recipientes colocados en la platina; así lo indica el barómetro truncado, pues aún en las máquinas mejor construidas y con la llave de doble efecto de que vamos a hablar, queda el mercurio medio milímetro más elevado en la rama cerrada, lo cual prueba que aún existe en el interior de la probeta una cantidad de aire capaz de equilibrar una columna de mercurio cuya altura sea medio milímetro. Con el fin de llevar el enrarecimiento al mayor grado posible, Babinet ideó una llave especial, llamada de doble efecto o doble acción, que se halla colocada entre los dos cuerpos de bomba en la bifurcación del tubo de aspiración. Esta llave está taladrada longitudinalmente formando varios conductos y puede tomar dos posiciones distintas: hallándose en posición horizontal, la comunicación queda establecida entre los cuerpos de bomba y la platina y la máquina funciona como si no existiese la llave; pero cuando ya el enrarecimiento es grande y las válvulas no juegan por no tener el aire bastante tensión para abrirlas, se da un cuarto de vuelta a la llave, poniendo hacia la parte superior el nombre que lleva grabado, Babinet entonces es tal la disposición de los conductos o canales de la llave, que solo comunica con el recipiente de la platina el cuerpo bomba de la derecha y éste por otro conducto con el de la izquierda y éste con la atmósfera. Al ascender el émbolo de la derecha aspira el aire de la campana y al descender, por la comunicación que establece la llave de Babinet, pasa ese aire al cuerpo de bomba de la izquierda que entonces se eleva; al subir de nuevo el émbolo de la derecha y bajar el de la izquierda, el aire que está debajo de éste no puede retroceder al cuerpo de bomba de la derecha por cerrarse la válvula cónica inferior: en los movimientos sucesivos del émbolo de la derecha, sigue aspirando aire de la campana que va acumulando en el de la izquierda, hasta que tomando en este último suficiente tensión, puede levantar la válvula y salir a la atmósfera.

192. Máquina neumática de Bianchi. -Una máquina neumática ingeniosamente ideada y bien construida por Bianchi, permite hacer el vacío en breve tiempo y en espacios o capacidades de grandes dimensiones. Consta de un solo cuerpo de bomba oscilante, y es de doble efecto, es decir que el único émbolo que tiene hace lo que las dos de las máquinas ordinarias, pues efectúa el enrarecimiento tanto al elevarse como al descender. Una rueda a manera de volante imprime un movimiento de rotación que facilita el trabajo, que por medio de ruedas dentadas se trasmite al émbolo que asciende y desciende.

193. Máquinas neumáticas de mercurio. -Con estas máquinas se obtiene un enrarecimiento aun más perfecto, que con las que acabamos de descubrir, utilizándose al efecto el vacío barométrico, pero tienen el inconveniente que cuando hay que aplicarlas para extraer el aire de grandes espacios es necesario hacer primero el vacío con la máquina neumática ordinaria hasta unos 10mm y terminar la operación con la de mercurio: además se tarda mucho y se necesita que la máquina descansa de tiempo en tiempo, sobre todo al finalizar el trabajo.

194. Aplicaciones. -Seguramente la Física no conoce aparato de mayor interés científico y de más importantes aplicaciones que la máquina neumática: con ella se estudian todos los fenómenos que se producen en el vacío y se practican cuantas experiencias exigen espacios o capacidades privadas de aire o de otros gases. Sirve para demostrar que todos los cuerpos en el vacío caen con igual velocidad (80); que todos los sólidos son porosos (13); que el aire, ejerce presiones en todos sentidos; que el principio de Arquímedes se cumple en los gases como en los líquidos. La máquina neumática comprueba además que el aire atmosférico es indispensable para la vida y, para la combustión, pues un pájaro o una vela encendida colocados debajo de la campana de la máquina neumática y hecho el vacío, el primero muere por asfixia y la segunda se apaga; en fin con esta utilísima máquina se demuestran otra multitud de hechos, algunos de los que tendremos ocasión de estudiar en el curso de estas lecciones.

195. Máquina contraneumática. -Este aparato llamado también máquina de compresión y está destinado, como su nombre lo indica, a comprimir o acumular el aire u otro gas dentro de un recipiente. Es pues una verdadera bomba impelente que consta de dos cuerpos, cuyos émbolos llevan válvulas que se abren en sentido opuesto a las de la máquina neumática, puesto que tiene que producir un efecto contrario. La campana donde ha de acumularse el aire está fuertemente fija a la platina y rodeada de un red metálica, para evitar la proyección de los trozos de vidrio, si reventase por la excesiva tensión del gas. Sus aplicaciones son muy limitadas empleándose más bajo la forma y nombre de bomba de compresión.

196. Bomba de compresión. -Este aparato es una bomba aspirante-impelente que consta de un cilindro (fig. 112) dentro del cual se mueve un émbolo macizo; el cilindro o cuerpo de bomba lleva en su parte inferior dos tubos horizontales m n con llave y válvulas que se abren en sentido contrario, la una que sirve para la aspiración y la otra para la impulsión, siendo su mecanismo como el de la máquina anterior o sea una bomba impelente. Todavía se emplea con mayor sencillez constituyendo simplemente una bomba impelente, formada de un cuerpo de bomba con émbolo macizo y válvula en la parte inferior que se abre de

dentro a fuera. En la parte superior y lateral lleva un orificio por donde penetra el aire o el gas que se quiere comprimir y se halla situado de modo que al elevarse el émbolo hasta la parte mas alta de su carrera queda el orificio por debajo de la base de aquel: en la parte inferior termina en rosca para atornillar los recipientes. Empléase esta bomba principalmente para cargar la escopeta de viento y la fuente de compresión.

197. Escopeta de viento. -Así se llama porque la impulsión del proyectil se verifica por la fuerza elástica del aire comprimido. Consta de una culata de hierro forjado hueco, en cuyo extremo que es de rosca interior, tiene una válvula que en su posición natural, está cerrada por un muelle o resorte de acero y se abre de fuera a dentro: a esta culata se atornilla la bomba de compresión y se comprime el aire hasta unas 8 ó 10 atmósferas; se quita la bomba se atornilla a la culata el cañon, colocando, el proyectil como de ordinario. Comprimiendo por medio del gatillo la válvula deja escapar, al abrirse, una parte del aire que con su gran tensión lanza el proyectil con extraordinaria fuerza y velocidad.

198. Puente de Heron. -Esta fuente llamada así del nombre de su inventor, se compone de dos depósitos esféricos de vidrio A y B (fig. 113) y una cápsula o plato de cobre C; este comunica por medio del tubo de latón m con el fondo del depósito inferior: otro tubo n establece comunicación con ambos depósitos y otro tercero va desde la cápsula al fondo del depósito superior. Quitando este tubo se pone agua en el depósito superior A hasta la mitad próximamente, y volviendo a colocarle se vierte agua en la cápsula C, el líquido desciende por el tubo m al depósito inferior y el aire de este espacio pasa al depósito superior por el tubo n, en el cual comprimiendo este aire al agua allí contenida, la eleva por el tubo P y sale en forma de surtidor, pudiéndose variar la forma de este según la clase de tubos de salida que se atornillen en el extremo del tubo. El agua ascendería hasta una altura igual a la diferencia del nivel entre ambos depósitos A y B, si en parte no lo impidiera la resistencia del aire y el rozamiento.

LECCIÓN 32. Principio de Arquímedes aplicado a los gases. -Barómetro. -Aerostación.

199. Principio de Arquímedes aplicado a los gases. -Dejamos dicho (157) que existen notables analogías entre los cuerpos líquidos y gaseosos y que ejerciendo estos cuerpos como los líquidos, presiones en todos sentidos en las paredes de los vasos que los contienen y sobre los cuerpos sumergidos en ellos, se hallan sometidos al principio de Pascal. Por la misma razón se cumple en las masas gaseosas el principio de Arquímedes, pudiendo, pues, decirse que todo cuerpo sólido sumergido en un gas pierde parte de su peso, igual al peso del volumen de gas que desaloja. Demuéstrase este principio, por lo que toca al aire, por medio del barómetro.

200. Barómetro. -Este aparato llamado así (del griego baros peso y scopeo examinar) y también dasímetro, fue ideado por el laborioso y sabio Otto de Guericke. Consta de una pequeña balanza, (fig. 114) en cuyos extremos se hallan dos esferas, una hueca y otra maciza de distinto diámetro, que aún cuando hechas con la misma masa o cantidad de materia, no se equilibran en el aire, y para que esto se verifique, el brazo de palanca donde está colocada la menor o maciza, termina en tornillo y la esfera entra a rosca, pudiendo así acortarse más o menos el brazo. Logrado el equilibrio, se coloca en la platina de la máquina neumática y se cubre con una campana; hecho el vacío, la balanza se inclina en favor de la esfera hueca o mayor, lo cual prueba que en el aire perdía de su peso más que la maciza, por ser su volumen mayor y desalojar por tanto más cantidad de aire; pero ahora en el vacío recobra su peso y por lo tanto pesa más. O de otro modo, colocadas en los extremos de la balanza se equilibran, porque los brazos son desiguales; lo cual prueba que sus pesos son diferentes: esa diferencia de peso es debida a lo que cada una pierde en el aire; pero como es el vacío nada pierden de su peso, la presión ejercida por la esfera hueca es mayor, porque su brazo de palanca es más largo.(52)

Consecuencia de la exactitud del principio de Arquímedes para los cuerpos sumergidos en el aire, es que también en estos, como sucede en los líquidos, (123) pueden los sólidos hallarse colocados en tres posiciones distintas, flotantes, pesados o sumergidos según que el volumen de aire que desalojen pese más, pese menos o igual que el cuerpo. Parece, a primera vista que un cuerpo para ser flotante en el aire, debiera de estar colocado encima de la última capa del límite de la atmósfera: pero como el aire no tiene la misma densidad en todos sus puntos, un cuerpo situado a cierta altura en la atmósfera será flotante para, todas las capas de aire que estén debajo de él y pesado para las situadas encima.

Son cuerpos flotantes en el aire, el humo, las nubes, los globos aerostáticos, et.

201. Globos aerostáticos. -Así se llaman o simplemente aerostatos (de aerios aire y state reposo o equilibrio) los cuerpos flotantes por medio de los cuales puede el hombre elevarse a las altas regiones de la atmósfera. La invención de los globos se debe a los hermanos Esteban y José Montgolfier, fabricantes de papel en la ciudad de Annonay (Francia) que elevaron el primer globo el 4 de Junio de 1783; por más que ya mucho antes se hubieran hecho tentativas o a lo menos indicado la posibilidad de ascender en los aires, por el jesuita Lanna el año de 1670; por el P. Galien en 1751 y por Black, profesor de Física de Edimburgo, que elevaba en la atmósfera vejigas llenas de gas hidrógeno. Hecho el descubrimiento, los ensayos para perfeccionarle y las experiencias para elevarse y descender en la atmósfera fácilmente y con el menor peligro posible, se sucedieron maravillosamente y los hombres de ciencia se consagraron desde entonces asiduamente al estudio de todos los problemas referentes a la aerostación, Y es natural: el hombre que había logrado enriquecer sus conocimientos recorriendo las vastas llanuras de la tierra,

examinando sus más altas montañas y penetrando en el interior del Globo; que había cruzado los mares; y sondeado su fondo, faltábale para completar sus exploraciones, examinar esa parte integrante de la tierra, es decir, la atmósfera que desde el momento que consiguió elevarse en ella la hizo objeto predilecto de sus inventos a fin de proporcionar a la ciencia nuevos e interesantes datos. Bajo este concepto las ascensiones han sido y son de la mayor importancia y los hombres ilustres por su saber, entre los que se cuenta el célebre Gay Lussac; no han vacilado en arriesgarse a las contingencias de un viaje aéreo en una débil barquilla, suspendida de un globo fabricado de tela no menos delicada.

La primera experiencia de los hermanos Montgolfier consistió en la elevación a 500 metros de altura de un globo de 36 metros de circunferencia, hecho de tela y forrado de papel, que llenaran de aire quemando cerca de la parte inferior abierta, papel y paja algo humedecido. Apenas tuvo conocimiento del hecho la Academia de Ciencias de París, deseó presentar la experiencia en una nueva, ascensión y al efecto llamó a aquella a los hermanos Montgolfier. Pero entre tanto el reputado físico Charles que murió en 1823, repitió la experiencia en París con un globo lleno de gas hidrógeno, el 27 de Agosto de 1783. El problema, pues, quedaba resuelto. Poco después Esteban Montgolfier, que había llegado a París, repetía sus experiencias ante la Academia. La facilidad con que los globos se elevaban en el aire, se despertó en seguida el deseo de ascender a bordo de un aerostato y cúpoles la gloria de hacer el primer viaje aéreo, al joven físico francés Pilatre de Rociers y al oficial de ejército, Marqués d'Arlandes que se elevaron en un globo lleno de aire caliente que los atrevidos aeronatas mantenían enrarecido con fuego producido por la combustión de paja húmeda, que aplicaban a la boca del globo: valor insigne y atrevimiento inaudito pues con la mayor facilidad podría comunicarse el fuego a todo el aparato: la ascensión se verificó el 31 de Octubre de 1783 en el patio del palacio de la Muette, en el bosque de Bolonia.

Desde entonces no faltaron viajeros animosos, que ya por curiosidad o con un objeto científico, se lanzaron en globos a alturas considerables. El citado Charles fue el primero que hizo un viaje aéreo en un globo lleno de gas hidrógeno y con casi todas las condiciones de seguridad con que se fabrican en el día, elevándose a 3.000 metros sobre el nivel del mar. Blanchard atravesó en unión del doctor irlandés Jeffres el 7 de Enero de 1785, el canal de la Mancha, que separa a Francia de Inglaterra, corriendo grandes peligros, porque el globo empezó a descender sobre el mar y tuvieron necesidad para aligerarle y que ascendiera, de arrojar todos los objetos que llevaban en la barquilla, incluso los vestidos. En 1804 Gay-Lussac hizo una de las ascensiones más notables, elevándose a la altura de, 7716 metros (22000 pies). En 1862 el aeronauta Coxvell y el sabio meteorologista del Observatorio de Greenwich, Glaisher, hicieron, otra ascensión también importante y en fin, Flammarión y otros sabios, se han elevado en la atmósfera a alturas prodigiosas, recogiendo curiosas e interesantes observaciones. La realizada por Gay-Lussac solo, después de la que había hecho en compañía de Biot, es de las más notables. En la tarde del día 22 de Agosto de 1804 abandonada en su globo, el ilustre físico, el patio del Conservatorio de artes y oficios de París, elevándose en las altas regiones de la atmósfera, llegando a encontrarse en una altura en que el termómetro descendió 9'5° bajo cero, siendo así que señaló en la superficie del suelo; el barómetro bajó casi hasta la mitad, marcando sólo 32 centímetros. El espacio en que entonces respiraba, el sabio aeronauta, tenía un enrarecimiento tal, que la respiración y la circulación de la sangre se aceleraron de un modo notable y la sequedad era tan grande, que las sustancias higroscópicas, como el papel, que llevaba a bordo, se

retorcían y secaban como si estuviesen al fuego, y en fin, el cielo, por esa misma falta de humedad, tenía un tinte azul oscuro, casi negro, el silencio era absoluto. Seis horas duró su viaje, habiendo recorrido durante él treinta leguas.

Varias partes comprende una ascensión, desde la construcción del globo hasta el descenso, que expondremos sumariamente.

A. Construcción del globo. -Variadas formas han recibido los globos aerostáticos, pero la más generalmente adoptada es la de trompo o pera, cuya porción estrecha, que forma la boca del globo, se halla hacia la parte inferior. (fig. 115) Constrúyense los globos con bandas o tiras de tafetán, perfectamente cosidas y barnizadas en lo general con goma elástica disuelta en aguarrás o esencia de trementina, para que el gas no se escape: cubre a todo el globo una red resistente de cáñamo, de cuyos cabos o extremos, que llegan a la parte inferior, pende una barquilla, en que están bien combinadas la ligereza y la solidez, donde se colocan los aeronautas, los instrumentos, lastre, etc.; de este modo el peso se distribuye por toda la superficie del aerostato. Una válvula colocada en la parte más superior del globo se halla cerrada por un muelle, que por medio de una cuerda unida al extremo de la palanca de la válvula, y que llega hasta la barquilla, permite abrirla, cuando sea necesario, para descender. Completan los accesorios del globo un ancla suspendida de la barquilla, un paracaídas plegado y suspendido de la red y el lastre colocado en el fondo de la barquilla. Las dimensiones de los globos han variado mucho; el llamado Águila de Eugenio Godard tiene un volumen de 14000 metros cúbicos y su peso incluyendo todo, es de 1296 kilogramos.

B. Modo de llenar el globo. -Plegado y suspendido de dos grandes mástiles sujeto al suelo por cuerdas atadas a la red, se llena de gas hidrógeno que es 14'6 veces más ligero que el aire o de gas del alumbrado, que es el usado generalmente por la facilidad de procurárselo en las poblaciones donde existe este medio de alumbrado; se van desplegando poco a poco los dobleces hasta que henchido convenientemente presenta una gran fuerza de ascensión. El globo no debe llenarse por completo, porque como a medida que se eleva, la densidad y la presión del aire disminuyen el gas del interior en virtud de la ley de Mariotte (174) se dilata, el volumen del aerostato aumenta la tela excesivamente tensa puede romperse.

C. Ascenso. -Lleno el globo y atada la barquilla y en ella el aeronauta, a una señal se sueltan o cortan las cuerdas y el globo asciende rápidamente al principio, minorándose el movimiento a medida que se eleva, por la menor densidad de las capas de aire, hasta que la fuerza de empuje es igual a todo el peso del globo, en cuyo caso cesa la ascensión, moviéndose solo horizontalmente al impulso de las corrientes atmosféricas. El barómetro colocado a bordo, según que baje o suba el mercurio, indica si continua el ascenso o por el contrario se descende: lo cual se aprecia también por una banderola colocada en la barquilla que por su posición hacia arriba, hacia abajo u horizontal, invoca si el globo baja o sube o la dirección en que marcha.

D. Descenso. -En el momento en que el aeronauta quiere descender, tira de la cuerda unida a la válvula, la cual se levanta y deja escapar parte del gas interior, penetrando el aire, lo cual hace más pesado el aparato y se verifica el descenso; más si por una causa

cualquiera se hubiera escapado demasiado gas y aumentando la pesantez del globo, bajara este con excesiva rapidez, se arroja parte del lastre, formado en general por pequeños sacos llenos de arena, y aligerándose de este modo la barquilla, el descenso se hace más paulatino. Al llegar a tierra no queda desde luego fijo, pues en virtud de la velocidad adquirida al descender, tiende a elevarse de nuevo, pero el ancla puede retenerlo si logra asirse a un obstáculo cualquiera

C. Paracaídas. -Como su mismo nombre lo indica, tiene por objeto este aparato el poder abandonar el globo, en caso de un accidente cualquiera, y descender en él. Es, pues, una especie de salvavidas. Está formado el paracaídas por una pieza semiesférica de tela, semejante a un paraguas, que en el punto correspondiente a la contera lleva un orificio para dar salida al aire comprimido en el descenso, verificándose entonces este verticalmente: en su contorno lleva varias cuerdas que sostienen una pequeña barquilla en la cual se coloca el aeronauta. Si se suelta la cuerda que le mantiene atado a la red, el paracaídas se abre por la resistencia que le ofrece el aire de abajo arriba, y él y su barquilla abandonan el globo.

F. Cálculo de la fuerza ascensional del globo. -Como el poder ascensional del globo, depende de la relación, entre su peso y el peso del volumen de aire que desaloje, elevándose con una fuerza igual a la diferencia de ambos pesos; para calcular esa fuerza es preciso averiguar el volumen del globo, a fin de conocer el del aire desalojado. A este efecto se lo supone perfectamente esférico, en lo cual habrá un error, pero muy pequeño. Determinado, pues, el volumen del globo por la fórmula que da la Geometría, supongamos que es igual a 1.000 metros cúbicos; como cada metro cúbico de aire a la presión de 0'76 y temperatura de cero grados, pesa 1'kg.293 (156) un metro cúbico de hidrógeno pesa 0'kg.089 por ser 14,6 más ligero que el aire, luego la diferencia entre uno y otro peso será 1 kg. 204, que es la fuerza ascensional por cada metro cúbico de gas y la total del globo cuyo volumen es igual a 1000 metros, será $1000 \times 1204 = 1204$ kilogramos: deducido, pues, de ese peso lo que pesan los aeronautas, la tela, barquilla y accesorios, el resto será la fuerza ascensional.

G. Aplicaciones. -Hasta ahora y sólo en casos muy limitados han tenido los globos aerostáticos verdadera importancia de aplicación. La primera vez que se empleó el aerostato como elemento de observación en la guerra, fue durante la batalla de Flurus en 1794, que se hizo uso de un globo cautivo, es decir, asido a la tierra por una cuerda y desde él un observador podía dar cuenta por medio de señales de los movimientos e intenciones del enemigo. También representaron un importante papel en la última guerra francoprusiana, ya sirviendo de correos entre París y varios puntos de Francia, ya para huir de la gran ciudad cuando las tropas alemanas ponían sitio a la capital. Más todos estos hechos aislados significan muy poco, mientras el aeronauta no deje de hallarse a merced de las corrientes atmosféricas y pueda trasladarse a voluntad al punto que desee: he aquí el problema.

Mucho se ha trabajado y discutido sobre la posibilidad de dar dirección a los globos; unos la han admitido en teoría, pero dudan pueda realizarse en la práctica, dado que tienen por imposible que se halle un motor que pueda contrarrestar los efectos de corrientes de aire tan encontradas como las que se agitan en el océano atmosférico; otros no la admiten ni en la teoría, ni en la práctica, consideradas las condiciones de los cuerpos sumergidos en los fluidos y el que los vientos soplan a veces en las altas regiones de la atmósfera con un

ímpetu extraordinario y contra su inmenso esfuerzo comparado a la violencia de los huracanes, nada puede la débil tela que forma el globo, ni la delicadeza de la barquilla; pero eso mismo acontece en el mar. Cuando los vientos se desencadenan y las olas se agitan embravecidas, no hay fuerza de vapor que lo resista y es inútil la lucha con los enfurecidos elementos; destrozado el buque, sólo queda una débil esperanza; la frágil barquilla o el salvavidas, con los cuales no es fácil arribar a la costa; pues lo mismo sucede con los globos, que si acontece en ellos algún siniestro, no queda otro recurso que el paracaídas. El problema, pues, se reduce a hallar y aplicar una fuerza que contrarreste el empuje y acción contraria de los vientos. ¿Se podrá encontrar esa fuerza? ¿Será fácil su aplicación en condiciones favorables para la navegación aérea?

Capítulo II

Dinámica de los gases

(Aerodinámica)

LECCIÓN 33. Salida constante de un gas. Gasómetros. -Fuelles. Corrientes atmosféricas. -Apéndice a la Mecánica de los gases. -Difusión. -Ósmosis. -Absorción de los gases por los líquidos.

202. Salida constante de un gas. Gasómetros. -Entre los diversos fenómenos que puede ofrecer una masa gaseosa en movimiento, el más importante por sus aplicaciones, es la salida constante de un gas de un depósito cualquiera. Se logra este resultado por diversos medios, según sea el uso a que se destine la corriente. Con los gasómetros, de cuyos aparatos nos ocuparemos en Química, se obtiene una corriente continua de gas en cantidad y velocidad constantes.

203. Fuelles. -Cuando la corriente gaseosa ha de ser producida por el aire, uno de los medios más sencillos para obtenerla es el fuelle, aparato formado por dos tablas que terminan por un extremo en un tubo y unidas en sus bordes por un cuerpo flexible una de las tablas lleva un orificio cerrado por una válvula que se abre de fuera a dentro. Separando las dos tablas, la capacidad aumenta y por la válvula penetra el aire y acercándolas, se comprime éste y sale por el tubo. Si se quiere tener una corriente continua de aire se disponen dobles, que funcionen alternativamente, de tal manera que la capacidad del uno aumenta, cuando la del otro disminuye: esta disposición es necesaria en los fuelles de ciertos instrumentos musicales como los órganos y los acordeones, en las lámparas de

esmaltar, en las forjas, etc. También puede obtenerse una corriente gaseosa por medio de las bombas de compresión, de los ventiladores y otros varios aparatos.

204. Corrientes atmosféricas. -La velocidad de las corrientes atmosféricas se aprecia por medio de los anemómetros (de anemos viento y metron medida.) Estos aparatos de tanto uso en Meteorología, merced a los cuales se conoce la velocidad y fuerza de los vientos, se han construido de muy varia manera y el estudio de los más usados, lo reservamos para la Meteorología.

205. Apéndice a la mecánica de los gases. Difusión. -Terminaremos el estudio de todo lo relativo a las propiedades de los gases y de los fenómenos físicos que ofrecen, en su acción recíproca con los sólidos y los líquidos, ocupándonos de hechos que son en su mayor parte, resultado del movimiento de las moléculas de las masas gaseosas. La difusión o sea la mezcla espontánea de los gases, es mucho más activa y enérgica que la de los líquidos, pues se penetran muy fácilmente, aún cuando sus pesos específicos sean muy diferentes, como sucede con el hidrógeno y el ácido carbónico. Berthollet, químico francés, fue el primero que observó el fenómeno de la difusión y la demostró colocando, vino sobre otros dos globos de vidrio, unidos por sus cuellos, lleno el superior de hidrógeno y el inferior de ácido carbónico, siendo este último gas 22 veces más pesado que el primero: colocado el aparato en sitio donde ni la temperatura, ni las sacudidas bruscas influyeran en el movimiento de los dos gases, al cabo de algún tiempo se observó que ambos globos contenían cantidades iguales de ácido carbónico e hidrógeno, lo cual demostraba que uno y otro habían ascendido y descendido respectivamente, a pesar de la ligereza del uno y la pesantez del otro. La mezcla de los gases obedece a las tres leyes siguientes:

1.^a Los gases sin acción química entre sí, se mezclan rápidamente, tan pronto como se hallan en contacto y su mezcla es uniforme.

2.^a La mezcla de dos gases se verifica con tanta más rapidez, cuanto mayor es la diferencia de sus densidades.

3.^a La fuerza elástica de la mezcla de varios gases es igual él la suma de las fuerzas elásticas de cada uno de ellos.

Esta última ley ha sido hallada por Dalton.

206 Efusión. -Llámase efusión el paso de los gases en el vacío, por pequeñas aberturas en pared delgada. La velocidad de la efusión es la misma próximamente que la de la difusión.

207. Osmosis. -Como en los líquidos, son corrientes gaseosas que se establecen a través de las membranas porosas. Graham es el físico que con más detenimiento ha estudiado la ósmosis de los gases encontrando fenómenos curiosos e importantes, cuya exposición no cabe en los límites de un curso elemental de Física.

208. Absorción de los gases por los líquidos. -Colocados los gases en contacto de los líquidos, son absorbidos por estos y se dice entonces que han sido disueltos. La mayor parte de los líquidos gozan de esta propiedad absorbente, excepto el mercurio, en el que hasta ahora no se ha encontrado acción disolvente ninguna. Esta absorción se verifica bajo las tres leyes siguientes:

1.^a Para un mismo gas, un mismo líquido e igual temperatura, el peso del gas absorbido es proporcional a la presión.

2.^a La cantidad de gas absorbido es tanto mayor cuanto más baja es la temperatura.

3.^a La cantidad de gas que un líquido puede disolver es independiente de la naturaleza y de la cantidad de los demás gases que tenga ya en disolución.

209. Coeficiente de absorción. -Con este nombre y el de coeficiente de disolución de un gas con relación a un líquido se expresa la razón del volumen del gas disuelto, al volumen del líquido, estando los dos a la temperatura de cero grados. Este coeficiente varía según los gases y los líquidos, pero es constante para un mismo gas y líquido, aunque, la presión sea diferente, si la temperatura es la misma: pero en cuanto al peso del volumen absorbido, es proporcional al coeficiente de absorción del gas, a su, densidad y a su presión.

Libro tercero

Acústica

LECCIÓN 34. Acústica. -Sonido. Ruido. -Cualidades del sonido. -Propagación del sonido. -Su velocidad. -Causas que modifican la intensidad del sonido.

210. Acústica. -Es la Acústica (del griego akouo yo oigo) la parte de la Física que tiene por objeto el estudio del sonido. También la Música estudia los sonidos, pero es bajo el punto de vista de los sentimientos que despiertan en nuestra alma. La Acústica estudia el sonido tan solo en sus propiedades físicas; la Música considera las sensaciones que produce: bajo el primer aspecto el sonido es un efecto fisiológico y la Acústica una ciencia; en el segundo concepto el sonido es un fenómeno psicológico y la Música, que lo examina, un arte. El físico estudia las vibraciones que corresponden a cada sonido y los varios modos que estos tienen de originarse y propagarse, sin cuidarse para nada de las sensaciones que producen: el músico por el contrario analiza los efectos que los sonidos determinan en nuestro espíritu, sin averiguar la causa que los ocasiona y las vibraciones que los constituyen.

211. Sonido. Ruido. -Dáse el nombre de sonido al resultado de las vibraciones de las moléculas de un cuerpo, cuando llegan a impresionar el órgano del oído. Llámense vibraciones y también ondulaciones y oscilaciones los movimientos rapidísimos de contracción y dilatación que experimentan las moléculas de los cuerpos elásticos cuando por un esfuerzo cualquiera se las separa de su posición de equilibrio entonces se dice que el cuerpo vibra. Estos movimientos ondulatorios van siendo cada vez menores, hasta que al volver las moléculas a la posición primitiva, cesan las vibraciones. Todo cuerpo que vibra transmite la vibración a los cuerpos con quienes está en contacto y al llegar a excitar el órgano del oído se produce el sonido.

La vibración u oscilación es sencilla, cuando sólo comprende su movimiento una ida o una vuelta de las moléculas, es decir, la contracción o la dilatación; y vibración doble o completa, si comprende los dos movimientos de ida y vuelta.

Que el sonido es resultado de las vibraciones de las moléculas se demuestra separando de su posición o pulsando una cuerda tensa y abandonándola a sí misma se perciben las vibraciones a simple vista. De la misma manera colocando en el interior de una campana de cristal, cogida por el botón con la mano y puesta horizontalmente, un pequeño cuerpo metálico y percibiéndola con un golpe para que vibre, se observará que el cuerpo se conmueve con repetidos movimientos. En vino y otro experimento, si se quiere que cesen las vibraciones repentinamente, no hay más que hacer que las moléculas vuelvan al estado de reposo, lo que se consigue colocando la mano u otro cuerpo no elástico o que no vibre encima de la campana.

Distínguese el sonido propiamente tal o musical, del ruido en que el primero causa en nuestro oído, o mejor, en nuestra alma, una sensación agradable y el ruido una impresión discordante o desagradable; sin embargo la diferencia no es tan esencial que permita fijar claramente el carácter de uno y otro.

212. Cualidades del sonido. -En todo sonido se distinguen tres cualidades, la intensidad, el tono y el timbre. La intensidad o fuerza del sonido, depende de la amplitud de las vibraciones; el tono o sea la altura o gravedad del sonido, del número de vibraciones: así los sonidos son graves cuando es corto el número de vibraciones en la unidad de tiempo y por lo tanto su movimiento es lento y agudos si el número de vibraciones en igual tiempo es grande y su velocidad rápida. Y por último se llama timbre un carácter particular que ofrece el sonido, que depende de la naturaleza del cuerpo vibrante. De modo que dos sonidos, aunque se produzcan con el mismo tono e intensidad, puede ser su timbre muy diferente: así el mismo sonido o nota musical producida por la flauta y la trompa son muy distintos en cuanto a su timbre. El timbre en la voz humana se llama timbre de voz. Más adelante nos ocuparemos de la causa probable del timbre.

213. Propagación del sonido. -Puesto que el sonido es el resultado de las vibraciones de las moléculas de los cuerpos elásticos, solo podrá percibirse cuando aquellas vibraciones se transmitan y lleguen al oído por el intermedio de una materia ponderable: esa materia en lo general es el aire: de aquí se deduce que es indispensable un medio material para la transmisión del sonido o que éste no se propaga en el vacío. Demuéstrase colocando debajo de una campana sobre la platina de la máquina neumática, un aparato de relojería (fig. 116) que mueve un pequeño martillo a, que está continuamente cayendo sobre un timbre. A medida que se enrarece el aire, el sonido se va amortiguando hasta que hecho el vacío se ve que el martillo continúa cayendo, las vibraciones se producen, pero como no se transmiten al oído, no hay sonido. Para que la experiencia salga bien conviene colocar el aparato sobre cuerpos no elásticos o que no vibren, como algodón en rama, a fin de que el sonido no se transmita por la platina, al exterior.

El sonido se propaga en, todos los cuerpos elásticos, no sólo en los gaseosos, como el aire, sino también en los líquidos y sólidos. La propagación en el aire se verifica bajo la forma de ondas que son esferas concéntricas, alternativamente enrarecidas y condensadas: de manera que un impulso producido en un punto cualquiera del aire, es como el centro de donde parte la conmoción a todas las moléculas que rodean dicho punto, extendiéndose para formar la esfera u onda sonora y en virtud de su elasticidad y por un movimiento inverso se condensa; pero en el momento de la dilatación las moléculas de la onda comunican su movimiento a las inmediatas, se forma una nueva onda dilatada y condensada que a su vez transmite la velocidad a las que las rodean y así sucesivamente, siendo el impulso cada vez menor hasta que cesa el movimiento y la vibración. Por longitud de la onda o de la ondulación se entiende el espacio que recorre el sonido mientras dura una vibración completa. La longitud es tanto menor cuanto más rápidas son las vibraciones. La propagación en los líquidos se comprueba porque se percibe perfectamente el ruido que producen dos cuerpos al chocar dentro del agua y los buzos (12) cuando están en el fondo de las aguas, distinguen muy bien cuanto se les dice desde la superficie. Esta propagación se verifica también por ondas, como puede demostrarse dejando caer una piedra en la

superficie de las aguas tranquilas; al rededor del punto del choque se van formando círculos concéntricos que tienen una elevación y depresión determinada: si en lugar de una sola piedra se dejan caer varias, se forman al rededor de cada una diversas ondas que se cruzan y pasan entre sí sin confundirse, ni perder su forma.

Respecto a los sólidos aún es más notable la propagación. Si se produce un ruido ligero, como el roce de un alfiler en el extremo de una viga se le percibe perfectamente aplicando el oído al otro extremo. En esto estriba el objeto que en la guerra tienen, en ocasiones, los escuchas centinelas avanzados durante la noche, que tendidos en el suelo aplican su oído a la tierra para conocer a gran distancia los movimientos del enemigo por el ruido de las pisadas, el paso de la caballería o la trepidación de la artillería. De todos estos hechos se deduce la ley general de que el sonido se propaga con tanta mayor intensidad, cuanto más denso es el medio que le trasmite.

214. Velocidad del sonido. -Muchas observaciones y experiencias demuestran que el sonido camina a través los cuerpos con una velocidad variable. Se sabe que la producción del trueno y del relámpago son simultáneos y sin embargo se percibe primero la luz del relámpago y algún tiempo después el ruido del trueno; siendo tanto mayor la diferencia de tiempo, cuanto más distante esté la nube tempestuosa que los origina.

Para determinar cuánta es la velocidad del sonido en el aire, es decir el espacio que recorre en la unidad de tiempo, se hicieron en Francia por el año de 1822 varias experiencias por el Observatorio astronómico, eligiendo al efecto las alturas de Montlhery y Villejuif, separadas entre sí 18'612 metros. En cada punto se hacía un disparo de cañón, observando el tiempo que trascurría entre la percepción de la luz del fogonazo y el estampido, que son simultáneos, y cuyo espacio recorría la luz instantáneamente, dada su gran velocidad, y el sonido tardaba en recorrerle 5", o lo que da una velocidad para el sonido de 340'8 metros por segundo. Esta velocidad se refiere a un mismo sonido e igual temperatura, que en estas experiencias era de 16.º pero si ésta disminuye, la velocidad del sonido decrece también; y si los sonidos tienen distinto origen se ha observado, al parecer, que los producidos con más intensidad se propagan más velozmente, aunque surjan poco después que otros más débiles; así en el ejercicio de fuego de cañón alguna vez se ha percibido a cierta distancia, primero el ruido del disparo y poco después la voz de mando, fuego.

En cuanto a los líquidos la velocidad es mucho mayor que en el aire. Experimentos hechos en el lago de Ginebra el año de 1827, por Colladon y Sturn, dieron por resultado que la velocidad del sonido es de 1435 metros, cuatro veces mayor que en el aire. Y por fin en los sólidos es aún más grande la velocidad, pues según Biot en tubos de hierro fundido, es de 10'5 veces mayor que en el aire, llegando a ser en algunos sólidos hasta 16 veces mayor.

215. Causas que modifican la intensidad del sonido. -La fuerza o intensidad del sonido se halla modificada por varias causas. 1.º Por la distancia a que se encuentre el cuerpo sonoro, estando la intensidad, en razón inversa del cuadrado de la distancia; así un timbre colocado a 50 metros de nuestro oído origina sonidos tan intensos como los producidos por cuatro timbres iguales al primero a la distancia doble de 100 metros. 2.º La intensidad aumenta con la amplitud de las vibraciones; así se observa en una cuerda que a medida que las oscilaciones van decreciendo, el sonido va siendo menor. 3.º La intensidad disminuye si decrece la densidad del medio, que propaga el sonido; en el aire enrarecido y en los gases poco densos, como el hidrógeno, la intensidad se debilita de un modo muy perceptible, tal sucede en las altas montañas donde es necesario hablar muy fuerte para que se perciba la voz y en las elevadas regiones de la atmósfera a donde han llegado los aeronautas, los sonidos se apagan notablemente. 4.º La intensidad aumenta por la proximidad de un cuerpo sonoro que refuerce el sonido, como sucede en todos los instrumentos de cuerda que llevan cajas sonoras de madera, pues de otro modo las cuerdas vibrando aisladas, apenas dan sonidos perceptibles. Experimentalmente se demuestra el refuerzo del sonido por medio de un gran timbre ideado por Sabart al cual se hace producir sonidos: si cuando estos se van debilitando se aproxima un cilindro hueco de cartón de cierta altura y abierto por una de sus bases, para que el aire de su interior vibre al unisón (223) con el timbre se nota que los sonidos aumentan de un modo notable en fuerza y claridad.

LECCIÓN 35. Vibraciones de las cuerdas. -Nodos y vientres. -Sonómetro. -Vibraciones de las placas y membranas. -Figuras nodales. -Vibraciones en los tubos. -Medida del número de vibraciones. -Sirena. -Rueda dentada de Savart. -Método gráfico, óptico y llamas manométricas.

216. Vibraciones de las cuerdas. -Se llaman cuerdas en Acústica, los cuerpos filiformes, de metal o de tripa que pueden vibrar por tensión. Las vibraciones producidas en las cuerdas son en general transversales o en dirección perpendicular a la cuerda, y se excitan pulsando la cuerda, es decir, sacándola de la posición de equilibrio por medio de los dedos o de un arco de crines al que se ha frotado con una materia áspera como la resina; pero también se pueden producir vibraciones longitudinales, frotando las cuerdas en el sentido de la longitud con un trozo de tela dada de resina. Sea la cuerda A B; (fig. 117) si se produce en el centro una pulsación trayéndola a la posición A c B; en el momento en que se encuentre libre pasa rápidamente a A d B, volviendo a la posición anterior y así sucesivamente originándose un movimiento ondulatorio perceptible a la simple vista; movimiento que como en el péndulo compuesto, a causa del rozamiento en los puntos de sostén y la resistencia del aire, va siendo cada vez menor hasta que la cuerda concluye por volver a la posición horizontal. El paso de la cuerda desde la posición A c B a la A d B, o viceversa, se llama oscilación sencilla y la ida y vuelta completas, oscilación doble o completa; el tránsito de e a d o de e a c se llama semioscilación.

217. Nodos y vientres. -Sonómetro. En las cuerdas, como en todo cuerpo que vibra, no todas las partes oscilan con la misma velocidad y hasta algunas aparecen tranquilas o sin vibración sensible; esos puntos que permanecen en reposo, mientras el resto de la cuerda vibra, se llaman nodos o puntos nodales y las partes vibrantes se denominan concameraciones, llamándose vientre la porción más dilatada de la onda. Para poner de manifiesto los nodos y vientres y estudiar al mismo tiempo las leyes relativas a las vibraciones de las cuerdas, se hace uso del aparato conocido con el nombre de sonómetro o monocordio (del griego monos uno y cordion cuerda) si solo tiene una cuerda y que fue inventado por Montu de París. Consiste en una caja de madera para reforzar el sonido (fig. 118) con dos puentes fijos A y B entre los cuales hay una escala y a uno y otro lado divisiones que representan la escala musical; una o dos cuerdas fijas por un extremo pasan por los puentes y por una o dos poleas P y en su otro extremo se colocan pesos para que permanezcan con la tensión conveniente: puentes móviles colocados en diferentes puntos debajo de las cuerdas hacen variar su longitud. Si se pone un puente móvil en el tercio de una cuerda y se la hace vibrar en la porción menor, aparecen en la parte mayor un nodo en el medio y dos vientres, cuya existencia se manifiesta colocando sobre la cuerda o mejor atravesándola, unos discos de papel y se verá que en el momento de vibrar la cuerda, el papel del medio permanece flojo, lo cual prueba que allí no hay movimiento y los restantes son lanzados a diferentes distancias en virtud del impulso de la vibración. Mayor número de nodos y vientres aparecen si se coloca el puente móvil a un cuarto o un quinto de la longitud de la cuerda. El cálculo y la experiencia demuestran que las vibraciones transversales de las cuerdas están sujetas a las leyes, siguientes en las cuales figuran la longitud, el diámetro, la tensión y la densidad.

1.^a Para una misma tensión y diámetro, en cuerdas de la misma materia, el número de vibraciones, en el mismo tiempo, está en razón inversa de las longitudes.

2.^a Para una misma longitud y tensión, el número de vibraciones está en razón inversa del diámetro.

3.^a Para un mismo diámetro y longitud, el número de vibraciones es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la tensión.

4.^a Para el mismo diámetro, longitud y tensión, el número de vibraciones es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su densidad.

Todas estas leyes tienen inmediata aplicación en los instrumentos de cuerda, en los cuales dándolas diferentes diámetros y tensión y pisándolas en puntos distintos para hacer variar su longitud, se producen sonidos muy diferentes.

218. Vibraciones en las placas y membranas. -Figuras nodales.- Hácense vibrar las placas sujetándolas por su centro frotándolas en los bordes con un arco o por un punto cualquiera de su superficie y excitándolas, por el centro, donde hay una abertura que se

frota con cuerdas de crines dadas de resina. Al vibrar la placa no todas sus partes se conmueven, sino que presentan puntos o líneas que permanecen en reposo y que originan por su reunión las figuras nodales que afectan formas simétricas. Se hacen visibles estas figuras espolvoreando sobre una placa arena finísima y produciendo en aquella un sonido, aparece en seguida la figura nodal, pues la arena es lanzada de los puntos que vibran y permanece tranquila en las líneas nodales. Hase observado que el sonido más bajo que se puede producir en una placa origina la figura nodal más sencilla y viceversa, el más alto la más complicada; y que el mismo sonido produce siempre la misma figura, nodal. Las membranas que vibran es preciso ponerlas tensas como en los timbales y tambores o en marcos de madera a propósito, produciendo sonidos tanto más agudos cuanto menor es su superficie y mayor su tensión. Las membranas dan sonidos por percusión o aproximándolas a un cuerpo sonoro: pues si se coloca una membrana inmediata a un cuerpo que está vibrando, como un timbre, las ondas del aire determinan vibraciones en la membrana, apareciendo en ellas, como en las placas, figuras nodales.

219. Vibraciones en los tubos. -Llámense tubos sonoros los que producen sonidos por la vibración del aire que tienen en su interior y constituyen los llamados instrumentos de viento. Un mismo tubo puede producir sucesivamente sonidos más o menos altos con sólo forzar la corriente de aire que le hace vibrar; dependiendo por lo tanto los sonidos de la vibración del aire y no de la naturaleza del tubo, pues éste sólo hace variar el timbre. No toda la columna de aire contenida en el tubo, vibra, pues hay puntos inmóviles o nodos y secciones donde el aire adquiere la mayor amplitud en la vibración o sea un vientre. Demuéstrase la existencia de los nodos y vientres en los tubos, (fig. 119) por medio de una membrana fina pegada a un aro de cartón sostenido por una cuerda a manera de platillo de balanza en la cual se coloca arena fina; si se introduce lentamente en un tubo que esta sonando, se nota que en ciertos puntos la membrana no se conmueve y la arena permanece tranquila pero en otros vibra y la arena es lanzada con más o menos fuerza.

220. Medida del número de vibraciones. -La importancia de la medición del número de vibraciones de los cuerpos sonoros, ha hecho se inventasen diversos procedimientos, algunos muy ingeniosos que dan a conocer el número de vibraciones y sus más pequeñas irregularidades, que corresponden a cada sonido particular. Tales son el método de los contadores, el gráfico, el óptico y el de las llamas manométricas: indicaremos muy sucintamente cada uno de estos métodos. En el procedimiento de los contadores se emplea la sirena y la rueda dentada de Sabart.

A. Sirena. -Este aparato ideado por Cagniar Latour, lleva el nombre de Sirena porque puede producir sonidos debajo del agua. Consta su mecanismo interior de un tubo de cobre C (fig. 120) que se coloca sobre un fuelle acústico que ha de originar la corriente de aire, que, pasando por el tubo llega al aparato formado por una caja A B de cobre cuya base superior es un disco fijo con varios agujeros equidistantes del centro; del disco arranca un

vástago vertical que en su base tiene otro disco que gira con él y cuyo disco lleva otros tantos orificios de igual diámetro y dispuestos a la misma distancia, pero inclinados con relación al eje y formando ángulo con los orificio, del disco fijo. El vástago en su parte superior lleva una sección de tornillo sin fin que engrana en una rueda dentada B, que en su centro tiene una aguja contadora, sobre un círculo graduado. Esta rueda que avanza un diente por cada revolución del disco móvil, lleva una pequeña palanca de modo que en cada rotación, choca contra otra rueda R' y la hace avanzar el espacio de un diente: esta rueda también tiene en su centro una aguja que gira sobre un cuadrante. La primera rueda, y por consiguiente su aguja, indica el número de vueltas, que da el disco y la segunda las centenas de vueltas. Tan pronto como la corriente de aire del fuelle pasa por los orificios del disco inferior fijo, al atravesar los del móvil los hiera, oblicuamente y le pone en movimiento; pero a poco se intercepta la salida del aire cuando no coinciden los orificios y dejaría de moverse el disco superior si en virtud de la velocidad adquirida no pusiese de nuevo enfrente dos orificios, resultando un nuevo impulso y siendo la velocidad de rotación sumamente rápida no se notará intervalo alguno y la vibración o el sonido sera continuo. Cuando el disco adquiere una determinada velocidad y por consecuencia un sonido dado, para lo cual se fuerza la corriente de aire del fuelle, se mantiene en ese estado por ejemplo dos minutos o sean 120 segundos y leyendo en los cuadrantes de los contadores las vueltas que ha dado el disco, se multiplica este número por el de orificios y se divide el producto por el tiempo o sea los 120 segundos, cuyo cociente indica el número de vibraciones dobles que dio el sonido por segundo. Si a la sirena se le imprime el mismo movimiento debajo del agua o con diferentes gases, el sonido que resulte será el mismo, lo cual prueba que depende del número de vibraciones y no de la naturaleza del cuerpo vibrante.

B. Rueda dentada de Sabart. -Por medio de esta rueda se conoce el número absoluto de vibraciones que corresponden a un sonido. Una rueda de cobre colocada sobre un eje horizontal gira con gran rapidez por medio de una cuerda sin fin que pasa por otra rueda a la cual se imprime una gran velocidad: los dientes de la rueda hacen vibrar un naípe fijo, cuyas vibraciones se transmiten por el eje de la rueda a un contador.

C. Método gráfico. -Por este procedimiento se trazan las vibraciones sobre un papel mediante un ligero punzón fijo en el cuerpo sonoro. Duhamel dispuso el aparato con un cilindro de metal colocado vertical u horizontalmente que gira alrededor de su eje: sobre el cilindro se arrolla una hoja de papel cubierta de una capa de negro de humo. El cuerpo que va a vibrar se fija por un extremo y en el otro se pone un ligero punzón que puede rozar suavemente el papel. Al girar el cilindro, mientras vibra el cuerpo, el punzón traza una línea ondulada con tantas ondulaciones como vibraciones haya producido el cuerpo; y para conocer cuánto tiempo han durado las vibraciones se comparan con las que señale en el mismo papel un diapason (227) cuyas vibraciones por segundo sean conocidas.

D. Método óptico. -Este método ideado por Wheaststone en Inglaterra en 1827, reproduce en ráfagas laminosas las vibraciones sonoras por medio del aparato que denominó Kaleidofono. El procedimiento ha sido perfeccionado por Lissajous, sirviéndose de diapasones como cuerpos sonoros que llevan fijos en una de sus ramas pequeños reflectores, consiguiendo así dibujar con, líneas de luz, curvas que representan las vibraciones.

E. Llamas manométricas. -Últimamente Kœnig ha logrado transmitir las vibraciones de los cuerpos sonoros a llamas de gas, que con sus oscilaciones indican las vibraciones y la naturaleza de los sonidos.

En todos estos métodos hay detalles, fórmulas y consideraciones cuyo conocimiento corresponde a los estudios superiores de la Física.

LECCIÓN 36. Reflexión del sonido. -Ecos y resonancias. -Bocina. Trompetilla. -Tubos acústicos. -Estetoscopio.

221. -Reflexión del sonido. -Si las ondas sonoras al propagarse en el aire o en los cuerpos líquidos o sólidos encuentran en su camino algún obstáculo, chocan con él y retroceden, es decir, se reflejan siguiendo las leyes generales de la reflexión de los cuerpos elásticos (105), formando el ángulo de incidencia igual al de reflexión y hallándose tanto el uno como el otro en el mismo plano perpendicular a la, superficie reflectante. Sea P (fig. 21) un punto donde se origina un sonido que se propaga en el aire bajo la forma de ondas que se reflejan sobre la superficie A B: considerando la onda M N, al retroceder, por su choque contra el plano, forma la sección C O D; la propagación en línea recta PC constituye el rayo sonoro incidente, que con la normal C R al punto de contacto, forma el ángulo de incidencia PC R y la dirección que sigue la onda después del retroceso o sea C F forma el rayo sonoro reflejado, que con la misma normal origina el ángulo R C F de reflexión. Si la superficie reflectante en lugar de ser plana es curva, la reflexión se verifica siguiendo las mismas leyes, pero las ondas después de reflejadas concurren todas en un punto que recibe el nombre de foco; lo cual no podría suceder si los ángulos de incidencia y de reflexión no fuesen iguales. Verdad física que demostraremos en el estudio del calor radiante, que se refleja siguiendo las mismas leyes. Ahora solo diremos que si en el foco de un espejo cóncavo se pone un reloj de bolsillo y una persona aplica su oído por medio de un tubo de goma al foco de otro espejo, colocado a cierta distancia y de modo que sus ejes estén en línea recta, oirá distintamente las pulsaciones del reloj. Por esta razón si en el caso de la figura 121, se halla una persona en el punto F del rayo sonoro reflejado, percibirá primero el sonido directo, originado en el punto P y poco después el que lleva a su oído el rayo reflejado C F. Este segundo sonido recibe el nombre de eco. La reflexión de las ondas se verifica lo mismo en los cuerpos líquidos, pues cuando se produce una conmoción en la superficie tranquila de las aguas, las ondas al llegar a los bordes u orillas retroceden, reflejándose, según las leyes indicadas.

222. Ecos y resonancias. -Según lo dicho en el párrafo anterior, se llama eco la repetición de un sonido o de una serie de sonidos por la reflexión de las ondas del aire sobre un plano u obstáculo cualquiera. Para que se perciba el eco es necesario que la persona se encuentre a la distancia, lo menos, de 17 metros del plano de reflexión (fig. 21). En efecto, para distinguir con claridad un sonido, de otro sonido consecutivo, es preciso que medie

entre los dos, un décimo de segundo; y caminando el sonido en el aire 340 metros por segundo, la décima parte de este número es 34 metros; espacio que ha de recorrer el sonido directo y después el reflejado, si se han de distinguir claramente uno de otro; luego la mitad de ese espacio o sea 17 será el que ha de recorrer el sonido reflejado y a esa distancia deberá hallarse la persona. Si el sonido es articulado, la distancia tiene que ser mayor, porque no pudiendo percibirse con claridad más que cinco sílabas por segundo, en la quinta parte de 340 recorrerá el sonido 68 metros y su mitad 31 será la distancia a que se ha de hallar el observador para percibir el eco, que siendo entonces de un sonido, se llama monosílabo. Si la distancia se hace dos, tres... veces mayor, el sonido se repetirá dos, tres... veces o será bisílabo, trisílabo etcétera. Si el mismo sonido se repite muchas veces por la reflexión en dos obstáculos paralelos, como dos paredes convenientemente dispuestas, ese eco se llama múltiple. Cítanse varios ejemplos de ecos famosos por el número de sonidos que repiten: tales son el de la tumba de Metelo, en Roma, que se dice repetía hasta ocho veces un verso hexámetro: el del castillo de Simonetta, en Italia, que repite según Kircher, 50 veces el disparo de un arma de fuego; el de Coblenza 17 veces una palabra y otros muchos.

Si en vez de hallarse la persona que ha de percibir el eco a la distancia de 17 metros, se encuentra más próxima al plano de reflexión, entonces el sonido reflejado se confunde con el directo y resulta la resonancia, que no es más que el sonido reforzado o de mayor intensidad. Conviene que haya resonancia en todos aquellos casos en que una sola persona tiene que dirigir la palabra a numeroso auditorio y por lo mismo en sitio espacioso; de esa manera el orador no necesita esforzarse mucho y todos los oyentes perciben claramente las palabras: así debe suceder en los salones de los Congresos, en las Iglesias y en los Teatros, que deben hallarse contruidos con las condiciones acústicas necesarias para que el sonido se refuerce. La resonancia, consecuencia de encontrarse en un punto o foco las ondas, sonoras, es notable en muchas bóvedas, debajo de los arcos de los puentes, etc. Si se coloca una persona en el foco F (fig. 122) puede percibir distintamente lo que se habla en voz baja, en el otro foco F', aún cuando no sea perceptible para otras personas colocadas en el medio. Ejemplos de estos focos acústicos son la sala del eco del Conservatorio de Artes y Oficios de París y la sala del secreto de la Alhambra de Granada.

A. Bocina. -Este instrumento así llamado porque sirve para transmitir la voz a grandes distancias, está fundado en la reflexión del sonido en el interior de los tubos, que da por resultado una resonancia o refuerzo del sonido. Consta de un tubo largo de hoja de lata o latón barnizado, de figura cónica cuya abertura mayor lleva un ensanchamiento llamado pabellón y la menor un reborde donde puede acomodarse la boca. Con ella se trasmite la voz tanto más lejos cuanto mayor es su longitud, siempre que no sea excesiva. Este aparato que se dice fue conocido en tiempo de Alejandro Magno y usado en la guerra, tiene hoy especiales aplicaciones en los grandes incendios y a bordo de los buques, para hacer oír a gran distancia, las voces de mando.

B. Trompetilla acústica. -Instrumento fundado también en la reflexión del sonido y que sirve para las personas que tienen dureza en el oído. Es una pequeña bocina con la diferencia de que se usa aplicándola por la parte estrecha al conducto auditivo externo de la persona tarda de oído y por el otro extremo o sea el pabellón se habla en voz natural, cuyos sonidos refuerza la trompetilla.

C. Tubos acústicos. -Como los anteriores son aparatos fundados en la propagación y reflexión del sonido en el interior de los tubos. Están formados de goma elástica o metal y con ellos se trasmite claramente la voz. Son de mucho y excelente uso en los grandes edificios, en las fondas etcétera, donde se habla de un piso a otro en voz natural por medio de uno de estos tubos. Úsanse asimismo a bordo de los buques de vapor, donde el ruido de la máquina hace indispensable reforzar la voz para transmitir órdenes.

D. Estetoscopio. -Con este nombre se conoce en Medicina un instrumento que sirve para auscultar (del latín auscultare escuchar), es decir para conocer el estado de los órganos respiratorios o los pulmones por el sonido que producen en el interior y que se percibe aplicando al pecho el aparato. El más usado es el de Koenig. Consiste en una pequeña caja rectangular de cobre cubierta con una membrana de cautchú, y dividida en dos compartimientos por otra membrana: introduciendo aire por una abertura lateral provista de llave toma la forma de lenteja; por último del centro de la caja sale un tubo de goma que termina en una boquilla estrecha de marfil. Aplicando la membrana del estetoscopio al pecho del enfermo y la boquilla al oído del operador, se puede apreciar los latidos del corazón o el ruido de la respiración y por ellos conocer su estado normal o enfermo.

LECCIÓN 37. Teoría física de la música. Unisón. -Acorde. Intervalo. -Escala musical. -Sostenido y Bemol. -Diapasón. -Timbre de los sonidos. -Órgano de la voz. -Órgano del oído.

- I -

223. Teoría física de la música. Unisón. -Llámase sonido musical el producido por vibraciones rápidas e isócronas que causa en el oído una sensación agradable y armoniosa. Tiene por carácter este sonido, que se le puede comparar con otros sonidos y ponerlo al unisón, cualidad de que carece el ruido. Dos sonidos están al unisón cuando son originados por un mismo número de vibraciones y por lo tanto tienen el mismo tono. (212) Se denomina Música la combinación variadísima de los sonidos armoniosos capaz de conmover los sentimientos y pasiones de nuestro espíritu.

224. Acorde. Intervalo. -Llámase Acorde la coexistencia de varios sonidos cuyo conjunto impresiona agradablemente: si la sensación que producen es desagradable, es decir, si los acordes están mal enlazados o combinados, se llama discordancia o disonancia. La razón

en que se halla el número de vibraciones de dos sonidos o el espacio que uno de ellos ha de recorrer para llegar al unisón con el otro, se llama intervalo. El sonido que representan es

mayor que el de n, es decir, que el sonido más agudo forma el primer término. Cuanto más pequeños sean los números que representan el de las vibraciones contenidas en los dos términos de la razón más agradable será la sensación y entonces se dice que hay consonancia.

225. Escala musical. -Puesto que la música, como arte, es un lenguaje, tiene su verdadero alfabeto o serie de sonidos fundamentales, separados entre sí por intervalos: esta serie de sonidos constituyen la escala musical y como en ella se repiten los sonidos por períodos de siete, cada periodo se llama gama y sus sonidos o notas se distinguen con los nombres de do-re-mi-fa-sol-la-si. Como el número de vibraciones que corresponden al do fundamental es arbitrario, pueden considerarse muchas series de gamas, pero se ha convenido en elegir como punto de partida, aquella cuyo do corresponde al sonido más grave del bajo, distinguiéndose las notas de esta gama con el índice 1 así do, re,..., y para las que siguen mas altas, do² re²... do³ re³...

Si se representa por 1 el sonido más grave o sea el do, el número relativo de vibraciones correspondiente a las demás notas se expresa en fracciones, del modo siguiente:

A esta serie o gama siguen otras en las cuales en número de vibraciones que corresponde a cada nota, es doble de las de la misma nota en la gama anterior. La armonía de una escala es siempre la misma, cualquiera que sea el número de vibraciones de la primera nota fundamental, porque las sucesivas que forman la gama, guardan entre sí la misma relación indicada: sin embargo, para que en esto haya la uniformidad tan necesaria y un punto de partida común, se ha convenido en tomar la nota la normal que consta de 870 vibraciones por segundo y es la que da el tono o sirve para afinar los instrumentos, principalmente los de cuerda.

Las fracciones que acabamos de indicar representan también los intervalos de las seis notas últimas con relación a la primera; siendo el mayor intervalo de do a do que se llama octava. Tales son en conjunto.

Notas..... do-re-mi-fa-sol-la-si-do

Número relativo de vibraciones.

Intervalos

Hay, pues, intervalos diferentes que son

el mayor y se llama tono mayor;

o sea el tono menor y

el más pequeño, llamado semi-tono mayor. La escala musical se considera diatónica o cromática, la primera procede por tonos y semi-tonos mayores; la segunda por semi-tonos.

226. Sostenido. Bemol. -Entre las notas de la gama se han intercalado otras que se llaman sostenido y bemol. Sostener una nota es aumentar el número de sus vibraciones en la relación de 24 a 25; y bemolizarla por el contrario disminuir ese número en la relación de 25 a 24. Indícase que una nota está sostenida, por medio del signo \sharp y que está bemolizada por \flat . Las notas que no tienen alteración ninguna en sus sonidos, se llaman naturales.

227. Diapasón. -Con el objeto de producir una nota fundamental que sirva para afinar los instrumentos músicos, se ha ideado el aparato llamado diapasón (fig. 123) que es una barra de acero bien templado encorvada a manera de pinza y colocada en lo general en una caja de refuerzo. Se la hace vibrar por varios modos, pero lo común es por medio de un cilindro de hierro que pasa forzado por entre las dos ramas. El número de vibraciones correspondientes a la nota que produce el diapasón, ha sido diferente, y como esto es un inconveniente si en los diferentes países ha de variar el tono de los sonidos porque varíe el número de sus vibraciones, se ha tratado de establecer un diapasón normal que dé un número de vibraciones constante; éste es el de 870 vibraciones sencillas ó 435 dobles y equivale a la nota la que se representa a_3 pues corresponde a la tercera gama.

228. Timbre de los sonidos. -Se ha ignorado durante mucho tiempo la verdadera causa del timbre, pero los trabajos delicados, hechos con el mayor esmero por H. Helmholtz, físico inglés, sobre el análisis y la síntesis de los sonidos, han venido a manifestar, que el timbre particular que distingue a cada sonido, es debido a la serie de armónicos que le acompañan; es decir, a los sonidos que por la resonancia o por otras causas acompañan a un sonido dado y cuyo número de vibraciones son entre sí como la serie de los números 1, 2, 3, 4, 5... El número de armónicos que acompañan a cada instrumento de música son diferentes: en la voz humana, en las cuerdas y en los tubos sonoros son numerosos; Koenig con su aparato de las llamas manométricas ha hecho visible el timbre de las vocales.

229. Órgano de la voz. -Este aparato con el cual el hombre puede producir variedad de sonidos articulados, consta de los pulmones, de donde sale el aire; de los bronquios, tubos que se ramifican en los pulmones y se reúnen en uno (traquea) de paredes elásticas que asciende hacia la base interior del cuello y termina en la laringe, en la parte superior forma la glotis que se ensancha en su centro formando los ventrículos de la laringe, cubiertos por dos repliegues membranosos llamados cuerdas vocales, y por último una membrana a manera de válvula puede cerrar la abertura de la glotis en el momento del paso de los alimentos al estómago y se llama epiglotis. Esta abertura, se halla en el fondo y parte anterior de la boca, en la cual y en las fosas nasales se modifican los sonidos.

El órgano de la voz se ha comparado a los instrumentos de música que producen los sonidos por medio de tubos y boquillas o mejor a un instrumento de viento, en que los pulmones son los fuelles que lanzan la corriente de aire, la traquea el tubo que la conduce, la glotis el sitio donde se origina el sonido y las partes de la boca los diferentes puntos donde se modifica y articula; de modo que la producción del sonido y la voz articulada, es fácil de comprender. El aire entra y sale continuamente en los pulmones, sin que se produzca sonido alguno, mientras las partes de la laringe no tomen la tensión necesaria para entrar en vibración. Que el sonido se produce en las paredes de la laringe o cuerdas vocales, lo comprueba el que si se hace una incisión en la traquea, el aire saldrá al exterior por esta abertura y no hay sonido; desde la laringe el aire en vibración llega a la boca, donde ligeramente modificado, origina los sonidos elementales llamados vocales y modulado articulado en la lengua, los dientes, los labios y la bóveda del paladar, da origen a las consonantes que los gramáticos distinguen con los nombres; de linguales, dentales, etc. Los sonidos de la voz son tanto más agudos cuanto menos espesor y más delicadeza tienen las partes de la laringe y ésta se halla más contraída o más tensa.

230. Órgano del oído. -El hombre que goza del don precioso de articular los sonidos produciendo la palabra, tiene también la facultad de apreciar los sonidos en todos sus detalles, si bien la sensibilidad de este aparato no es en él tan notable como en muchos animales. El órgano del oído ha sido dividido para su estudio, en tres partes, oído externo, oído medio y oído interno.

A. Oído externo. -Lo forman el pabellón y el conducto auditivo externo El pabellón u oreja está formado por una membrana fibrocartilaginosa y elástica con varias eminencias que convergen hacia un punto, interior, cuyo objeto es que lleguen, por reflexión, el mayor número posible de ondas sonoras, al interior del oído; siendo notable el trago (del griego tragos macho cabrio) que se halla en frente del conducto auditivo y se llama así, porque en lo general está cubierto de pelos. Demuestra el uso del pabellón, el que si se tapiza una de las orejas con una materia pastosa, cera reblandecida por ejemplo, de modo que quede una superficie perfectamente lisa, se perciben mucho peor los sonidos con el oído correspondiente a ella, que con la que está en su estado natural. El pabellón se halla unido

al conducto auditivo el cual termina en una membrana delgada y tensa llamada membrana del tímpano.

B. Oído medio. -En la terminación del conducto auditivo externo existe una cavidad denominada caja del tímpano que constituya el oído medio: por su parte anterior ya hemos dicho que se halla cubierta por una membrana semejante al parche de un tambor y en la parte opuesta, tiene dos aberturas llamadas por su forma ventana oval y ventana redonda cubiertas con su correspondiente membrana. Desde la membrana del tímpano a la ventana oval se extiende una cadena de huesecitos denominados martillo, yunque, lenticular y estribo. La caja del tímpano comunica con las fosas nasales y por lo tanto con la boca, por medio de un conducto llamado trompa de Eustaquio.

C. Oído interno. -Inmediatamente detrás de la ventana redonda hay un canal en forma de espiral llamado caracol, y a continuación de éste, pero volviendo hasta la membrana oval, otra cavidad denominada vestíbulo a la cual llegan tres pequeños canales llamados semicirculares, que con los anteriores forman el laberinto, nombre que también se da a todo el oído interno. El laberinto está lleno de un líquido llamado linfa de Cotugni y en él están sumergidos los filetes o ramificaciones del nervio acústico que llega hasta el cerebro.

D. -Mecanismo de la audición. -Un cuerpo vibra y produce sonidos, los cuales transmitidos por el aire bajo la forma de ondas y recogidos por el pabellón penetran en el conducto auditivo, llegando a herir la membrana del tímpano, que vibra y trasmite la vibración por la cadena de huesecillos y el aire del oído medio, a las membranas de las ventanas oval y redonda y al laberinto y conmoviéndose o vibrando la linfa comunica la excitación a los filetes nerviosos que la llevan al cerebro, donde el alma se hace cargo de ella. La linfa es la parte verdaderamente esencial del oído, pues las demás partes pueden desaparecer sin que por eso dejen de percibirse más o menos los sonidos: pero si se derrama la linfa la sordera es completa; lo cual prueba que los nervios no pueden recibir la impresión directamente sino por el intermedio de una materia fluida.

La distancia a que un oído bien organizado puede percibir los sonidos varía mucho, dependiendo en general de la intensidad del sonido del cuerpo vibrante y del medio que trasmite la vibración; siendo lo más notable que se observa en el oído, que este aparato puede distinguir un sonido de otros varios, sin que haya entre ellos confusión. Helmholtz lo explica porque hallándose al parecer demostrado que las ramificaciones del nervio acústico están formadas por cerca de 3000 fibras, cada una de estas tenuísimas fibras vibra al unísono con un determinado sonido simple, siendo insensible para los demás, de donde resulta que cada sonido simple hace vibrar una fibra y los compuestos conmueven dos o más.

Libro cuarto

Calor

Capítulo I

Generalidades e hipótesis sobre el calor. Termometría

LECCIÓN 38. Calor. -Hipótesis acerca de su naturaleza. -Teoría dinámica. -Efectos generales del calor. -Medida de las temperaturas. -Termómetros. -Termómetro de mercurio. Diferentes escalas termométricas.

231. Calor. -Hipótesis acerca de su naturaleza. -Bajo la denominación de fluidos incoercibles e imponderables se conocen aún ciertos agentes físicos de materia sutilísima y sin peso, que al obrar sobre los cuerpos dan origen a todos los fenómenos: son esos fluidos, además de la atracción, el calórico, el lumínico, el magnetismo y la electricidad. De aquí que la palabra calórico haya servido y aún sirve en la actualidad según algunos, para indicar la causa de los fenómenos del calor, si bien según la nueva doctrina que hoy domina en la Física, el calor, que ha sido considerado durante mucho tiempo como un fluido particular y misterioso, de naturaleza desconocida y que origina las sensaciones de calor o de frío; que hace hervir los líquidos y funde los metales, no es más que resultado del movimiento vibratorio de las moléculas de los cuerpos. En efecto, conocidos en todos tiempos los fenómenos del calor, hanse ideado muy diversas hipótesis para explicar la causa que los origina y entre todas ellas, dos principalmente se han disputado el predominio en la ciencia. La hipótesis de la emisión o de las emanaciones y la hipótesis de las vibraciones u ondulaciones.

A. Hipótesis de la emisión. -Este sistema patrocinado por Newton, Laplace y otros sabios, admite que la causa del calor es un fluido material, pero imponderable o sin peso, llamado calórico, que está continuamente emitiéndose o emanándose de los cuerpos y que pasa de unos a otros, con velocidad extraordinaria, a través del espacio en línea recta y cuyas moléculas materiales están dotadas de una gran fuerza de repulsión. Según esta hipótesis un cuerpo que emite mucho calor se enfría. Esta teoría que también se ha aplicado a los fenómenos de la luz, ha sido abandonada, porque es ineficaz para explicar ciertos hechos, principalmente luminosos, como no sea atribuyendo nuevas y muy diversas propiedades, además de las conocidas, a esos agentes físicos; y no explica en manera alguna los fenómenos del magnetismo y de la electricidad, como lo hace la hipótesis de las vibraciones.

B. Hipótesis de las vibraciones. -La exposición científica y racional de los principios en que descansa esta hipótesis, débese al genio analítico y pensador del gran Descartes; confirmada más tarde y sobre todo en la época actual, por los magníficos trabajos y descubrimientos de numerosos sabios. Esta teoría, sencilla en su fundamento, es la más racional, la que explica perfectamente todos los fenómenos, ¿habiendo uno solo de que no dé razón satisfactoria, cumpliendo así con la condición lógica de toda hipótesis.

El calor, en esta hipótesis, es resultado del movimiento vibratorio rapidísimo de las moléculas de los cuerpos; allí, pues, donde una molécula vibre o se conmueva por el frotamiento o por otra causa, se desarrolla calor, tanto más intenso, cuanto más rápido sea

el movimiento molecular: esto es un hecho evidente y en él no aparece la hipótesis. Pero para explicar cómo ese calor desarrollado por la acción del movimiento de las moléculas, trasmite por el espacio y pasa de unos cuerpos a otro, penetrando en su interior, se supone la existencia de una materia sutilísima, perfectamente elástica, esparcida en todo el universo y que se, halla lo mismo, en el vacío, que en el interior de todos los cuerpos, aún los más compactos, cuya sustancia se llama éter o materia etérea. Al vibrar, pues, un cuerpo, vibra también el éter que tiene en su interior, produciendo, ondas que se propagan por el espacio con una amplitud y por lo tanto alcanzando una extensión proporcional al impulso recibido; y según sea esa amplitud o su rapidez, así origina calor, luz o electricidad. He aquí la hipótesis que además de explicar con gran facilidad todos los efectos del calor, tiene la ventaja de que también da razón de los fenómenos de la luz y de la electricidad y con ella desaparece esa fuerza llamada acción a distancia que nada significa y de que tendremos ocasión de hablar. En esta hipótesis todo se explica por movimientos de la materia y de aquí el nombre que también lleva de teoría dinámica, que aplicada al calor se llama más particularmente teoría termo-dinámica.

232. Teoría dinámica del calor. -Partiendo del principio fundamental de que el calor es producto del movimiento molecular, hubo necesidad de estudiar en qué se convierta ese calor cuando desaparecía en los cuerpos. Esa desaparición es aparente; pues el calor al cesar en sus efectos se trasforma en movimiento, así como el movimiento se convierte en calor, de modo que existe una relación constante entre un determinado trabajo específico y el calor necesario para producirlo y viceversa, lo cual constituye el equivalente mecanismo del calor (295). He aquí, pues, que todo fenómeno de calor es una consecuencia de la comunicación o transformación del movimiento y recíprocamente.

233. Efectos generales del calor. -El primer efecto que produce el calor al desarrollarse en los cuerpos es el de dilatarlos y hacerlos cambiar de estado. La dilatación no es más que la separación de las moléculas de los cuerpos y por consecuencia el aumento de volumen. Si la dilatación crece consecuencia, de la mayor cantidad de calor, los cuerpos pueden cambiar de estado, es decir, pasar de sólidos a líquidos o gases y viceversa si el calor disminuye, en cuyo caso las moléculas se contraen y el cuerpo se reduce a menor volumen.

234. Dilatación. -Todos los cuerpos se dilatan por el calor; siendo los más dilatables los gases y los menos los sólidos. En estos últimos se consideran dos clases de dilatación, la lineal y la cúbica: por la primera aumenta el cuerpo en longitud o en una sola dimensión y por la segunda en volumen. Demuéstrase que los sólidos se dilatan longitudinalmente por medio de un aparato (fig. 124) en el que se fija la barra que se va a ensayar por el extremo A, apoyándose el otro extremo B en el brazo de una aguja que puede girar en un

semicírculo graduado: un depósito cilíndrico que se halla debajo de la barra tiene una mecha empapada en alcohol que se enciende apenas la barra se calienta, se dilata y hace que la aguja vaya corriendo por las divisiones del cuadrante. La dilatación cúbica o en volumen se demuestra por medio del aparato llamado anillo de S'. Gravessande que consiste (fig. 125) en un anillo metálico por el cual pasa casi rasando a la temperatura ordinaria una esfera de metal: si ésta se calienta, aumenta de volumen y ya no pasa por el anillo.

Que los líquidos y los gases se dilatan o contraen por el aumento o disminución de calor, lo comprueban los aparatos de que vamos a hablar.

235. Termómetros. -Llámase temperatura la cantidad de calor sensible que posee un cuerpo: si esa cantidad aumenta o disminuye se dice que la temperatura sube o baja. Los aparatos destinados a medir las temperaturas, reciben el nombre de termómetros (del griego termos calor y metron medida). Cuatro clases se conocen de termómetros: 1.^a termómetros propiamente dichos que sirven para temperaturas ordinarias: 2.^a termóscopos que aprecian cantidades pequeñas de temperatura de dos lugares próximos: 3.^a termómetros de máxima y mínima temperatura, que dan a conocer el mayor o menor grado de calor que adquiere un cuerpo o un espacio durante un período de tiempo determinado y 4.^a pirómetros que indican las más altas temperaturas.

236. -Termómetro. -La invención de este utilísimo instrumento se debe a Drebbel que lo dio a conocer a principios del siglo XVII, aunque algunos le atribuyen al ilustre Galileo: de todos modos, fue en un principio muy imperfecto, pero perfeccionado posteriormente y tal como se conoce en el día, se construye con líquidos, que se dilatan un término medio entre los sólidos y los gases. Entre ellos se da la preferencia al mercurio y al alcohol; el primero, porque es metal que se dilata con regularidad, no moja el tubo y resiste sin gasificarse temperaturas bastante elevadas; aunque no sirve para temperaturas muy bajas o grandes fríos, porque se solidifica y, sus dilataciones son ya irregulares; para esos casos se emplea el alcohol teñido de rojo, que no se solidifica consiste el termómetro en un tubo de vidrio, capilar, terminado por un extremo en un depósito esférico o cilíndrico, a veces en espiral con mercurio o alcohol y una escala que indica lo que el líquido se dilata o contrae. Por lo tanto la construcción de un termómetro comprende tres operaciones: 1.^o elección del tubo: 2.^o introducción del líquido y 3.^o la graduación. -Estudiaremos estos detalles en el termómetro de mercurio.

A. Tubo termométrico. Ha de estar bien calibrado, es decir ha de tener el mismo diámetro en toda su extensión, pues de lo contrario las divisiones iguales de la escala, no corresponderán a iguales dilataciones del mercurio. Conócese que un tubo está calibrado, introduciendo en su interior un índice o pequeña columna de mercurio y haciéndole recorrer toda la extensión del tubo, si el índice tiene la misma longitud en todo el trayecto,

el tubo está calibrado. Entonces por procedimientos que no son de este lugar, se forma en su extremo un depósito esférico o cilíndrico, mejor cilíndrico y en el otro se suelda una especie de embudo.

B. Introducción del mercurio. -Colocando mercurio en una especie de embudo, se calienta por la parte inferior, el aire se dilata y en parte sale por el embudo, entonces obrando la presión atmosférica, obliga al mercurio a penetrar dentro del tubo: se repite la operación hasta que el depósito y una porción del tubo estén llenos de mercurio; calentándole de nuevo hasta que el líquido produzca vapores que expulsen todo el aire y la humedad, se quita el embudo y reblandeciendo por el calor el extremo del tubo, se cierra.

C. Graduación. -La escala que se hizo de fijar en el tubo para conocer las variaciones de calor, es preciso que tenga dos puntos fijos, que representen temperaturas constantes. Estos dos puntos de partida son la temperatura de la fusión del hielo y el punto de ebullición del agua: el primero corresponde al cero y el segundo se ha convenido que represente 100. Para determinar el punto cero se introduce el tubo del termómetro en una vasija que contenga hielo machacado; el mercurio se contrae y en el punto donde quede estacionario, se pone una señal con una tirita de papel y representa el cero. Para obtener el otro punto extremo de la escala se pone el tallo termométrico suspendido dentro de una caja de latón en cuya parte inferior hay una vasija con agua que se hace hervir; los vapores rodean todo el depósito del termómetro y parte del tubo, el mercurio se dilata y el punto en que se estacione se pone otra señal que indica el punto 100. Una circunstancia hay que tener presente en la determinación de este último punto, y es que la presión atmosférica hace variar el grado de ebullición de los líquidos si el agua hierve a los 100 grados, es bajo la presión de 760mm por lo tanto, si en el momento de la operación el barómetro no señala esa altura es preciso hacer una, pequeña corrección. La experiencia nos dice que por cada 27mm que sube o baja el barómetro, el grado de calor de la ebullición aumenta o disminuye, de consiguiente por cada 27mm o parte de ellos que el barómetro señale sobre los 760, se aumenta en la escala un grado o fracción de grado y viceversa. Respecto a la pureza del agua nada influye, pues aunque hierva a mayor temperatura que 100 grados, por las sustancias que pueda tener en disolución, sus vapores tienen siempre 100 grados de calor.

El espacio que media entre el cero y 100, se divide en 100 partes iguales que se llaman grados, continuando la graduación por encima del 100. Y por debajo del cero: los primeros se llaman grados sobre cero y los segundos bajo cero; estos últimos se representan en la escritura anteponiendo el signo menos (-); así -5° quiere decir 5 grados bajo cero. Los grados sobre cero no necesitan signo. Esta escala se graba, en una plancha de madera o metal donde se coloca el tubo termométrico; pero es preferible grabarla en el mismo vidrio, como se hacen con los termómetros de precisión, pues además de que el vidrio se dilata poco por lo mismo las divisiones de los grados permanecen casi invariables, permite introducirle en líquidos que pudieran atacar el metal o la madera.

237. Diferentes escalas termométricas. No todos los termómetros llevan la escala que acabamos de describir: Conócense tres muy diferentes; la escala centígrada, debida a Celsio que es la anteriormente dicha y la usada más generalmente por estar acorde con el sistema métrico-decimal: la de Reamur y la de Fahrenheit. La primera está dividida en 100 partes, la segunda en 80, es decir, el cero corresponde también a la fusión del hielo, como en la anterior, pero en el punto de ebullición del agua, donde Celsio colocó 100, puso Reamur 80; y la tercera tiene ambos puntos diferentes. El cero de esta escala la halló Fahrenheit en el frío producido por una mezcla, en partes iguales en peso, de sal amoniaco y nieve, en cuya mezcla los termómetros anteriores señalan 32 bajo cero; y en el punto de ebullición del agua puso 180, siendo el total de su escala 212 (fig. 126). De, aquí resulta que 80 grados R equivalen a 100 de C y viceversa y por lo mismo un grado de R equivale a

o

de C; y un grado C es igual a

o

de grado de R. También $100.^{\circ}\text{C}$ equivalen a 212 menos 32, o sean 180 de F, y un grado C vale

de F, y un grado C vale

de F; y un grado F es igual a

o

de C

Y por último $80.^{\circ}\text{R}$ equivalen a $212-32$ o 180 de F; siendo un grado R igual a

o

F y uno de F a

o

de R

Cuando los termómetros R y C marcan 0.º Fahrenheit señala 32 sobre cero.

Muchas veces interesa reducir unas escalas a otras y la operación es muy sencilla. Se quiere reducir grados R a C o al contrario; se comparan las escalas entre sí y el número de grados que se dan con el que se desea saber: sea por ejemplo 30 grados R a C;

sean ahora los 375 C a R;

Sean grados F a C, por ejemplo 122, se empieza por restar 32 para que el cero corresponda a la escala centígrada y se procede como en los casos anteriores;

Para la misma reducción de F a R;

Por último los grados C o R se reducen a F del modo siguiente; practicadas las operaciones se añaden los 32.º que tiene la escala F sobre las otras dos

Resumiendo: para reducir,

a. -Grados R a C se multiplican por

b. -R a F se multiplican por

y al producto se añaden

c.-C a F se multiplican por

y al producto se añaden

d. -C a R se multiplica por

e. -F a R se rebajan 32 y el resto se multiplica por

f. -F a C se rebajan 32 y el resto se multiplica por

Cuando son muchas y continuas las reducciones que hay que hacer, como acontece con las observaciones que se efectúan en las Estaciones meteorológicas, con objeto de evitar este trabajo y abreviar el tiempo, los Anuarios de los observatorios traen tablas en las que ya está hecha la reducción.

LECCIÓN 39. Termómetro de alcohol. -Cero absoluto de calor. -Cambio de posición del cero. -Límites de temperatura de los termómetros de mercurio y alcohol. -Termómetro diferencial de Leslie. -Termóscopos. de máxima y mínima temperatura. -Termómetro metálico. -Pirómetros.

238. Termómetro de alcohol. -Este termómetro bastante usado, pero que no ofrece las ventajas y exactitud que el de mercurio, sólo se diferencia de éste en el líquido que es alcohol teñido de rojo. Se llena como el anterior y se gradúa por comparación con otro tipo de mercurio. Pero como el alcohol hierve a los 79°, la escala sólo se prolonga sobre el cero hasta los 60 o 65 grados; pero bajo cero puede extenderse todo lo que permita el tubo, pues el alcohol se contrae hasta indicar las temperaturas más bajas.

a Termómetro clínico. -Así se llama un termómetro cuyo depósito se aplica a ciertas regiones del cuerpo como la axila o sobaco, para deducir de su temperatura, comparada con la normal u ordinaria del cuerpo humano, el estado febril de un enfermo. La de mercurio y el depósito se halla libre, pero el tubo está dentro de otro de cristal, en el cual se encuentra la escala trazada con tinta en una tira de papel para así distinguir los grados más fácilmente.

239. Cero absoluto. -El cero de las escalas termométricas es solamente relativo, pues el cero real o absoluto sería la carencia completa de calor, es decir, según la hipótesis de las vibraciones, el estado de reposo absoluto de las moléculas de un cuerpo. Este cero no se halla aún bien determinado, o a lo menos sólo se conoce de una manera hipotética.

240. Cambio de posición del cero. -El termómetro mejor construido pasado algún tiempo no rige bien, pues si se introduce en hielo fundente ya no señala el cero, es decir que el mercurio no desciende hasta ese grado; de consiguiente ese punto extremo de la escala cambia de posición o se encuentra más elevado. Este fenómeno ha sido explicado de muy varia manera; la más aceptable es la que supone que el vidrio cuando ha sido muy calentado, al enfriarse repentinamente adquieren sus moléculas un estado anormal y al volver lentamente a su estado primitivo, la capacidad del depósito disminuye. Por eso para, observaciones exactas es preciso rectificar la posición del cero, si el termómetro hace tiempo que está construido.

241. Límites de temperatura en los termómetros de mercurio y alcohol. -Como el mercurio no hierve hasta los 350° y no se solidifica hasta -39° , parece que entre estos dos límites debiera servir este termómetro: sin embargo, la observación ha comprobado que solo entra los -36° y 100 se dilata con regularidad, no ofreciendo fuera de estos puntos, el termómetro de mercurio; exactitud en sus indicaciones. Respecto al de alcohol sólo puede usarse para temperaturas que no pasen de 35° , pero para las inferiores, sirve aún en las más bajas, pues hasta el día no se ha podido solidificar con los fríos mas intensos. No obstante, solidificándose el agua, que contiene se pone espeso y ya no rige por cuya razón se aconseja por algunos, sustituir el alcohol por el sulfido carbónico o el éter.

242. Termómetro diferencial de Leslie.- Como su nombre lo indica empléase este termómetro para conocer la diferencia de temperatura de dos puntos próximos. Consta este aparato (fig. 127) de un tubo de vidrio dos veces encorvado hacia la parte superior en ángulo recto, terminando sus ramas en dos esferas. Contiene ácido sulfúrico teñido de rojo hasta la mitad de las ramas y el resto y las esferas contienen aire. Cuando este gas tiene la misma temperatura e igual tensión en ambas esferas, el líquido se halla a la misma altura en una y otra, en cuyo punto se señala cero: si ahora se introduce una de las esferas en agua a la temperatura de 10° y la otra en hielo fundente, el aire de la primera se dilata, hace descender el líquido en esta rama y se eleva en la otra, los puntos donde permanecen fijas las columnas líquidas se pone 10: se divide el espacio re cero y 10, en diez partes iguales, y se continúa la división por encima y por debajo.

243. -Termómetro de Rumford. -Otro termómetro diferencial, que se llama más particularmente termómetro de Rumford, difiere solo del de Leslie (fig. 128) en que es mayor la rama horizontal y más grandes las esferas: además el líquido está reducido a un pequeño índice de un centímetro de longitud, que cuando se halla en la parte media de la rama horizontal, señala en cada uno de sus extremos el cero y se gradúa como el anterior. Si una de las esferas tuviera mas aire que la otra, se inclina el aparato para que el índice

líquido vaya a un apéndice de vidrio situado en uno de los ángulos del tubo; equilibrado el aire, se hace que el índice vuelva a su posición.

244. Termómetros de máxima y mínima temperatura. -No siendo fácil estar observando el termómetro continuamente durante un día, para conocer cuando llega a la más alta o la más baja temperatura, se han ideado aparatos que ellos mismos indican y dejan señalado el mayor ascenso o el menor descenso. De aquí los termómetros de máxima temperatura al sol y a la sombra y de mínima temperatura.

A. Termómetro de máxima temperatura al sol. -Es de mercurio y se construye de muy diversa manera. El de Rutheford es un termómetro colocado horizontalmente (fig. 129) que lleva delante de la columna de mercurio un pequeño índice de hierro. Dilatándose el líquido por la acción del calor empuja el índice y le hace caminar hasta que el mercurio deja de dilatarse; al descender la temperatura el mercurio se contrae, pero el índice permanece en el punto hasta donde había llevado indicando la temperatura más alta a que se elevó el mercurio. Hecha la observación, se inclina el termómetro para que el índice vuelva a ponerse en contacto con el mercurio.

B. Termómetro de máxima temperatura a la sombra. En el mismo termómetro anterior con la sola diferencia de su colocación fuera de la acción del sol.

Estos aparatos ofrecen varios inconvenientes por cuya razón en el día, en la mayor parte de los Observatorios meteorológicos, se usan los construidos por el inglés Casella, por el sistema del Dr. Phillips. El de máxima sol tiene el depósito, que es esférico, de vidrio negro para que absorba más fácilmente los rayos directos del sol; y el de sombra en el estado natural del vidrio. En uno y otro el índice está formado por una pequeña columna de mercurio que no se une a la general por hallarse entre las dos una pequeñísima burbuja de aire: cuando el mercurio se dilata, empuja la columna y al contraerse aquel queda el índice estacionario indicando hasta donde se elevó la temperatura.

C. Termómetro de mínima temperatura del aire. -Se construye con alcohol: está colocado también horizontalmente y resguardado de la irradiación nocturna (fig. 130). Lleva dentro del alcohol un pequeño índice de esmalte. Si se halla éste en el extremo de la columna líquida, pero dentro de ella y la temperatura descende, el líquido se contrae y arrastra consigo el índice por efecto de la adhesión; si después el calor aumenta, el alcohol se dilata y pasa sin mover el índice por entre éste y el vidrio, señalando así aquel, el punto a donde descendió la temperatura. Para una nueva observación se inclina el instrumento hasta que el índice vuelva al extremo de la columna líquida. También ha construido Casella un termómetro de mínima con mercurio, cuyos detalles y manejo no corresponden a estos estudios.

D. Termómetro de mínima temperatura para la irradiación nocturna. Este termómetro llamado también reflector es de alcohol con el depósito ennegrecido y funciona como los ordinarios de mínima.

245. Termómetro metálico. -Un termómetro curioso y notable por su gran sensibilidad ha construido Breguet. Está fundado en la desigual dilatación de los metales, plata, oro y platino. Se compone de una cinta finísima arrollada en espiral y formada por los tres metales perfectamente soldados (fig. 131). El oro se halla en el centro, la plata que es el metal más dilatado en el exterior y el platino, el menos, en el interior de la hélice. Fija ésta por un extremo, el otro queda libre y lleva una aguja que corre en un cuadrante. Este aparato se gradúa por comparación. Cuando la temperatura aumenta, como la plata se dilata más que el platino, se desarrolla la hélice y la aguja corre en el cuadrante; y si el calor disminuye, arrollándose más la hélice la aguja se desvía en sentido contrario.

246. Pirómetros. -Se llaman así (del griego *pir* fuego y *metron* medida) los instrumentos que sirven para medir altas temperaturas. Los pirómetros que generalmente se describen en esta clase de obras, ofrecen poca precisión y solo pueden usarse otros, para cuyo estudio se necesitan como cimientos de que se hablará más adelante. El pirómetro descrito en casi todos los tratados elementales de Física, por más que no ofrezca seguridad en sus indicaciones, es el de Wedgwood, que está fundado en la propiedad que tiene la arcilla de contraerse por la elevación de temperatura. Consta (fig. 132) de dos reglas metálicas que forman entre sí un ángulo pequeño, cuya mayor abertura, donde está el cero, es de 12mm'5 y la menor de 8mm'5. Un cilindro de arcilla penetra a la temperatura ordinaria hasta el cero: si este cilindro se coloca por ejemplo, dentro de un horno de fundición, se contrae y entonces puede avanzar más en la menor abertura del ángulo que forman las reglas, señalando el grado de calor; teniendo en cuenta que el cilindro de arcilla a la temperatura ordinaria, se supone que corresponde a 500° y que cada grado del pirómetro representa 72° del termómetro centígrado.

Capítulo II

Dilatación de los cuerpos por el calor

LECCIÓN. 40. -Dilatación de los cuerpos sólidos. -Coeficientes de dilatación. -Aplicaciones de la dilatación de los sólidos. -Péndulos de compensación.

247. Dilatación de los sólidos. -Coeficientes de dilatación. -Sabemos lo que se entiende por dilatación y de cuantas maneras se considera o sea la dilatación lineal o de una dimensión cúbica o en volumen. Llámase coeficiente de dilatación lineal, el aumento que toma la unidad de longitud de un cuerpo, cuando pasa su temperatura de 0° a 1 grado, o aumenta 1°, entre 0 y 100; y coeficiente de dilatación cúbica, el aumento que en las mismas

condiciones adquiere la unidad de volumen. Estos coeficientes varían para los diferentes cuerpos, pero para uno mismo hay entre ellos una relación muy simple, cual es que el coeficiente de dilatación cúbica es triplo del coeficiente de dilatación lineal. En efecto, sea un cubo cuyo lado valga uno a la temperatura de 0° si llamamos d al aumento por dilatación que toma este lado al elevarse su temperatura a 1 grado, tendremos que su longitud valdrá ahora 1+d y por consecuencia el volumen del cubo será (1+d)³; de donde

$$(1+d)^3 = 1+3d+3d^2+d^3$$

Pero el aumento d o sea el coeficiente es una cantidad pequeñísima, luego su cuadrado y su cubo serán cantidades aun más pequeñas que pueden despreciarse, quedando pues reducida la anterior igualdad a $(1+d)^3=1+3d$.

Luego para conocer los coeficientes de dilatación de un cuerpo basta averiguar uno de ellos, pues conocido el lineal se obtiene el cúbico, multiplicando por 3 o conocido éste se tiene el lineal dividiendo por 3.

A. Determinación del coeficiente de dilatación lineal. -Entre los muchos aparatos y procedimientos propuestos para determinar este coeficiente describiremos el ideado por Lavoisier y Laplace. Una caja rectangular de cobre se halla colocada sobre un hornillo entre cuatro columnas de piedra; dentro de ella se coloca la barra cuyo coeficiente de dilatación se desea averiguar, de tal modo que por un extremo se halla fuertemente apoyada en P, (como puede verse en sección que representa la fig. 133) y por el otro está en contacto con un eje R, que lleva un anteojo horizontal que puede girar con su pié o eje y dirigir la visual a las divisiones de una regla, colocada a 200 metros de distancia. Puesta la barra en la caja y rodeada de hielo se observa con el anteojo a qué división de la escala corresponde: hecho esto se pone agua o aceite en la caja y se calienta, la barra se dilata por el extremo libre m, empuja el eje del anteojo y cuando la temperatura queda estacionaria, se observa la del baño por medio de un termómetro y a qué división de la regla corresponde la nueva posición del anteojo. Con estos datos se determina la dilatación de la barra y de ella se deduce el coeficiente. En la posición que adquirió el anteojo cuando la barra se ha dilatado, con relación a la que tenía cuando la barra se hallaba a 0°, resultan los dos triángulos Omn y OAB que son semejantes por tener sus lados respectivamente perpendiculares; de modo que

$$mn : AB :: Om : OA$$

luego la dilatación

Y que la razón de la dilatación de la barra a la desviación del anteojo es constante, lo demuestra el que para otra prolongación cualquiera mn', la desviación sería A B' y por lo mismo

$$mn : AB' :: Om : OA$$

luego también en este caso es igual al cociente de

En las experiencias de Lavoisier y Laplace el valor de esta razón era igual a

por lo tanto

luego la dilatación se obtiene dividiendo por 744 la distancia recorrida por el antejo sobre la regla. Si esta dilatación total de la barra se divide por la longitud de ésta a cero y por la temperatura del baño, se tendrá la dilatación de una unidad a un solo grado, es decir el coeficiente de dilatación lineal.

Coefficientes de dilatación de varios cuerpos.	Vidrio blanco 0.000'008
Platino 0.000'009	
Acero 0.000'010	
Hierro fundido 0.000'011	
Hierro forjado 0.000'012	
Oro 0.000'014	
Cobre 0.000'017	
Bronce 0.000'018	
Plata 0.000'019	
Estaño 0.000'021	
Plomo 0.000'028	

248. Aplicaciones. -La dilatación de los cuerpos sólidos y muy principalmente de los metales ofrece numerosas aplicaciones. Los herreros para colocar las llantas o aros de hierro a las ruedas hacen uso de esta propiedad. Construido el aro de un diámetro un poco mas pequeño que la rueda, se calienta casi hasta enrojecerlo y dilatado se acomoda en la circunferencia de la rueda; introduciéndola luego repentinamente en agua fría, se contrae y oprime fuertemente los radios de la rueda. Las barras, que forman las rejillas de los hornillos, los rails de los caminos de hierro etc., no se tocan ni sujetan por sus dos extremos, sino que se dejan libres para que al dilatarse, por el aumento de calor, puedan extenderse, sin romperse o encorvarse, y si bien la dilatación de los metales es muy pequeña para un grado de calor y una unidad de longitud dadas, puede llegar a ser muy grande si es considerable la longitud del metal. Tal sucede en las barras-carriles de las vías férreas: así por ejemplo, la línea de Badajoz a Lisboa tiene un longitud de 271 kilómetros o 271000 metros; si la oscilación de la temperatura entre el invierno y el verano es de 50°, siendo el coeficiente de dilatación del hierro forjado entre 0° y 100° de 0.000'012, entre 0 y 50° será de 0'0006, luego la dilatación puede llegar a ser de $271000 \times 0'0006 = 126m'6$.

Pero la principal y más importante aplicación de este fenómeno, es a la compensación de los péndulos.

249. Péndulos compensadores. -Hemos visto (95) que para que un péndulo produzca siempre en el mismo tiempo iguales oscilaciones, es necesario que la longitud permanezca invariable; de ese modo el isocronismo no se altera y puede servir de regulador en los relojes. Pero hemos visto también (97) que la intensidad de la gravedad hace variar la duración de las oscilaciones, de modo que un reloj construido en Londres, cuyo péndulo bata segundos, no los producirá en Badajoz, sino se disminuye su longitud; al efecto los péndulos terminan en su parte inferior en tornillo en donde una tuerca puede hacer bajar o subir la lenteja y los relojes de bolsillo llevan una palanca que oprime o ensancha el muelle que hace de péndulo. Pero no basta que se cumpla esta circunstancia porque esa longitud en el mismo lugar de la tierra no permanece invariable, pues dilatándose o contrayéndose la varilla por la acción del calor, varía a cada momento su longitud. Para evitar este inconveniente es preciso compensar los péndulos: dicese que un péndulo de un reloj está, compensado o tiene compensación, cuando el aumento en longitud que adquiere la varilla por la elevación de temperatura se halla contrarrestado por otro aumento o dilatación en sentido contrario. Varios sistemas se han propuesto para lograr este objeto.

A. Sistema Le Roi. -Este método ideado a fines del pasado siglo, consiste (fig. 134) en una serie de varillas, alternadamente de acero y latón: la varilla central que está fija en el travesaño superior y atraviesa libremente el inferior, sostiene la lenteja. Si el número de varillas es doble, lo es también el de travesaños. Aumentando la temperatura, las varillas de acero se dilatan hacia abajo y hacen que aumente la longitud en una cantidad determinada, pero las de latón se prolongan hacia arriba en la misma cantidad y por lo tanto la longitud de la varilla que sostiene la lenteja permanece constante.

B. Sistema Graham. -Este péndulo (fig. 135) bastante usado por los constructores ingleses, fue inventado por este mecánico del siglo XVIII. Consiste en una varilla de acero que lleva en lugar de lenteja uno o dos vasos de vidrio sostenidos por una guarnición también de acero, que contienen mercurio en cuyo centro de gravedad se halla el de oscilación. Al dilatarse la varilla hacia la parte inferior tiende a descender el centro de oscilación y la longitud aumenta en una cantidad dada; pero el mercurio se dilata hacia la parte superior y hace ascender el centro de oscilación en la misma cantidad, conservándose así inalterable la longitud.

C. Sistema Harrison. -El método de compensación propuesto por este constructor consiste en un mecanismo muy sencillo. Dos láminas de cobre y hierro soldadas y que llevan en sus extremos dos esferas metálicas, se hallan fijas en la varilla del péndulo, (fig. 136) estando la hoja de cobre que es más dilatante debajo de la de hierro. Aumentando la temperatura la varilla se dilata y la lenteja desciende, pero las láminas también se dilatan encorvándose hacia la parte superior por dilatarse más el cobre que el hierro y elevándose las esferas A y B, si su masa está bien calculada, hay compensación entre los puntos de la varilla que tienden a alejarse del centro de suspensión y los que se acercan a él: lo contrario sucede si disminuye la temperatura, en cuyo caso las láminas encorvándose hacia la parte inferior tienden a tomar la forma A' B'.

D. Compensación del volante de los relojes. -Una compensación parecida a la anterior ha sido aplicada a la compensación de los relojes de bolsillo, cuyo regulador es un volante con un resorte en espiral. Dos pequeñas láminas de plata, oro y platino en forma de arco se hallan sujetas por un extremo al volante y el otro termina en una esferita de oro (fig. 137). Con el calor el volante se dilata, pero la plata exterior de los arcos, dilatándose también, los encorva más y acerca las esferas al centro: la longitud, pues, permanece la misma y la amplitud de la oscilación constante.

LECCIÓN 41. Dilatación de los líquidos. -Coeficiente de dilatación de los líquidos. -Máximum de densidad del agua. -Dilatación de los gases. -Coeficiente de dilatación de los gases. -Densidad de los gases.

250. Dilatación de los líquidos. -En los líquidos sólo se consideran dilataciones cúbicas o en volumen, pero como estos cuerpos se hallan siempre contenidos en vasijas y éstas también se dilatan, aunque menos que los líquidos, es preciso tener presente esta dilatación; de aquí la división de la dilatación de los líquidos en real o absoluta y aparente. La primera es el aumento que adquiere un cuerpo líquido, independiente de la dilatación del vaso que le contiene o suponiendo que éste no se dilata y la segunda es el aumento que adquiere el líquido dentro de la vasija teniendo en cuenta que ésta también se dilata. La dilatación absoluta es mayor que la aparente en una cantidad igual a lo que se dilata la vasija. Compruébase esto último introduciendo en una vasija que contenga agua hirviendo un tubo (fig. 138) terminado en un depósito con alcohol teñido de rojo hasta la altura a: tan pronto como ha penetrado el depósito en el agua el nivel de éste desciende hasta b, lo cual prueba que las paredes de la vasija se han dilatado, pero al poco tiempo y cuando ya el líquido se ha calentado, se dilata y asciende una cantidad igual a su dilatación real más la de la vasija.

251. Coeficiente de dilatación absoluta del mercurio. -Importa mucho conocer el coeficiente de dilatación absoluta del mercurio por las numerosas aplicaciones que tiene este cuerpo. Este coeficiente ha sido determinado por diversos procedimientos, lográndose evitar la influencia de la dilatación de la vasija con el propuesto por los Sres. Dulong y Petit. Estos físicos fundaron su método en el principio de hidrostática que dice que las alturas de los líquidos en vasos comunicantes, están en razón inversa de sus densidades (118) y por lo mismo son independientes de la capacidad del vaso y por lo tanto de la dilatación. El aparato reducido a su mayor sencillez se compone de dos tubos de vidrio A y B (fig. 139) que comunican por otro capilar; rodea a cada tubo un cilindro de metal, hallándose el que envuelve a A con hielo y el de B con aceite que se calienta poco a poco los tubos contienen mercurio que está a la misma altura de nivel mientras la temperatura es igual en uno y otro, pero se eleva en el tubo B a medida que se calienta, porque entonces se

hace menos denso: llamando a y a' a las alturas en A y B y d d' a sus densidades respectivas, tendremos que por el principio citado

$$a' : a :: d : d';$$

de donde

$$a' d' = a d \quad (1)$$

Si se supone igual a 1 el volumen de la columna de mercurio a 0 grados o sea la del tubo A y que sea D su coeficiente de dilatación cúbica, la del tubo B será $1+Dt$, y como la densidad de un cuerpo está en razón inversa de su volumen a medida que se dilata, resulta

$$d' : d :: 1 : 1 + Dt$$

de donde

reemplazando el valor de d' en la igualdad (1) tendremos

y por lo tanto

Medidas, pues, las alturas a y a' y conocida la temperatura t del tubo B dedujeron los físicos citados el coeficiente de dilatación del mercurio, que hallaron igual a

entre cero y 100°; observando además que crece con la temperatura y por lo tanto sólo es regular la dilatación entro los líquidos citados, lo cual acontece lo mismo con los demás líquidos.

252. Coeficiente de dilatación del vidrio. -Mucho interesa conocer el coeficiente de dilatación del vidrio para obtener el absoluto de los líquidos contenidos en vasijas de este cuerpo; habiéndose hallado el coeficiente de dilatación cúbica del vidrio por la diferencia entre los coeficientes del mercurio absoluto

y aparente

o sea

igual a 0'000026. El coeficiente de dilatación aparente de un líquido se determina por el procedimiento del termómetro de peso y se obtendrá el absoluto, añadiendo al aparente obtenido, el coeficiente de dilatación del vidrio.

A. Termómetro de peso. -Con este sencillo aparato se determina el coeficiente de dilatación aparente de los líquidos. Consiste en un depósito R grande y prolongado (fig. 140) que termina en un tubo capilar encorvado. Pesado, vacío y luego con el líquido, se calienta y el líquido que al dilatarse, se derrama se recoge en una cápsula; del peso de esta cantidad de líquido y de la temperatura dada se deduce el coeficiente de dilatación aparente. Llamando D a este coeficiente, p al peso del líquido derramado, P al peso del que queda en el aparato y t la temperatura;

253. Máximum de densidad del agua. -Hemos visto que entre las numerosas aplicaciones que tiene el agua, es una el servir de término de comparación o unidad, para hallar el peso específico de los cuerpos sólidos y líquidos, debiendo emplearse en su máximum de densidad, que como ya dijimos es a la temperatura de 4° con la particularidad de que a partir de ese punto de calor, ya aumente o decrezca, la densidad de este líquido va disminuyendo, por lo cual el agua solidificada, o sea el hielo o la nieve, siendo menos densa que la líquida, flota en esta. Hoppe, físico escocés, fue el primero que determinó la mayor densidad del agua por medio del aparato (fig. 141) que consiste en una campana de vidrio con pie, que lleva dos termómetros exactamente iguales colocados horizontalmente en dos orificios uno superior y otro inferior y en la parte media un cilindro metálico en que se pone hielo. Llena de agua a 12° la campana, se puede ver que el termómetro inferior descende rápidamente hasta 4° quedando en este punto mientras el superior empieza a bajar hasta cero, lo cual prueba que el agua, al enfriarse hasta 4° , se hace más densa y descende; al paso que enfriándose más o sea hasta cero, se vuelve más ligera y asciende impresionando al termómetro superior.

254. Dilatación de los gases. -Coeficiente de dilatación. -Los gases son los cuerpos más dilatables y de dilatación más regular. El coeficiente de dilatación cúbica, único, que como en los líquidos se considera en estos cuerpos, se diferencia muy poco en los diversos gases. Gay Lussac fue el primero que halló el coeficiente de dilatación del aire. En una vasija rectangular de hoja de lata, colocada sobre un hornillo (fig. 142) está atravesado un tubo termométrico a b dividido en partes de igual capacidad lleno de aire seco, para lo cual colocado mercurio en el interior del tubo y un alambre fino de platino se calienta y agitando suavemente el mercurio con el alambre sale el líquido gota a gota, siendo reemplazado por el aire, que antes de penetrar en el termómetro pasa por un tubo unido a éste que contiene una sustancia que retiene muy fácilmente la humedad (cloruro de calcio) y se deja en el interior una pequeña cantidad de mercurio que va a servir de índice. Pónese en la caja hielo machacado y contrayéndose el aire arrastra el índice y se anota la división hasta donde ha llegado, cuando los termómetros A y B señalen cero grados, con lo cual se tiene el volumen a cero; quitando luego el hielo y reemplazándole con aceite se enciende el hornillo, la

temperatura aumenta gradualmente, el aire del tubo se dilata, el índice avanza y se observa la división donde queda estacionado. Con estos datos y teniendo en cuenta la presión atmosférica en el momento de la experiencia, halló Gay-Lussac que el coeficiente de dilatación del aire era 0'00375. Otros flancos han hallado como coeficiente 0'00367 y las conclusiones siguientes:

- 1.^a Cada gas tiene un coeficiente diferente.
- 2.^a El coeficiente aumenta con la presión.
- 3.^a El aire tiene una dilatación constante, entre 0° y 350°.

255. Densidad de los gases. -Se llama así la relación entre el volumen del gas y otro volumen igual de aire ambos a la temperatura de cero y presión de 760. En principio, pues, el procedimiento para determinar la densidad de un gas, se reduce a emplear un globo de vidrio provisto de llave que se pesa primero vacío y sucesivamente lleno de aire y del gas en cuestión, uno y otro perfectamente secos. Deducido el peso del globo vacío, del obtenido en la otras dos pesadas, se tiene el peso del gas y del aire bajo el mismo volumen; dividiendo el primero por el segundo el cociente de la densidad del gas. Sin embargo como no es fácil que durante estas operaciones se halle la temperatura a cero y la presión a 760mm, es preciso hacer las correspondientes correcciones; algunas de las que se evitan con el método propuesto por Regnault, pero aún así el procedimiento exige varias experiencias delicadas. También puede suceder que el gas cuya densidad se quiera determinar, sea de los que atacan al cobre como el cloro, en ese caso no puede emplearse el globo de vidrio con llave de metal, sino un frasco de tapón esmerilado, cuya capacidad se averigua, pesándola luego llena de aire y después con el gas y hechas las correcciones de temperatura y presión se divide el peso del volumen de éste por el del aire y el cociente será el peso específico.

Capítulo III

Cambios de estado de los cuerpos

LECCIÓN 42. -Cambios de estado de los cuerpos. -Fusión. Sus leyes. -Calor latente. -Disolución. -Mezclas frigoríficas. -Solidificación. Sus leyes. -Cristalización. -Formación del hielo. Rehielo. -Causas que retardan la solidificación.

256. Cambios de estado de los cuerpos. -Hemos visto que los efectos generales del calor son dilatar todos los cuerpos y hacerlos cambiar de estado: rigurosamente el fenómeno es el mismo o el segundo es una consecuencia del primero. En efecto, tanto pueden dilatarse las moléculas de un cuerpo sólido que venciendo el calor a la fuerza de cohesión, el sólido se

convierte en líquido y si el calor aumenta más las moléculas adquirirán la tenuidad que caracteriza a los gases y tomarán ese estado. El primer fenómeno se llama fusión, el segundo vaporización. Pero si el calor o la fuerza repulsiva disminuye, vuelve a superar la cohesión y el cuerpo deja el estado de vapor para convertirse en líquido; tal es la liquefacción y si se trasforma en sólido, el fenómeno se llama solidificación.

257. Fusión. Sus leyes. -Es, pues, la fusión el paso de un cuerpo del estado sólido al líquido por la acción del calor. No todos los cuerpos se funden o liquidan. Hasta ahora, quizás por falta de elevadas temperaturas, no ha podido fundirse el diamante y otras sustancias como las maderas, las telas, etc., antes se descomponen en sus elementos, que fundirse.

La fusión de los cuerpos obedece a tres leyes, que confirma la experiencia.

1.^a Todo cuerpo necesita un grado de calor determinado para fundirse.

2.^a Desde que principia la fusión hasta que termina, la temperatura no varía, sea cual fuere el foco de calor.

3.^a El punto de fusión de un cuerpo varía con la presión.

Esta ley es una consecuencia de la primera. Se ha observado que el punto de fusión aumenta con la presión, excepto en el agua sólida que disminuye su grado de fusión cuando la presión aumenta.

Grado de fusión de los cuerpos más importantes.

Hielo 0
Sebo 33
Fósforo 44
Potasio 55
Estearina 60
Cera 63
Sodio 90
Azufre 111
Estaño 228
Bismuto 264
Plomo 335
Zinc 412
Plata 1000
Cobre 1100
Hierro 1200
Oro 1250
Acero 1350

258. Calor latente. -Según la 2.^a ley de la fusión, la temperatura del cuerpo que se está fundiendo no varía, mas no por eso deja de recibir calor que penetra en su masa y que convertido en fuerza viva, sino produce sus efectos sobre el termómetro y por consecuencia no se manifiesta de un modo sensible, está obrando en el interior de las moléculas, manteniéndolas en el estado de repulsión que necesitan para permanecer líquidas: este calor que así se oculta en el interior de la masa del cuerpo se llama calor latente de fusión. ¿Si pues no obra este calor sobre el termómetro, cómo se conoce su existencia? 1.º Por varias experiencias y 2.º porque cuando el cuerpo deja el estado líquido y se solidifica de nuevo, abandona ese calor y entonces se convierte en libre y afecta al termómetro. Una experiencia aclarará estos hechos. Si se mezcla un kilogramo de hielo con otro kilogramo de agua a 79º parecía natural que resultaran dos kilogramos a la temperatura de 39'5º y sin embargo la mezcla solo tiene la temperatura de cero grados; los 79º grados, pues, se han convertido en calor latente o se han empleado en elevar un grado la temperatura de un kilogramo de hielo.

El calor latente es distinto para cada cuerpo y su determinación se indicará más adelante.
(295)

259. Disolución. -Cuando un cuerpo sólido desaparece, haciéndose en el seno de un líquido, se dice que se disuelve. Este fenómeno es una verdadera fusión y va, por lo tanto, acompañado de la absorción de calor, que el sólido, al licuarse, convierte en latente: tal se observa cuando el azúcar se disuelve en el agua, de quien toma calor que hace latente, enfriándola. A veces, sin embargo, la disolución no produce enfriamiento, sino que al contrario desarrolla calor, pero eso sucede cuando entre el sólido y el líquido hay afinidad química, pues en toda combinación, como veremos en Química, se desarrolla calor. Los cuerpos se disuelven más o menos en los líquidos, aumentando en general el poder disolvente, con el calor.

259 (bis) Mezclas frigoríficas. -Se llama así, la reunión o mezcla de diversas sustancias que producen fríos más o menos intensos. Originado este calor por la conversión del sensible en latente al pasar un sólido al estado líquido, se comprende que cuando menos una de las sustancias de la mezcla frigorífica ha de ser sólida. Las sustancias que generalmente se emplean para formar mezclas frigoríficas son la nieve o el hielo y la sal común, que pueden producir un enfriamiento de -16º La explicación física del fenómeno es muy sencilla: en el caso anterior, por ejemplo, el hielo al licuarse, absorbe calor que hace latente y que toma de la vasija y del aire que la rodea; en esa agua líquida se disuelve la sal, la cual también absorbe calor que oculta en su masa, produciéndose por tanto en los dos hechos, desaparición de calor y por lo mismo frío.

Mezclas frigoríficas

SUSTANCIAS Partes en peso Enfriamiento que producen.

Hielo o nieve 2 -16°

Sal común 1

Sulfato sódico 3 -19°

Ácido nítrico diluido 2

Hielo o nieve 3 -51°

Cloruro cálcico 4

260. Solidificación. Sus leyes. -Solidificación es el paso de un cuerpo líquido al estado sólido por la disminución de temperatura. Cuando la solidificación se refiere al agua se llama más particularmente congelación. El fenómeno de la solidificación se halla sometido a dos leyes, recíprocas de las de fusión: 1.^a La solidificación de un cuerpo se verifica a una temperatura constante que es precisamente la de su punto de fusión Así el azufre se funde a 111°, es decir, que a partir de ese punto de calor, ascendiendo en la escala termométrica el azufre está líquido y desde los 111° 9 descendiendo su temperatura, aparece sólido. 2.^a Desde que principia la solidificación hasta que termina, la temperatura del cuerpo no varía. Esta ley es consecuencia del fenómeno del calor latente; pues el líquido al solidificarse tiende a enfriarse pero por cada grado que desciende su temperatura, desprende otro de calor latente que se convierte en sensible; el equilibrio se mantiene y la temperatura permanece estacionaria.

Como el calor dilata los cuerpos se comprende que disminuyendo han de contraerse, por eso por regla general los cuerpos que se solidifican disminuyen de volumen, excepción hecha del agua, el hierro y algunos otros.

Así como hay cuerpos que con dificultad se funden, así existen otros que difícilmente se solidifican: tal sucede al alcohol o espíritu de vino, que a lo sumo con muy bajas temperaturas de -100° se ha podido ponerle espeso.

261. Cristalización. -Si los cuerpos al solidificarse afectan una forma regular o geométrica, se dice que cristalizan De esta definición se deduce, 1.º que no todos los cuerpos líquidos al convertirse en sólidos cristalizan, ejemplo la cera; 2.º que para cristalizar un cuerpo es preciso que se halle antes líquido, bien sea fundido o disuelto; aunque también algunos cuerpos como el arsénico y el alcanfor, pueden cristalizar cuando, del estado de vapor pasan directamente al sólido. La primera condición, pues, en que ha de hallarse un cuerpo para cristalizar, es una libertad completa en sus moléculas, para que al agruparse por la atracción la fuerza desconocida que determina la forma geométrica, pueda producir sus efectos: son además condiciones necesarias para que se realice la cristalización, tiempo, espacio y reposo; faltando alguna de ellas o la cristalización no se

verifica o los cristales son diminutos o el cuerpo adquiere una forma geométrica que no es la que le corresponde.

262. Formación del hielo. -El agua en el estado sólido recibe el nombre genérico de hielo; aunque también es agua sólida la nieve, el granizo y la escarcha. La solidificación del agua se produce como ya hemos dicho a cero grados. El agua como algunos otros cuerpos (hierro, antimonio, bismuto) presenta la particularidad de ser más ligera en estado sólido que en el líquido, por el aumento de volumen que adquiere; este aumento que toma el agua al solidificarse origina el desarrollo de una fuerza expansiva extraordinaria, como lo demuestran varias experiencias. Llenas de agua algunas bombas, cerrado su orificio con un fuerte tapón de madera y colocadas en un recinto cuyo aire se hallaba a muchos grados bajo cero, se pudo observar que, como consecuencia de la congelación unas se agrietaron y en otras fue lanzado el tapón a gran distancia saliendo por el orificio una porción de hielo.

263. Rehielo. -Cuando dos trozos de hielo se ponen en contacto pueden soldarse, aún cuando floten en agua caliente. Este fenómeno singular recibe el nombre de rehielo. Varias hipótesis se han propuesto para explicarle: Tyndall dice que en la fusión de un trozo de hielo las moléculas exteriores están libres y no experimentan la acción coercitiva de las interiores, pero cuando están en contacto dos trozos las superficies que se tocan pasan a ser interior del cuerpo y no teniendo ya la libertad suficiente para fundirse se vuelven a helar o rehielarse, adquiriendo en consecuencia una tenacidad y fuerza extraordinarias. Este hecho ha servido de fundamento a la teoría de Tyndall para explicar la formación de la nieve compacta y dura, como una roca, que se encuentra en las regiones inferiores de los Alpes.

264. Causas que retardan la solidificación. -Aunque hemos indicado que los líquidos tienen un punto determinado de solidificación que es recíproco del de fusión, hay sin embargo causas que pueden retardar ese punto, llamándose sobrefusión al descenso de temperatura bajo el grado de solidificación de un líquido. Esas causas son 1.^a Las sustancias que tenga el líquido en disolución; así el agua del mar no se congela hasta $-2,5^{\circ}$. 2.^a La falta de aire o de otro gas en disolución en el líquido; Gay-Lussac colocó una vasija con agua destilada en una mezcla frigorífica y puesto todo bajo la campana de la máquina neumática y expulsado el aire, descendió el agua hasta -12° sin solidificarse. 3.^a La completa inmovilidad del líquido; el azufre que se solidifica a 111° , permanece líquido hasta los 20° si se enfría lentamente y está en completo reposo. 4.^a La presión u otra causa cualquiera que impida a las moléculas agruparse libremente para tomar el estado sólido. Un cañón de acero en cuyo interior se coloca una bala y lleno completamente de agua, se cierra por medio de un tornillo de presión y colocado en una atmósfera de -12° a -20° el agua se mantiene líquida como lo prueba el sonido de la bala al mover el cañón. La solidificación en este

caso no se efectúa, porque el agua no puede dilatarse o aumentar de volumen por la presión a que está sometida. También el agua colocada en tubos capilares puede enfriarse hasta -20° sin solidificarse.

LECCIÓN 43. Vapores. -Evaporización. -Vapores en el vacío. -Espacio saturado. -Tensión del vapor de agua a diferentes temperaturas. -Tensión del vapor en espacios desigualmente calientes.

265 Vapores. -Evaporización. -Sabemos que por vapor se entiende el estado aeriforme en que se convierte un cuerpo líquido por la acción del calor. Los vapores proceden todos de cuerpos líquidos y de ahí la denominación de vapor de agua, vapor de éter, vapor de mercurio, etc. No todos los líquidos producen vapores; los que lo verifican se llaman volátiles, y los que no dan vapores, sino que antes se descomponen, se denominan fijos, como los aceites grasos. También hay cuerpos sólidos que pasan directamente al estado de vapor, sin antes liquidarse, tal es el alcanfor, el hielo, las materias olorosas, etc. El acto de pasar un cuerpo al estado de vapor, se llama en general evaporización, en la cual se distinguen dos casos: la evaporización lenta o espontánea, o sea cuando el vapor se produce lentamente en la superficie del líquido y sin foco directo de calor y la evaporación rápida, llamada también ebullición que es la producción rápida de vapor en toda la masa por la acción de un foco directo de calor. Los vapores tienen muchos de los caracteres de los gases, pero también se encuentran entre ellos algunas diferencias como veremos. Lo que caracteriza principalmente a los vapores, como a los gases es su fuerza elástica o de tensión. Demuéstrase esta fuerza en los vapores por medio de un tubo de vidrio en forma de sifón con la rama corta cerrada y con mercurio hasta la mitad (fig. 143). Se hace pasar a esta rama unas gotas de éter e introduciendo el tubo en una vasija que contenga agua caliente a 45° , se ve bajar el mercurio en la rama corta, hasta B por ejemplo, llenándose el espacio superior de un vapor cuya tensión obliga al mercurio a descender. Si el tubo se enfría, condensado el vapor disminuye su tensión y el mercurio se eleva de nuevo, por la presión de la atmósfera que obra sobre la rama mayor abierta y si nuevamente se calienta a mayor temperatura que antes, la tensión aumenta y el mercurio desciende mucho más.

266. Vapores en el vacío. -Sometidos los líquidos a la influencia de la presión del aire, compréndese que no pueden fácilmente convertirse en vapor a causa de la resistencia de la atmósfera, pero si esa presión desaparece, como sucede en el vacío, su producción es instantánea. Para demostrarlo se toman varios barómetros; (fig. 144) y dejando uno A para barómetro tipo, se hace llegar por medio de una pipeta unas gotas de éter, de alcohol y de agua respectivamente, a los tubos B, D, E, y se verá que inmediatamente desciende el mercurio en cada uno de ellos en una cantidad proporcional a la tensión que tome el vapor del líquido correspondiente: lo cual prueba que tan pronto como el líquido llegó a la cámara barométrica, se convirtió instantáneamente en vapor, no pudiendo atribuirse el descenso del mercurio al peso del líquido en el vacío de Torricelli, pues el peso del mercurio

comprimido es muchísimo mayor que el del líquido allí colocado. Además se observa que la depresión del mercurio que señala la escala C no es la misma en los tubos barométricos, lo cual prueba que la tensión que adquieren los respectivos vapores no es la misma, siendo mayor en el que contiene el éter y sucesivamente en el alcohol y en el agua. De esta experiencia se deducen las dos leyes siguientes: 1.^a Todos los líquidos se convierten en vapor instantáneamente en el vacío. 2.^a La tensión, o fuerza elástica de los vapores de líquidos diferentes no es la misma en igualdad de temperatura.

267. Espacio saturado. -Si se hace llegar al vacío de un tubo barométrico una corta cantidad de un líquido volátil, éter por ejemplo, se convertirá en vapor y deprimirá la columna de mercurio; si se añade más éter, la depresión del mercurio se hace mayor y si continuamos haciendo llegar éter a la cámara barométrica, llega un momento en que el mercurio no se deprime más y el líquido cesa de convertirse en vapor: entonces se dice que el espacio está saturado (del latín satis bastante) Dos particularidades se observan en este fenómeno, 1.^o que un espacio saturado de un vapor ya no admite más vapor y el exceso se liquida; pero sí admite más vapor de otro líquido, también hasta la saturación: así un espacio saturado de vapor de éter, admite vapor de alcohol hasta la saturación y saturado de estos dos vapores, puede colocarse en él otro vapor distinto y 2.^o que la tensión del vapor que satura, el espacio tiene un límite para una misma temperatura, sea cual fuere la presión, puesto que la depresión del mercurio cesa desde el momento en que el espacio está saturado. Para demostrar todos estos hechos se hace uso del barómetro de cubeta profunda, de que ya hemos hablado (fig. 97). Haciendo llegar al vacío del barómetro una cantidad, en exceso, de éter de modo que sature el espacio y quede una porción líquida; ya se introduzca el tubo en la cubeta de modo que la presión aumente, ya se eleve y aquella disminuya la altura de la columna de mercurio permanece como antes observándose además que la cantidad de éter líquido es mayor, cuando el espacio se reduce y disminuye, convirtiéndose casi todo en vapor, cuando el espacio aumenta. De lo dicho se deduce, que un vapor saturado, en igualdad de temperatura, no se comprime ni dilata y su densidad por tanto y su fuerza elástica son constantes. Pero si los vapores no están saturados entonces aumenta su tensión cuando el volumen disminuye y viceversa lo cual puede confirmarse con el mismo aparato anterior, pues si se hace llegar a la cámara barométrica una corta cantidad de éter de modo que no sature el espacio, si se sumerge más en la cubeta, el mercurio se deprime en el tubo, lo cual prueba que con la presión aumentó la tensión del vapor; y si el tubo se eleva el nivel del mercurio asciende, porque la fuerza elástica del vapor ha disminuido; observándose en resumen que el volumen del vapor, está en razón inversa de la presión; ley de Mariotte que se cumple lo mismo en los vapores no saturados que en los gases: tal es la semejanza entre unos y otros fluidos. Sin embargo la máxima tensión que puede adquirir un vapor no saturado tiene un límite pasado el cual, y cuando la presión aumenta, el vapor llega a la saturación.

268. Tensión del vapor de agua a diferentes temperaturas. -Son tantas y tan importantes las aplicaciones del agua en sus diferentes estados y muy principalmente en el de vapor, que esta materia fue objeto en todos tiempos de estudio predilecto por parte de la Física y otras ciencias, determinando cuidadosamente cuanto se refiere a los caracteres de este cuerpo. Así ha sucedido con el agua en vapor, cuya tensión ha sido calculada en todas las temperaturas.

A. Tensión del vapor de agua en temperaturas inferiores a 0.°

Para medir esa tensión Gay-Lussac se valió de dos barómetros (fig. 145) uno de los cuales sirve de tipo y el otro tiene su cámara barométrica encorvada de modo que pueda introducirse en hielo o en una mezcla frigorífica. Si se hace pasar a este barómetro unas gotas de agua, tan pronto como este líquido llega al vacío de Torricelli se evapora y con su fuerza elástica ejerce presión sobre el mercurio que se deprime en proporción a la temperatura, del modo siguiente:

TEMPERATURA DEPRESIÓN

0° 4mm 60
 -10° 1mm 96
 -20° 0'mm 84
 -30° 0'mm 86

B. Tensión del vapor de agua entre 0° y 100. -Dalton, entre otros varios físicos, determinó estas tensiones valiéndose del aparato (fig. 146) formado por dos tubos barométricos A y B colocados sobre una cápsula de hierro con mercurio, puesta sobre un hornillo y cubierto con un cilindro de cristal, lleno de agua: un termómetro señala la temperatura y una escala lo que el mercurio del barómetro A se deprime. Se hace llegar a la cámara del barómetro A unas gotas de agua que convertida en vapor deprime el mercurio; calentando el agua del cilindro de cristal, el vapor contenido en el vacío de Torricelli va adquiriendo cada vez más tensión y el mercurio desciende hasta que en el momento en que el agua rompe a hervir, es decir cuando tiene la temperatura de 100.° todo el mercurio del barómetro desciende a la cubeta, lo cual prueba que a la temperatura de 100.° el vapor de agua tiene una tensión igual a una atmósfera.

C. Tensión del vapor de agua en temperaturas superiores a 100.° Regnault ha conseguido por medio de un aparato a propósito, y evitando todas las causas de error que pueden ocurrir, hallar la tensión del vapor de agua en temperaturas superiores a 100.° Aparato, operaciones y fórmulas algo complicadas. Con los resultados de éstas y de las anteriores experiencias, se han formado tablas de las diferentes tensiones del vapor de agua, como puede verse a continuación.

Tensiones del vapor de agua entre -30 y 236.° según Regnault.

TEMPERATURAS Tensiones en mm TEMPERATURAS

Tensiones en atmósferas
 - 30° 0'386 100° 1
 25 0'605 112'2 1'5

15	1'400	121'4	2
5	3'113	128'8	2'5
0	4'600	131'1	3
+10	9'165	140'6	3'5
20	17'391	145'4	4
30	30'600	153'1	5
40	53'021	160'2	6
50	91'982	166'5	7
60	148'791	172'1	8
70	233'488	177'1	9
80	354'650	181'6	10
90	525'450	214'7	20
	236'2		30

Como se ve no hay relación entre la fuerza elástica del vapor de agua y la temperatura; a lo menos aumenta esa tensión en una proporción más rápida que el calor, cuya ley se desconoce hasta el día.

269. Tensión del vapor en espacios desigualmente calientes. -La tensión del vapor en espacios de diferente temperatura es la misma, pero corresponde a la temperatura menor. Sean en efecto dos vasijas (fig. 147) unidas entre sí por medio de un tubo; la vasija A contiene agua a cero grados para lo cual está, rodeada de hielo fundente y la otra B tiene agua que se calienta hasta 100.º y lleva una llave de comunicación. Si los espacios de las dos vasijas no comunican entre sí, en la primera, la tensión del vapor será igual a 4mm'6 y en la segunda a 760mm, pero si se abre la llave y el vapor de la vasija B pasa a A adquiere la tensión correspondiente a la temperatura de éste, o sea de 4mm'6.

LECCIÓN 44. Mezclas de los gases y vapores. -Densidad de los vapores. -Evaporación. -Causas que influyen en la evaporación. -Fenómeno producido en la evaporación.

270. Mezclas de los gases y vapores. Hasta ahora hemos supuesto que la producción de los vapores y la tensión que adquieren, se originaba en el vacío, mas los mismos fenómenos suceden en espacios llenos de aire o de otro gas; observándose además la facilidad con que los vapores se difunden en los gases, tanto mayor, cuanto menor es la densidad de estos últimos. Así, si en dos campanas que contengan respectivamente aire e hidrógeno, se coloca éter sulfúrico, se verá que los vapores de éste tienen la misma tensión en ambas vasijas, pero que en la que contiene hidrógeno que es 14'5 veces más ligero que el aire adquiere el éter el máximum de tensión en la mitad de tiempo que en la que tiene aire. Esta difusión en nada contradice las dos leyes respecto la mezcla de los gases y vapores llamadas leyes de Dalton, que se enuncian:

1.^a La tensión y por consiguiente la cantidad de vapor que satura un espacio dado es la misma ya el espacio esté lleno, ya vacío, si la temperatura es igual en uno y otro caso.

2.^a La fuerza elástica de la mezcla es igual a la suma de las fuerzas elásticas del gas y del vapor mezclados, pero reducido el gas a su volumen primitivo.

Demuéstranse estas leyes por medio del aparato (fig. 148) debido a Gay-Lussac. Un tubo de vidrio T se halla en comunicación por medio de una llave de hierro, cuerpo a quien no ataca el mercurio, con otro tubo de menor diámetro T' y entre los dos una escala dividida en milímetros: el tubo de mayor diámetro lleva en la parte superior una llave D en una guarnición de hierro en la cual puede atornillarse primero un embudo y luego un globo de vidrio; en la parte inferior tiene otra llave. Viértese por el embudo mercurio hasta llenar el tubo T que tomará la misma altura en el otro y se atornilla en seguida el globo de vidrio lleno de aire o de otro gas y abriendo la llave inferior se derramará parte del mercurio dejando en la porción superior del tubo un vacío y abierta la llave del globo parte del aire de éste pasará a ocupar el espacio del tubo T, en el cual el mercurio estará más alto que en el tubo estrecho, lo cual prueba que la tensión es allí menor que la de una atmósfera; viértese entonces mercurio por el tubo T hasta que se restablezca el nivel en ambas ramas. Se quita el globo y se sustituye por la llave R que lleva una cavidad en la que se colocan unas gotas de un líquido volátil; dando vuelta a la llave se vierte el líquido que inmediatamente se evapora, adquiriendo la tensión máxima con lo cual el mercurio desciende en el tubo T y se eleva en el T'; la diferencia de nivel en milímetros indica la tensión del vapor mezclado con el aire. Si ahora se hace llegar al vacío de un barómetro la misma cantidad del líquido volátil, también se evaporará y ejercerá una tensión igual a la que produce en el aparato descrito, siempre que la temperatura sea la misma o será proporcional a la temperatura en el momento de la experiencia. Queda así demostrada la primera ley y la segunda como corolario de la primera.

271. Densidad de los vapores. -Lo mismo que en todos los casos en que nos hemos ocupado de la densidad de los cuerpos, se llama densidad de un vapor, la razón entre el peso de un volumen dado de vapor y el de otro volumen igual de aire puro y seco, ambos en igual temperatura y tensión. Varios métodos se han propuesto para este objeto; el debido a Gay-Lussac se reduce a colocar sobre un hornillo (fig. 149) una cápsula de hierro con mercurio, sobre la cual se halla una campana graduada en litros y fracciones de litro llena también de mercurio, la que se cubre con un cilindro de vidrio lleno de agua que se calienta y cuya temperatura se aprecia por un termómetro T. Se empieza por pesar una ampollita de vidrio; y llena del líquido de cuyo vapor se va a hallar la densidad, se vuelve a pesar, y la diferencia dará el peso del líquido. Introducida la ampollita en el mercurio de la campana graduada y calentando el agua que la rodea, llega un momento en que la tensión del vapor rompe la ampollita de cristal y hace descender el mercurio de la campana; obsérvase entonces la temperatura y el volumen del vapor que indique la graduación de la campana, cuya presión será igual a la que señale un barómetro en el momento de la experiencia, menos la del mercurio que queda en la campana; y con estos datos y hallado el peso de un volumen de aire igual al del vapor, se determina por medio del cálculo la densidad de éste.

Este aparato y procedimiento sólo sirve para líquidos que producen vapores a temperaturas hasta 100.º, pero para aquellos líquidos que exigen más calor para evaporarse, se emplea otro procedimiento algo más complicado.

272. Evaporación. -La evaporación o sea la producción lenta de vapor en la superficie de un líquido puede verificarse en todas temperaturas. Así el agua se evapora a cero grados y aún a temperaturas más bajas, en estado de hielo y el mercurio produce vapores a la temperatura ordinaria; pues si en la boca de un frasco que contenga hasta la mitad este líquido metálico, se coloca una hoja de pan de oro, llega a ponerse blanca a causa de los vapores mercuriales. El gran descenso que se observa en las aguas de los lagos, arroyos y ríos, algunos de los cuales llegan a secarse, es debido a la evaporación lenta, cuyos vapores pasan a la atmósfera y la impregnan o se condensan formando las nubes.

273. Causas que influyen en la evaporación. -Cuatro son las causas que principalmente influyen en la evaporación espontánea de los líquidos. 1.^a La temperatura que aumentando la tensión de los vapores acelera la evaporación. 2.^a La cantidad de vapor del mismo líquido que ya tenga la atmósfera ambiente pues, si la atmósfera está saturada de vapor, ya no admitirá más cantidad y la evaporación cesa, (267) al paso que si no existe nada de vapor, la evaporación llegará a su máximo; entre estos dos extremos, la evaporación varía en proporción de la cantidad de vapor existente en la atmósfera. 3.^a La renovación del aire; si éste permanece tranquilo sobre la superficie del líquido, la saturación llega pronto, pero si hay corrientes de aire, no llegará la atmósfera a saturarse y la evaporación se acelera y 4.^a La extensión de la superficie del líquido, porque teniendo lugar la evaporación en la superficie en contacto del aire, cuanto más grande sea ésta, mayor número de moléculas se evaporarán: esto se demuestra colocando la misma cantidad de un líquido, agua por ejemplo, en dos vasijas, una alta y estrecha y otra ancha y de poca altura, notándose que se evapora mucho más pronto en ésta que en la primera.

274. Fenómeno producido por la evaporación. -Los vapores en que se convierte un líquido, absorben una gran cantidad de calor que hacen latente y como en la evaporación lenta no hay foco directo de calor que pueda proporcionarlo, el vapor lo toma de la misma masa líquida, la cual, como es natural, cediendo calor se enfría. El fenómeno, pues, producido en la evaporación es el enfriamiento, por la conversión del calor libre o sensible en latente. Varias experiencias lo confirman: si se vierte éter sulfúrico en la mano, se experimenta un frío bastante notable: si se recubre con algodón el depósito de un termómetro y se vierte sobre el éter, se ve al mercurio descender varios grados bajo cero, sobre todo si se agita un poco en el aire para que haya renovación; y si la evaporación es muy rápida y el líquido produce vapores a bajas temperaturas, puede llegar a solidificarse el

mercurio. Si en la experiencia anterior se vierte sobre el algodón ácido sulfuroso líquido que se evapora a -10° y se coloca el termómetro debajo de la campana de la máquina neumática y se hace el vacío, la evaporación se acelera tanto y es tan grande la cantidad de calor que se transforma en latente, absorbido por el ácido sulfuroso, que el mercurio se solidifica.

275. Aplicaciones. -El agua que se conserva en las alcarrazas, se mantiene muy fría a causa de que siendo el barro que las forma muy poroso, el agua sale en una corta cantidad a la superficie, se evapora y tomando calor de la vasija y de la misma agua, se enfrían, tanto más, cuanto más se renueva la capa de líquido que baña el exterior. Al evaporarse el agua que tiene en disolución ciertas sustancias, éstas se depositan, pudiendo cristalizar.

LECCIÓN 45. -Ebullición. -Sus leyes. -Causas que influyen en el punto de ebullición. -Calor latente de los vapores.

276. Ebullición. Sus leyes. -Ya hemos dicho ebullición es el fenómeno que acompaña a la producción rápida de vapor por la acción de un foco directo de calor; y está caracterizada por un ruido y un movimiento más o menos tumultuoso en la masa del líquido, que entonces se dice que hierve. En efecto, las burbujas de vapor que se producen en la parte inferior del líquido, siendo menos densas que éste, ascienden y al principio al llegar a las capas superiores de menor temperatura se condensan; pero cuando ya toda la masa ha adquirido una elevada temperatura, esas burbujas se rompen en la superficie del líquido y pasan a la atmósfera: ese movimiento ascensional de las burbujas de vapor producen una serie de vibraciones en el líquido y en la vasija que le contiene, dando origen al ruido característico en la ebullición. Los líquidos necesitan también un grado de calor determinado para hervir que se llama punto de ebullición. La ebullición se halla sometida a las tres leyes siguientes:

1.^a La temperatura de ebullición aumenta con la presión.

2.^a Todo líquido entra en ebullición a un grado constante de calor, si las condiciones de presión y contacto con otros cuerpos son las mismas.

3.^a Sea cual fuere el foco de calor, la temperatura del líquido permanece estacionaria desde el momento que principia la ebullición.

TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DE VARIOS CUERPOS A LA PRESIÓN DE UNA ATMÓSFERA.

Ácido sulfuroso -10°
Ácido sulfúrico anhidro 30

Éter sulfúrico 35'5
Sulfuro de carbono 48
Alcohol 79
Bencina 80
Agua pura 100
Esencia de trementina 157
Mercurio 350
Azufre 440
Zinc 1040

Hirviendo el agua a la temperatura de 100° y teniendo su vapor, a ese calor una tensión de 760mm o sea de una atmósfera (268. C), se deduce que sólo cuando el vapor adquiera esa tensión, entrará en ebullición; ley que es general para todos los líquidos y que se enuncia, ningún líquido entra en ebullición hasta que la tensión de su vapor es igual a la presión que sufre.

276. (bis) Causas que influyen en el punto de ebullición. -Aun cuando según la 2.^a ley de la ebullición, ésta tiene lugar a un grado de calor constante para cada líquido, hay causas que pueden acelerar o retardar ese punto. Esas causas son:

A. Las sustancias que el líquido tenga en disolución. -Si la sustancia disuelta no es volátil o lo es menos que el líquido, retarda el punto de ebullición: así el agua que cuando es pura hierve a 100°, entra en ebullición a temperaturas más elevadas cuando está saturada de diferentes sales:

Con sal común a 109.°

Con nitrato potásico a 116.°

Con carbonato potásico a 135°

Con cloruro cálcico a 170°

La explicación del fenómeno la creemos fácil: obsérvase que el punto de ebullición se retrasa tanto más, cuanto, mayor es la afinidad entre el sólido y el líquido, como sucede al cloruro cálcico, que es muy ávido de agua y la absorbe fácilmente con sólo estar en contacto del aire húmedo; consecuencia de esta gran afinidad el sólido retiene al líquido con más o menos energía, necesitándose un trabajo mecánico o una fuerza repulsiva de calor, para que el líquido abandone al sólido y se convierta en vapor, mayor que la que necesitaría el líquido si estuviera puro.

Las materias en suspensión en el líquido, no influyen en su punto de ebullición.

B. La naturaleza de la vasija. -Un líquido colocado en una vasija de vidrio necesita una temperatura más alta para hervir que en una de metal; y si la vasija de vidrio ha sido previamente limpiada con ácido sulfúrico o con potasa, de modo que entonces el contacto entre el líquido y la vasija sea mayor, la temperatura de ebullición aumenta: en esas

condiciones, el agua por ejemplo, no hierve hasta 106° . En este caso y en el anterior sea cual fuere la temperatura a que hierva el líquido, la del vapor es siempre la que corresponde al punto de ebullición del líquido a la presión de una atmósfera.

C. La falta de aire o de otro gas en el seno del líquido y en la superficie. -Dejamos dicho que el agua puede retardar su punto de ebullición si está privada de aire: pues del mismo modo la falta de gas en el interior del líquido o en la superficie, aumenta el punto de ebullición.

Varios físicos observaron este fenómeno, pero quien le estudió detalladamente fue Donny, de Gante, en 1846, valiéndose de un sencillo aparato, (fig. 150) formado por un tubo de vidrio encorvado en los puntos A y B y terminado en D en un ensanchamiento grande y otro más pequeño en el extremo: lavado el tubo interiormente con sustancias que le priven de cualquiera materia que pudiera estar adherida a paredes, se coloca agua en el interior, se la hace hervir hasta que haya seguridad de haber sido expulsado todo el aire del líquido y del tubo; se cierra entonces la punta y no quedará en el tubo más que agua en la parte encorvada y vapor con débil tensión en el resto. Si en este estado se introduce la parte del tubo que contiene agua en un baño de cloruro cálcico y se calienta, puede llegar a tomar la temperatura de 130° sin que entre en ebullición, verificándose esta rápidamente a los 138° . La influencia de la falta del aire en contacto con la superficie del líquido aún se patentiza más, como lo ha hecho Dufour, poniendo los líquidos en suspensión en otros de igual densidad, pero cuyo grado de ebullición sea más elevado, hallándose así privados del contacto del aire. De ese modo colocó agua en suspensión en una mezcla de esencia de clavo y aceite de linaza y calentada, vio que el agua no entraba en ebullición hasta los 120° ; y el ácido sulfuroso que hierve a 10° retarda su punto de ebullición hasta 18 sobre cero, si se halla en suspensión en una mezcla de agua y ácido sulfúrico. Por último, Dufour observó también que si en un líquido que se encuentre en las condiciones citadas, con una temperatura superior a su ebullición, se introduce una varilla de vidrio u otro cuerpo sólido, tan pronto como se pone en contacto con el líquido, entra éste repentinamente en ebullición; cuyo fenómeno explica el citado físico por la capa de aire que estos cuerpos tienen en su superficie, no gozando de esta propiedad después que desaparece esa capa de gas, en inmersiones sucesivas en un líquido.

D. La presión. -La influencia de la presión en el punto de ebullición de los líquidos es muy notable, puesto que ninguno hierve hasta que la tensión de su vapor sea igual a la presión que sufre; según que esta presión aumente o disminuya así se adelanta, o retarda ese punto de ebullición. Que la disminución de la presión acelera el grado de ebullición de los líquidos, se demuestra poniendo agua en un matraz que en su boca lleve un tubo fijo en un corcho (fig. 151) se hace hervir el líquido y cogiendo entonces el matraz con un paño o toalla y tapando con el dedo la abertura del tubo, pronto cesa la ebullición; si ahora se introduce en un baño de agua fría, rompe de nuevo el líquido a hervir. La razón de este fenómeno es muy sencilla; tan pronto como se coloca el matraz en el agua fría, el vapor contenido se condensa y deja casi un vacío, entonces el agua, falta de presión, entra en ebullición. También se demuestra esa influencia por medio del hervidero de Francklin (fig. 152) que es un tubo de vidrio encorvado que termina en una esfera a y un depósito b; la esfera y parte del tubo contienen alcohol o éter teñido de rojo y el resto está vacío, o sólo hay en él algunos vapores de éter por haber hecho hervir el líquido en el momento de cerrar

el tubo. Si se coge la esfera con la mano, hasta el calor de ésta para que se produzca la ebullición. Modificado el aparato formándole por un tubo recto terminado en dos esferas y con líquido como en el caso anterior, (fig. 153) cogiendo una de las esferas con la mano, se nota un movimiento uniforme en el líquido, por efecto de cada pulsación, lo que ha valido al aparato el nombre de pulsímetro.

277. Hipsómetro. -Disminuyendo la presión del aire con la altura, y ejerciendo esa presión una notable influencia sobre el punto de ebullición de los líquidos, se ha podido hacer una aplicación importante del termómetro para medir la diferencia de altura entre dos lugares, observando el grado de calor a que el agua entra en ebullición. El aparato que se emplea para este objeto se llama ipsómetro (del griego ipsos ebullición y metron medida) y está formado (fig. 154) por un tubo termométrico D, graduado desde 85 a 100 y dividido cada grado en 10 partes iguales: este termómetro está suspendido en el interior de un estuche metálico, el cual lleva en su parte inferior una calderita de cobre que contiene agua que se hace hervir por medio de una lámpara de espíritu de vino. Haciendo entrar en ebullición el agua al pie de una montaña y después en el punto cuya altura se desea conocer, de las temperaturas que señale el termómetro en las dos ebulliciones, se deduce la altura, teniendo en cuenta que la experiencia ha encontrado que por cada grado que descienda el punto de ebullición del agua, corresponden 300 metros de altura.

278. Marmita de Papin. -Con este aparato se demuestra que el punto de ebullición de un líquido puede retrasarse considerablemente a medida que aumente la presión. Consta esta máquina inventada por Dionisio Papin de una vasija de cobre estañado interiormente (fig. 155), de paredes muy resistentes con una tapadera del mismo metal que se sujeta muy fuertemente por medio de un tornillo fijo por dos pasadores: en un punto de la tapadera hay un orificio, cerrado por una válvula A sobre la cual se apoya una palanca de segundo género que lleva un peso que puede colocarse a mayor o menor distancia del punto de apoyo aumentando la carga sobre la válvula. Si se desea que el vapor adquiera una fuerza elástica de 4 atmósferas, por ejemplo, se coloca el peso de modo, que cuando llegue esa tensión, venza la resistencia de la válvula, la levante y el vapor se escape; así no hay temor a la rotura del aparato por la fuerza, de tensión del vapor y de ahí el nombre válvula de seguridad con que se conoce esta válvula. Poniendo, pues agua en la marmita hasta los dos tercios y calentándola puede aumentar la temperatura mas allá de 100° sin que el líquido hierva a causa de la fuerte presión a que está sometida la primera porción de vapor producida; pero cuando ésta adquiera una tensión igual a la presión que sufre rompe a hervir, el vapor levanta la válvula y el agua adquiere entonces la temperatura de 100°.

Este aparato ha sido aplicado para la cocción de los alimentos en aquellos puntos en que por hallarse muy elevados, el agua hierve antes de los 100.° no siendo suficiente esta temperatura para reblandecerlos y cocerlos. Así se dice se empleaba en el asilo hospitalario de los monjes del monte de San Bernardo en los Alpes y con esta marmita también, dando

una temperatura elevada al agua, sin que hierva, se ha podido extraer la gelatina de los huesos, formándose con ella un caldo muy alimenticio.

279. Calor latente de los vapores. -Como la temperatura de un líquido en ebullición permanece estacionaria (277 3.^a ley) a pesar de hallarse en un foco de calor, este al penetrar en la masa del líquido, se transforma en latente, como acontece en el fenómeno de la fusión: este calor que produce un efecto determinado, como es el de convertir el líquido en vapor y que las moléculas de este se mantengan en el estado de repulsión propio de los cuerpos aeriformes, no obra sobre el termómetro. Este calor se llama latente o de elasticidad o de vaporización.

Ya hemos visto cómo la evaporación lenta en los líquidos produce un enfriamiento mayor o menor, pues del mismo modo una ebullición rápida origina un gran enfriamiento. Varias experiencias lo demuestran Leslie logró congelar el agua, fundándose en este principio. Colocado debajo de la campana de la máquina neumática (fig. 156) un vaso de vidrio que contenga ácido sulfúrico concentrado y encima y a corta distancia una capsulita A de poco fondo con agua; hecho el vacío, entra el agua en ebullición y sus vapores son absorbidos por ácido: si el vacío se mantiene constantemente, la ebullición se hace cada vez más rápida, el agua entonces pierde tanto calor, que los vapores hacen latente, que se enfría hasta el punto de congelarse. Igual prueba puede hacerse con el crioforo (del griego crios frío y foreo llevar) debido a Wollaston que es un tubo de vidrio encorvado (fig. 157) y terminado en sus extremos por dos esferas; contiene agua que se ha hecho hervir de cerrarlo para expulsar el aire: colocada el agua en la esfera A se introduce la otra en una mezcla frigorífica que condensa los vapores y el agua entra en ebullición, pero tan rápidamente a causa de la condensación sucesiva de los vapores, que el líquido, perdiendo calor, se enfría hasta el extremo de solidificarse.

LECCIÓN 46. Liquefacción de los vapores y los gases. -Estado esferoidal.

280. Liquefacción de los vapores. -Llámase así y también condensación el paso de los vapores y gases al estado líquido. Sin embargo la palabra liquefacción se aplica más principalmente a los vapores. La liquefacción puede efectuarse por el enfriamiento, la compresión y la acción química.

Para que un vapor se condense, o licue por el enfriamiento o por la presión, es necesario que esté saturado; no así cuando interviene la afinidad química, pues muchas sustancias tienen la propiedad de fijar o condensar el vapor de agua sea cual fuere su cantidad. Tan pronto como un vapor se condensa el calor latente o sea la fuerza viva que animó a las moléculas del vapor, se convierte en calor sensible en una cantidad igual; de donde se deduce que al evaporarse un líquido hay pérdida de calor y desarrollo de una fuerza viva y

al condensarse o enfriarse, por el contrario, desaparece la fuerza viva y hay producción de calor.

Fundada en la liquefacción de los vapores estriba una operación importante muy usada en Química o sea la destilación que tiene por objeto separar de los líquidos volátiles las sustancias que los impurifican, o dos líquidos cuyo punto de volatilización sea diferente. Los aparatos empleados con este objeto se llaman alambiques o alquitaras. En principio se reduce la operación a evaporar el líquido y condensarle en una parte fría. En Química nos ocuparemos de esta operación.

281. Liquefacción de los gases. -Los mismos procedimientos de enfriamiento y presión y en general los dos reunidos pueden emplearse para la licuación de los gases. Hasta hace poco sólo se había conseguido liquidar ciertos gases, como el cloro, el amoníaco, ácido carbónico, etcétera, y aunque no se había logrado el mismo resultado respecto otros, era creencia que se licuarían y hasta se solidificarían tan pronto como se dispusiese de grandes presiones y los aparatos se prepararan convenientemente. En efecto, ya se han obtenido tan preciosos resultados y hoy se liquida el oxígeno y el hidrógeno con la misma facilidad que el cloro y el amoníaco. Los primeros que licuaron estos últimos gases fueron Davy y Faraday valiéndose de un sencillo tubo (fig. 15 8) que aún hoy se llama tubo de Faraday. Es un tubo encorvado abierto por un extremo por donde se introduce la sustancia, que por el calor ha de desprender el gas; cerrado después se introduce la rama A que contiene la sustancia en agua que se calienta y la otra B en una mezcla frigorífica; el gas se desprende y ejerciendo sobre sí mismo una fuerte presión, mientras que el frío de la mezcla acerca y condensa las moléculas, el gas se liquida. Para los demás gases se han ideado aparatos especiales, de los que haremos una ligera indicación en Química.

282. Estado esferoidal. -Llámesese así el estado que afectan los cuerpos líquidos cuando se hallan colocados en vasijas cuya temperatura es muy superior a su punto de ebullición; los líquidos entonces toman la forma de un esferoide y están animados de un movimiento más o menos rápido. Dedúcese de aquí que un cuerpo líquido puede hallarse en las mayores temperaturas sin que entre en ebullición, no porque adquiriera la temperatura de la vasija, sino porque en las condiciones en que se encuentra no llega a adquirir el calor suficiente para hervir. Si se calienta hasta enrojecerla una cápsula de cobre o de platino y se vierte en ella, un poco de agua, inmediatamente toma la forma de un esferoide, moviéndose agitado de un punto a otro dentro de la cápsula. En este estado el líquido se halla en las condiciones siguientes: 1.^a La temperatura del líquido es inferior a la de su grado de ebullición. 2.^a El glóbulo no toca a las paredes de la vasija. Estos hechos y todo lo que se refiere al singular fenómeno del estado esferoidal, han sido estudiados detenidamente por Boutigny. Demuéstrase que el calor del líquido, en estado esferoidal, es inferior al que corresponde a su punto de ebullición, por más que se halle en una vasija de temperatura mucho más elevada, colocando en estado esferoidal una porción líquida, algo considerable de modo que

permita introducir dentro de ella un termómetro de depósito pequeño: si es el agua el líquido esferoidal, el instrumento señalará unos $96'5^{\circ}$ y si el ácido sulfuroso $-11.^{\circ}$, siendo así que este líquido hierve $-10.^{\circ}$. Sin embargo el vapor tiene la temperatura de la cápsula. Relacionados con este fenómeno se practican diversos experimentos sumamente curiosos, cual es la congelación del agua dentro de una cápsula o crisol de platino rojo de fuego. Calentada hasta ese punto se vierte en ella ácido sulfuroso líquido, que tomará en el acto el estado esferoidal; si ahora se derrama encima agua en el momento se congela, pudiendo sacar del interior de la cápsula con una pinza de madera, un trozo de hielo. La explicación del fenómeno es fácil el ácido sulfuroso al tomar el estado esferoidal se hallaron una temperatura lo más de $-11.^{\circ}$ y al ponerse el agua en contacto con él y de su gran frío, necesariamente ha de solidificarse. Que el líquido en estado esferoidal no toca a las paredes de la vasija incandescente, se comprueba con varias experiencias. Si se calienta hasta el rojo una placa de plata A (figura 159) colocada horizontalmente y sobre ella se vierten unas gotas de agua teñida ligeramente de tinta china, tomará el estado esferoidal; cubierto el glóbulo con un cilindro de metal B que tenga dos orificios opuestos y se mira a través de ellos una bujía encendida, se verá la llama por entre la placa y el glóbulo esferoidal, lo cual prueba que éste se halla como suspendido sin tocar a la placa. Si se sustituye ésta por una llena de agujeros en tal número que casi no admita más y se calienta, vertiendo un líquido, adquiere la forma esferoidal moviéndose rápidamente por la superficie de la lámina sin derramarse o pasar a través de los orificios. ¿A causa de que el líquido no toca a las paredes del cuerpo caliente? Porque el líquido en estado esferoidal si bien no hierve, no por eso deja de evaporarse, aunque muy lentamente: envuelto entonces el glóbulo por una atmósfera de vapor, su fuerza elástica obra sobre la placa y el líquido, el cual se ve obligado a elevarse hallándose entre él y la placa una capa de vapor que no permite al calor producir todo su efecto sobre el líquido. Compruébase este hecho vertiendo en una cápsula enrojecida un poco de alcohol u otro líquido combustible que tomará el estado esferoidal; si se aproxima al glóbulo un fósforo o cerilla encendida, se verá arder la atmósfera de vapor que le rodea, permaneciendo en el interior el cuerpo combustible.

Capítulo IV

Máquinas de vapor

LECCIÓN 47. Máquinas de vapor. -Su historia. -División de las máquinas de vapor. - Máquinas de vapor fijas. -Máquina de doble efecto o de Watt.

283. Máquinas de vapor. -Dáse el nombre de máquinas de vapor a todos los aparatos que se mueven por la fuerza elástica o de tensión del vapor de agua. El vapor, producido por la ebullición del agua, obra sobre el émbolo de un cuerpo de bomba a quien pone alternativamente en movimiento rectilíneo, el cual trasformado en circular por varios mecanismos, se trasmite a ruedas y otros aparatos mecánicos.

284. Historia. -Ninguna invención ha producido resultados más positivos en la prosperidad y progreso de las artes y la industria como la máquina de vapor. Elemento poderoso en las oficinas metalúrgicas, auxiliar enérgico en toda clase de fábricas y motor activo en las más rápidas comunicaciones terrestres y marítimas: la gloria del descubrimiento de esta prodigiosa máquina, ha sido disputada por casi todas las naciones. Y no es en verdad nada extraño, pues pocas invenciones han realizado tantas maravillas como esa tenue materia de vapor comprimida convenientemente y que con tanta facilidad se maneja. Por punto general el nombre de esos sabios inventores, de esos ilustres bienhechores de la humanidad, se halla en el mayor olvido o nos es completamente desconocido; y es porque la aplicación práctica de un hecho científico o de un descubrimiento importante no es trabajo de una sola inteligencia. Tal ha sucedido con la máquina de vapor, como con todos los grandes inventos, el telégrafo eléctrico, la fotografía, etc. Escritores diligentes procuran luego averiguar quién ha sido el primero que propuso el medio de lograr este resultado, como sino cupiera tanta gloria y no tuviera tanto mérito el que modifica y perfecciona un invento, haciéndole perfectamente realizable, como el que no hizo más que iniciar el pensamiento o propuso medios imperfectos para conseguirlo.

Algunos hallan los primeros ensayos de la máquina de vapor en experiencias hechas por Heron de Alejandría 120 años antes de J. C.; mas esa clase de trabajos debieron ser de escasa importancia y no vuelven a mencionarse en la historia de la ciencia hasta el siglo XVI, en que un español, Blasco de Garay, hizo la primera prueba de una máquina movida por la tensión del vapor aplicada a la impulsión de los barcos. Hase intentado rebajar el mérito de esta invención y hasta desvirtuarla por completo, suponiendo que el aparato de Blanco de Garay era simplemente una máquina mecánica, sin que para nada interviniera en sus efectos el vapor de agua. No tenemos noticia de que se hayan publicado, si existen, los documentos auténticos en que se apoye esta opinión, que por lo mismo tenemos por infundada, siendo sólo la pasión la que ha podido oscurecer por un momento la gloria alcanzada por el hidalgo de Toledo, cuyo nombre va desde hace tiempo e irá siempre, unido a uno de nuestros buques de la armada, el Blanco de Garay.

La protección que para sus ensayos pidiera, Garay al Emperador Carlos V, primero de España, no fue dispensada, en el grado que merecía la importancia del invento; así que el espíritu guerrero del monarca y el carácter aventurero de los españoles de aquella época contribuyeron a que la invención de Blanco de Garay quedase olvidada, hasta principios del siglo XVII en que Salomón de Caus presentó (año 1614) una máquina en que el vapor de agua producía el efecto, pero sin que diera resultados prácticos, hasta el punto de que aún bastantes años después, el célebre Huygheus, ya citado por haber sido el primero que aplicó el péndulo como regulador de los relojes, no debía tener conocimiento de estos hechos, cuando propuso por, el año 1650, el empleo de los gases de la combustión de la pólvora como fuerza motriz que había de mover un émbolo dentro de un cilindro; de modo que el calor desarrollado en la inflamación de la pólvora enrarecía el aire que se escapaba por una válvula, elevándose el émbolo y dejando debajo de sí un espacio casi vacío en cuya virtud el émbolo descendía por la presión atmosférica. Al finalizar el siglo XVII Dionisio Papin, aceptó desde luego el empleo del vapor de agua y sus trabajos, de escaso éxito en un principio, aplicados a las máquinas de vapor fijas, alcanzaron más tarde en 1707, mejor resultado en la navegación, si bien sus aparatos no reunían todas las condiciones prácticas

como los ideados más tarde por Roberto Fulton, el verdadero creador de la investigación por el vapor. Reducíase en principio la máquina de Papin (fig. 160) a un cuerpo de bomba C en cuyo interior podía correr un émbolo elevándose por la tensión del vapor que se producía por la ebullición del agua introducida por a debajo del émbolo y que se calentaba convenientemente. Enfriando en seguida con un chorro de agua fría el exterior del cuerpo de bomba, el vapor se condensaba y el émbolo descendía por la presión atmosférica: estos fenómenos se repetían alternativamente produciendo vapor y condensándole, comunicándose el movimiento del émbolo por medio de una cadena al extremo de una palanca de primer género hallándose en el otro, el cuerpo sobre el cual se producía el efecto mecánico. En esta misma época, es decir, al terminar el siglo XVII, comenzaron en varias naciones los verdaderos trabajos para utilizar el vapor como fuerza motriz, distinguiéndose entre todas Inglaterra, Francia y Alemania y más tarde los Estados Unidos de América. El inglés Eduardo de Sommerset, Marqués de Worcester, se dedicó también a estudios prácticos sobre la fuerza del vapor, pero sin resultados positivos. Tomás Savery, ingeniero inglés y antes oscuro obrero de minas, logró con su estudio y aplicación alcanzar fama merecida con la instalación en 1698, de una maquina fundada en el principio de la tensión del vapor, para mover las bombas que elevaban el agua, de las minas de carbón de piedra. Poco después Neuwcomen, cerrajero que vivía en Darmouth, distrito de Devoushire, ya entrado el siglo XVIII, perfeccionó la máquina de vapor hasta el punto de aplicarse una muy poderosa, construida bajo los principios físicos y mecánicos de Neuwcomen, para la distribución de las aguas por la ciudad, de Londres y obras para el desagüe de las minas de carbón, principal objetivo a que por entonces se dirigían todos los esfuerzos de los que se dedicaban al perfeccionamiento de la máquina de vapor. La modificación esencial de la máquina de Neuwcomen, consistía (fig. 161) en producir el vapor en una caldera A haciéndole llegar directamente al cuerpo de bomba P, cuyo émbolo elevaba; y condensado después con un chorro de agua fría, que penetraba en el cuerpo de bomba por el tubo, D se originaba un enrarecimiento debajo del émbolo, el cual descendía por la presión de la atmósfera; estos movimientos se trasmitían por el émbolo a diversos mecanismos como el vástago de una bomba aspirante, etc.

Pero todos estos aparatos eran todavía muy imperfectos, demasiado complicados y muy penosos, pues había que abrir alternativamente las llaves del vapor y del agua fría y no se hallaban fundados en las verdaderas relaciones físicas entre la producción del vapor, su condensación y la regularidad de los movimientos que la tensión de esta fuerza había de producir en las diversas partes de la máquina; por cuya razón ofrecían muchos inconvenientes que era necesario hacer desaparecer. Estaba reservada esta gloria al ilustre Watt, que modificó esencialmente el aparato de Savery y Neuwcomen, hasta el punto que su máquina, llamada de doble efecto, es la que con ligeras modificaciones se emplea hoy y que vamos a describir. Y fueron tales las alteraciones y los perfeccionamientos que Watt introdujo en la máquina de vapor, la dotó de tales elementos, tan ingeniosamente combinados, que casi puede decirse que fue el verdadero inventor de esta utilísima máquina.

285. División de las máquinas de vapor. -Estos aparatos se han dividido 1.º Por el modo de obrar el vapor, en máquinas de simple efecto y doble efecto. Son máquinas de simple efecto, aquellas en que el vapor obra sobre una sola cara del émbolo, moviéndole en una dirección; y caminando en dirección contraria. después de enfriado el vapor, por la presión del aire, que obra sobre la cara opuesta: tales fueron las primitivas máquinas, que por intervenir en ellas la acción del aire, se llamaron máquinas atmosféricas. En el día todas son de doble efecto, es decir, que en ellas el vapor obra alternativamente sobre una y otra cara del émbolo. 2.º Por la tensión que adquiere el vapor, se dividen en máquinas de baja media y alta presión: son de baja presión aquellas en que la tensión del vapor es muy poco superior a la de una atmósfera; de media presión, si la tensión que alcanza el vapor es de 2 a 4 atmósferas; y de alta presión si pasa de 4 atmósferas. 3.º Por la dirección saque toma el vapor después de haber obrado, en condensación y sin condensación; en las primeras el vapor después de haber producido su efecto sobre el émbolo, se condensa en un depósito de agua fría y en las segundas el vapor después de obrar se pierde en la atmósfera; tal sucede en las locomotoras. 4.º Por el modo de funcionar el vapor, en máquinas con expansión y sin expansión; si el vapor obra sobre el émbolo durante todo el trayecto de éste en el cuerpo de bomba, son sin expansión, pero si el vapor sólo penetra en parte en el cuerpo de bomba e impulsa, el émbolo en virtud de su fuerza expansiva, se llama la máquina con expansión y 5.º Según su disposición, en fijas, como las instaladas en las fábricas y talleres y a bordo de los buques; locomóviles las que se mueven sobre ruedas, pudiendo ser trasportadas de un punto a otro y se usan principalmente en las faenas de la agricultura y locomotoras o máquinas de los caminos de hierro.

286. Máquinas fijas. -Máquina de doble efecto. -Esta máquina fija llamada también de Watt, fue la que dispuso este mecánico definitivamente, pues en un principio también construyó sus máquinas de simple efecto. Consta de dos partes muy diferentes, el generador o caldera, donde se produce el vapor y la verdadera máquina.

1.º Generador o caldera. -Los constructores dan a este aparato formas distintas, pero aunque varíen en los detalles, los principios fundamentales son los mismos en todas. Consta (fig. 162) de un gran cilindro de palastro de hierro A B, terminado por dos casquetes esféricos para darle mayor resistencia; debajo hay dos cilindros H, (que en el gravado sólo se ve uno) también de hierro, pero de mucho menor diámetro, que se llaman hervores. Estos cilindros son los que reciben directamente la acción del fuego y están llenos de agua mientras que la caldera lo está como hasta los dos tercios. Encima de la caldera hay diversos orificios que llevan varios aparatos: P un flotador para conocer el nivel de agua en el interior de la caldera; está suspendido de un tirante en el extremo de una palanca de primer género de brazos iguales; el otro extremo lleva un contrapeso: la palanca ha de permanecer siempre casi horizontal, lo cual probará que la caldera tiene bastante agua. T tubo que conduce el vapor a la máquina; T' tubo que conduce el vapor a un manómetro para conocer la tensión; T'' tubo para lanzar el agua a la caldera, M gran agujero perfectamente cerrado, con dos tornillos, por un obturador de hierro y por donde, cuando sea necesario, puede penetrar un hombre para inspeccionar o limpiar la caldera; S silbato de alarma que lleva un flotador unido a una pieza que cierra el pie del silbato y cuando hay poca agua, en

la caldera, el flotador desciende y deja escapar el vapor que pasa, rozando contra los bordes de un timbre y produce un sonido: también una llave o palanca movida por la mano puede dar salida al vapor para dar avisos; D válvula de seguridad semejante a la de la marmita de Papin; N tubo comunicante que indica también el nivel del agua.

2.º Máquina.-La fig. 163 representa un modelo de máquina de vapor con cuerpos de bomba de cristal para ver el juego y mecanismo de los émbolos y válvulas y es la que suele hallarse en los gabinetes de Física. La posición del cuerpo de bomba es indiferente y lo mismo puede colocarse vertical que horizontalmente. En la máquina de doble efecto de Watt han introducido diferentes modificaciones los ingenieros y constructores, pero sin que afecten a los principales físicos en que descansa hoy la máquina. Veamos brevemente la disposición de cada una de sus piezas.

a. Caja de distribución del vapor. -Como su nombre lo indica con ella se distribuye el vapor encima y debajo del émbolo. Es una caja (fig. 164) unida al cuerpo de bomba que lleva tres orificios, uno hacia la parte superior, otro en la inferior y otro en el medio; los dos primeros sirven para dar paso al vapor para que obre sobre el émbolo y el tercero comunica con el condensador. Una pieza en forma de D mayúscula, por lo cual se llama válvula en D, tiene una longitud tal, que moviéndose dentro de la caja, si cierra el orificio superior deja descubierto el inferior y viceversa; de modo que el vapor puede obrar alternativamente sobre y debajo del émbolo: si el cuerpo de bomba colocado horizontalmente, el émbolo se moverá de adelante a atrás y al contrario. La válvula en D y el émbolo se mueven alternativamente.

b. Paralelogramo. -Formado por cuatro palancas $p p' n n'$; en el ángulo de las p y p' , se halla articulado el vástago S del émbolo. Tiene por objeto el paralelogramo mantener siempre vertical el vástago del émbolo, pues de lo contrario articulado directamente al extremo de la pieza B se doblaría o rompería y no podría penetrar rectilíneamente en el cuerpo de bomba.

c. Balancín. -Palanca B, de primer género que toma un movimiento de balanza y en cuyos extremos el movimiento rectilíneo del émbolo se convierte en semicircular.

d. Biela. -Barra H, articulada por un extremo al balancín y por el otro a una pequeña palanca o llamada manivela o manubrio, que se halla a su vez articulada al extremo de una barra cilíndrica de hierro denominada árbol de asiento en el cual el movimiento es ya completamente circular.

e. Volante. -Gran rueda V de hierro, que tiene por objeto hacer pasar a la manivela de los puntos muertos, es decir que en virtud de la inercia continúa el volante con la velocidad recibida, mientras que la manivela no debiera girar al hallarse en la parte superior e inferior de su movimiento (puntos muertos) porque en esas dos posiciones tiende a convertirse en rectilíneo.

f. Excéntrica. -Varilla o tirante E, unida por un extremo al árbol de asiento pero fuera del centro de éste, de modo que en el movimiento circular del árbol, la excéntrica

camina en sentido horizontal, o con movimiento de vaivén; y por el otro extremo se articula a un sistema de varillas que ponen en movimiento la válvula en D de la caja de distribución.

g. Regulador de Watt. -Como no es posible regularizar la entrada del vapor en la caja de distribución, y por consecuencia en el cuerpo de bomba, el émbolo unas veces se movería con más velocidad y otras con menos e interesa mucho que ese movimiento sea uniforme: Watt lo consiguió por medio del regulador que consiste en un doble péndulo (fig. 165) articulado en un vástago que lleva en la parte inferior una rueda dentada que forma ángulo recto con otra colocada en el árbol de asiento, el cual comunica al péndulo un movimiento de rotación: dos varillas articuladas en r se hallan en comunicación con una palanca s y esta con un tirante de hierro t unido a una pieza circular o válvula que puede cerrar o abrir el orificio de entrada del vapor antes de pasar a la caja de distribución. En la posición natural de los péndulos m n la longitud del tirante es tal, que el orificio está abierto si el vapor penetra en el cuerpo de bomba en gran cantidad o con gran tensión, el movimiento se hace sumamente rápido, los péndulos divergen en virtud de la fuerza centrífuga, tomando por ejemplo la posición m' n', el tirante entonces cierra la abertura y ya no penetra, tanto vapor; la velocidad disminuye, los péndulos descienden y se abre de nuevo la comunicación; de modo que la válvula está continuamente abriendo o cerrando más o menos la entrada del vapor regularizando así el movimiento.

h. Condensador. -Bombas. -En las máquinas fijas se aprovecha el vapor después de haber obrado, que sale por el orificio central de la caja de distribución y pasa al condensador o, donde un chorro de agua fría, lanzado por la bomba D que la toma de un pozo o depósito, le condensa: otra bomba a llamada de aire, extrae del condensador el agua a medida que se llena y la manda a otra bomba G, denominada alimenticia, que la lanza de nuevo a la caldera.

En resumen, el modo de funcionar de la máquina es el siguiente; lleva el vapor de la caldera, penetra por la válvula en D que lo distribuye en el cuerpo de bomba a cuyo émbolo comunica un movimiento rectilíneo que transmitido al paralelogramo y de este al balancín, se transforma en circular en la biela y la manivela, que lo transmiten al árbol de asiento, el cual lleva en un extremo el volante y en el otro una polea por la que pasa una correa sin fin, que pone en movimiento diversos aparatos y útiles mecánicos, como tornos, sierras, máquinas para la fabricación de multitud de objetos etc.

LECCIÓN 48. -Máquinas de vapor para la navegación. -Locomotoras.

287. Máquinas de vapor para la navegación. -Dejamos dicho que después de los ensayos de Blanco de Garay en el puerto de Barcelona, su invención para el movimiento de los buques por medio de la fuerza del vapor, quedó olvidada y no vuelven a aparecer estos trabajos hasta la época de Dionisio Papin, en que este sabio físico instaló en el año de 1707 una máquina provista de ruedas en un barco con el cual navegó por el Fulda hasta Munden (Hanobre) y desde cuyo punto pensó atravesar el Weser para dirigirse a Inglaterra. Parece que los barqueros del Weser no solo le impidieron el paso, sino que le destruyeron el

buque. Sucesivamente varios físicos y constructores, en Francia, el marqués de Jouffroy, en Escocia Miller y Symington y en América John, Fitch y Runsey hicieron diversas tentativas para establecer la navegación con el vapor; pero todos sus esfuerzos fueron inútiles hasta que en principios del siglo actual Roberto Fulton resolvió satisfactoriamente el problema haciendo con toda felicidad un viaje desde Nueva York a Albany por el río Hudson, a bordo del Clermont, a quien impulsaba una máquina de vapor.

Las máquinas instaladas en los buques son de las fijas, de doble efecto y alta presión, habiéndose modificado y llevado a un alto grado de perfección hasta en sus más pequeños detalles. De dos maneras se disponen: 1.º con el árbol de asiento perpendicular al eje de la quilla, en cuyo caso se llama el buque de ruedas o paletas y 2.º con el árbol paralelo a la quilla, recibiendo entonces el nombre de hélice.

A. Buques de ruedas. -Fueron los primeros que se emplearon. En ellos el árbol de la máquina se prolonga a una y otra banda, saliendo por los costados del buque (fig. 166) y en sus extremos se fijan unas grandes ruedas de paletas. El centro de las ruedas se halla próximamente a flor de agua y por consiguiente la mitad de ellas está dentro del agua y la otra mitad en el aire: entonces girando rápidamente se apoyan en el agua y producen el impulso.

B. Buques de hélice. -La hélice o tornillo no es más que la sección del filete muy ensanchado de un tornillo que se mueve en una tuerca sin fin, que es el agua. Las máquinas de vapor que ponen en movimiento de rotación la hélice, son de un sistema especial en su construcción, pero su fundamento físico es el mismo que el de las demás. El árbol se prolonga hacia la popa del buque (fig. 167) y en su parte inferior se halla la hélice. Esta disposición ofrece grandes ventajas sobre la de ruedas, particularmente en los buques de guerra, pues hallándose el tornillo debajo del agua, no puede servir de blanco a las balas enemigas y además que en casos especiales, como cuando hay necesidad de navegar a la vela y la máquina no funciona y el tornillo está parado, por un mecanismo especial la hélice se puede elevar a bordo y no es un obstáculo para el andar del buque.

288. Locomotoras. -Llámanse locomotoras las máquinas de vapor que colocadas sobre unas ruedas, transmiten a éstas el movimiento, caminando como un carruaje.

289. Historia. -Dispuesta la máquina de vapor para funcionar con toda regularidad con los inventos y modificaciones de Watt, se pensó aplicarla a la locomoción por los caminos ordinarios. Dícese que un oficial suizo propuso en 1769 la máquina de vapor como elemento de tracción para los carruajes ordinarios. Pero ni esto, ni los ensayos en 1770 de Cugnot, ingeniero francés, ni las tentativas de Olivero Evans, en América, año 1790, tuvieron resultado práctico ninguno hasta que a principio del siglo actual se realizó tan

importante adelanto en Inglaterra por dos constructores del condado de Cornuailles, Trivithick y Viviano.

En la imposibilidad de hacer caminar la máquina por los caminos ordinarios, se pensó colocar las ruedas sobre barras, al principio de madera, y poco después, y en la actualidad, de hierro, llamadas rails o barra-carriles. El año 1804 se establecieron las primeras locomotoras, empleándose principalmente para conducir en carros o vagones el carbón de piedra. Varios problemas quedaban aún por resolver; 1.º que las ruedas tuvieran bastante adherencia sobre los rails para que hubiera punto de apoyo para el impulso, lo cual logró el ingeniero inglés Blacket, en 1813, dando un peso proporcionado a la locomotora: y 2.º la disposición de la caldera que no entorpeciese el movimiento de la máquina, lo que se alcanzó con la invención de la caldera tubular. Con estos y otros adelantos se pensó ya en la construcción de grandes vías férreas para el transporte de mercancías y viajeros. La primera construida en Europa, fue desde Liverpool a Manchester, cuyos trabajos comenzaron el año de 1825, hallándose terminada la vía en 1829. La compañía de esta línea férrea propuso un premio para la locomotora que mejor llenase las condiciones para el arrastre. Tres se presentaron al concurso y la llamada Rochet, del famoso constructor Jorge Setephenson, fue reconocida como la superior, no sólo para el transporte de mercancías, sino también de viajeros, funcionando con este doble objeto en 1830, en esta línea, con gran regularidad.

Dado el primer paso, toda Europa se apresuró a cubrir sus principales territorios de vías férreas, manifestándose una actividad extraordinaria en la construcción de estas importantes vías de comunicación. Los principios físicos y mecánicos en que se funda la locomotora son los mismos que los de la máquina de vapor fija, pero su disposición es diferente y en ella se hallan suprimidas muchas piezas para que no embaracen el movimiento. En la locomotora hay que considerar también la caldera y la verdadera máquina.

290. Caldera de la locomotora. -Es un gran cilindro de hierro E (fig. 168) cubierto de duelas, generalmente de caoba pintada o de otra materia, para que no se enfríe fácilmente y levante pronto vapor, que ocupa horizontalmente casi toda la máquina en su interior tiene numerosos tubos de cobre que terminan en las bases de este cilindro, estando por el extremo posterior en comunicación con el hogar o caja de fuego, donde se pone el combustible y por el extremo anterior con la base de la chimenea o caja de humos. Los productos de la combustión y las llamas pasan por el interior de los tubos de cobre y hacen hervir el agua que, dentro de la caldera, rodea exteriormente dichos tubos.

291. Máquina. -La forman dos cuerpos de bomba C colocados horizontalmente en la parte anterior a uno y otro lado, exteriormente en unas locomotoras y en obras debajo de la base de la chimenea. El movimiento de los émbolos se trasmite por palancas y manivelas a dos grandes ruedas llamadas motoras; pues las demás que lleva la máquina solo tienen por objeto sostener todo el aparato. El vapor producido en la caldera y acumulado en la cámara

B pasa por un tubo que tiene una válvula que abre y cierra el maquinista por medio de una palanca, cuyo vapor después de haber obrado sobre los émbolos se escapa por la abertura central de la caja de distribución por un tubo que va por dentro de la chimenea, a la atmósfera. Es decir que las locomotoras no tienen condensación y por consiguiente no necesitan condensador, ni bomba de agua fría, ni de aire; tampoco llevan volante, porque cuando uno de los émbolos tiene su manivela en un punto muerto, el otro la tiene en el centro. Como la entrada del vapor y su tensión y la velocidad consiguiente en los cuerpos de bomba, la regula el maquinista abriendo más o menos la válvula, tampoco lleva péndulo regulador: pero sí válvulas de seguridad y manómetro, generalmente metálico. El agua y el combustible van en un carruaje unido a la máquina llamado tender y aquella se inyecta en la caldera por medio de una bomba o un aparato llamado inyector, ingeniosamente dispuesto, de modo que permite lanzar el agua en la caldera a pesar de la tensión del vapor, que necesariamente tiende a salir al mismo tiempo. La locomotora y todo el tren, lo mismo que en los buques de vapor, puede avanzar o retroceder, según que la primera entrada del vapor se verifique por la parte anterior o por la posterior del émbolo, lo cual se logra por un sistema de palancas en comunicación con la caja de distribución y su válvula en D, cuyo extremo puede manejar el maquinista. Como en cada movimiento de ida del émbolo, anda la rueda motora la mitad de su circunferencia; y en el movimiento de vuelta la otra mitad, en el movimiento completo del émbolo avanza la rueda el desarrollo en línea recta de su circunferencia.

Capítulo V

Calorimetría

LECCIÓN 49. Calorimetría. -Métodos para determinar el calor específico de los cuerpos. -Equivalente mecánico del calor.

292. Calorimetría. -Tiene por objeto la Calorimetría medir la cantidad de calor que absorben o ceden los cuerpos cuando su temperatura aumenta o disminuye un número determinado de grados o cuando cambian de estado. Como no es posible medir la cantidad absoluta de calor que los cuerpos absorben o ceden, se ha tomado por término de comparación el agua; y la cantidad de calor que se necesita para elevar de cero a 1 un kilogramo de agua se llama unidad de calor o caloría y por lo mismo la cantidad de calor que un cuerpo absorbe para pasar de cero a un grado, comparada con la que absorbería, en las mismas condiciones, un peso igual de agua, se denomina calor específico o capacidad calorífica de un cuerpo. De donde se deduce que no todos los cuerpos tienen el mismo calor específico y es decir, que no todos, en igualdad de peso, necesitan la misma cantidad de calor, para que su temperatura se eleve igual número de grados.

Que no todos los cuerpos tienen el mismo calor específico se demuestra, mezclando un kilogramo de mercurio a 100.° con otro de agua a 0.° y resultarán dos kilogramos con la temperatura de 3.°, es decir, que han desaparecido 97.° de calor que se emplearon en elevar 3.° la temperatura de un kilogramo de agua y por lo mismo se necesitaría una cantidad de

calor representada por unos 32.º para elevar un sólo grado el calor del kilogramo de agua, comparado, con que el que en las mismas condiciones absorbería el mercurio. También se demuestra por la experiencia de Tindall: si se hace una torta de cera (fig. 169) y se calientan en un baño de aceite a 180.º diferentes esferas de distintos metales, del mismo peso y se van colocando sobre la cera, se verá que unas la funden primero y la atraviesan (hierro), otras si bien funden la cera, no la atraviesan, (cobre, estaño) y algunos apenas la funden más que una corta cantidad (plomo, bismuto). El hierro, pues, en igualdad de peso y temperatura, contiene más calor que el cobre y este metal más que el estaño.

A. Calor sensible, absorbido por los cuerpos. -Siempre que un cuerpo se calienta de cero a 1 grados, la cantidad de calor que absorbe puede representarse por el producto de multiplicar su peso por el número de grados a que se calienta y por su calor específico, es decir

$p t c$ (a)

Sea en efecto p el peso de un cuerpo en kilogramos, t su temperatura y c su calor específico; como la unidad de medida para los calores específicos es la cantidad necesaria para que pase de cero a 1º un kilogramo de agua, para que alcance esa misma temperatura p kilogramos de agua, se necesitarán p unidades de ese calor; y para hacer pasar p kilogramos de cero a t grados serán precisas t veces más calor o sea pt y por lo tanto para un cuerpo del mismo peso, pero cuyo calor específico sea c , serán necesarias c veces $p t$ o $p t c$.

293. Métodos para determinar el calor específico. -Tres son los métodos más usados para este objeto, la fusión del hielo, las mezclas y el enfriamiento.

1.º Método de la fusión del hielo. -Este procedimiento está fundado en la absorción del calor latente por el hielo al fundirse, que es igual a 79 unidades por cada kilogramo, (257). Se logra este resultado por dos medios; empleando el calorímetro de Lavoissier y Laplace o el pozo de hielo de Blak. El calorímetro (fig. 170) está formado por tres vasos de hoja de lata barnizada, concéntricos, dejando entre sí espacios anulares; las cavidades exterior y media, llevan llaves de comunicación A y B, para recoger el agua producto de la fusión del hielo. Todo el aparato va colocado sobre un trípode. Se empieza por poner hielo machacado en los espacios anulares, mientras se calienta el cuerpo cuyo calor específico se va a averiguar; trasladado rápidamente el cuerpo al vaso interior del calorímetro C, se tapa, cubriendo también con una tapadera el vaso exterior, encima de la cual se pone hielo; abriendo la llave del vaso intermedio, se recoge el agua producida por la fusión del hielo mediante el calor que cede el cuerpo. El hielo del espacio más exterior tiene por objeto evitar que el calor del ambiente funda algo del hielo que rodea el vaso interior. Determinado el peso del agua recogida, representará el hielo fundido y como un kilogramo de hielo absorbe, para fundirse, 79 unidades de calor, el peso P del agua recogida, habrá absorbido P veces 79 unidades y como esa cantidad de calor es la que perdió el cuerpo en su enfriamiento, desde la temperatura t que se le dio hasta 0.º es decir $p t c$ (a) se tendrá la igualdad

$$p t c = 79 P$$

y

El método del calorímetro ofrece varias causas de error, no siendo la menor el que una parte del agua fundida queda interpuesta entre el hielo y por lo tanto no se recoge toda la que se ha fundido. Evítase éste y otros errores por el método del pozo de hielo. Consiste en un gran trozo de hielo en el cual se practica una cavidad y en ella se coloca el cuerpo con una temperatura determinada, cubriendo la cavidad con otro trozo de hielo. Cuando se calcula que el cuerpo se ha enfriado hasta 0° , se saca, se recoge el agua de fusión del hielo y se pesa.

2.º Método de las mezclas. Este método debido a Black estriba en que dos sustancias con temperaturas diferentes absorben o ceden calor al mezclarse, en razón inversa de su capacidad calorífica. El aparato empleado con este objeto se llama calorímetro de agua y es un vaso cilíndrico de cobre de paredes delgadas y sostenido por hebras de seda para evitar toda pérdida de calor. Se pone en él una cantidad determinada de agua, un kilogramo, por ejemplo, cuya temperatura sea de 12° y en ella se introduce una cantidad dada del cuerpo 0.8 Kg con una temperatura determinada como 100° . Un termómetro muy sensible indica el aumento de calor que adquiere el agua. Si la temperatura de este líquido antes de sumergir el cuerpo era, como hemos dicho, de 12° y el aumento que toma por el calor del cuerpo es de 4.7 , será su temperatura de 16.7° y tendremos que si un kilogramo del cuerpo para enfriarse hasta 1° pierde x unidades de calor o sea su calor específico, los 0.8 Kg perderán $0.8 X x$; y como el enfriamiento del cuerpo ha sido $100 - 12 = 88$, los 0.8 Kg habrán cedido $0.8 X 88 X x$. Pues bien, como el calor perdido por el cuerpo ha elevado la temperatura del kilogramo de agua 4.7 , o sea desde 12° hasta 16.7 , habrá adquirido, dado que su calor específico es la unidad, $1 X 4.7 X 1$: el agua, pues ha ganado en calor, cuanto ha perdido el cuerpo y por lo mismo;

$$0.8 X 88 X x = 1 X 4.7 X 1$$

de donde

3.º Método del enfriamiento. -Fúndase este procedimiento en que, el calor emitido por un cuerpo, al enfriarse, es proporcional al tiempo que tarda en verificarlo. Para determinarlo se colocan el cuerpo cuyo calor específico se desea averiguar y el agua, en volúmenes iguales y a la misma temperatura en dos vasos de igual materia y masa y paredes muy delgadas. Por medio de un termómetro introducido en cada vaso se observa el tiempo que tarda en descender su temperatura un número determinado de grados, 20° por ejemplo. Siendo t el tiempo que tardó en enfriarse el cuerpo, esos 20° p su peso específico y x el calor específico; y t' el tiempo que empleó en enfriarse el agua, p' su peso específico, igual a la unidad y 1 su calor específico, tendremos;

de donde

294. Calor específico de los líquidos y gases. -Los procedimientos que acabamos de indicar para los cuerpos sólidos son aplicables a los líquidos, salvo el que haya acción química entre el líquido y el agua, en cuyo caso se emplea el método del enfriamiento. Respecto de los gases puede tomarse como unidad de comparación el agua o el aire, pero teniendo en cuenta la presión y el volumen.

CALOR ESPECÍFICO DE VARIOS CUERPOS.

Sólidos

Líquidos

Gases

Carbón de leña 0'24111 Agua 1'00000 Oxígeno 0'24049
Azufre 0'20259 Esencia de trementina 0'42590 Hidrógeno 0'23590
Vidrio de termómetros 0'19768 Mercurio 0'03332 Nitrógeno 0'23680
Fósforo 0'18870 Cloro 0'29645
Diamante 0'14687
Hierro 0'11379
Cobre 0'09515
Plata 0'05701
Oro 0'03244
Platino 0'03243

295. Calor latente de fusión. -Sabemos, lo que se entiende por calor latente de fusión (258) y para determinarlo puede hacerse uso del método de las mezclas, pues al pasar un cuerpo del estado líquido al sólido, desprende una cantidad de calor, igual a la que habrá absorbido durante su fusión. Viértese, pues, una cantidad dada del cuerpo fundido, con el grado de calor correspondiente a su fusión, en agua fría y se ve el aumento de temperatura que adquiere el agua, procediendo en lo demás como dejamos indicado. (291 -2.º)

296. Calor latente de vaporización. -También hemos visto que en el tránsito de un cuerpo líquido al estado de vapor desaparece una gran cantidad de calor que se hace latente. Hase determinado este calor por varios procedimientos, pero que tienen bastantes causas de

error y sólo rectificando por medio del cálculo, se puede asignar a cada cuerpo la cantidad de calor de vaporización.

297. Equivalente mecánico del calor. -Hemos indicado ya, siquiera fuera ligeramente, lo que se entiende por equivalente mecánico del calor (232) el trabajo que puede producir la unidad de calor, o el trabajo necesario para hacer pasar desde 0 a 1.º un kilogramo de agua. De modo que el calor puede transformarse en trabajo y viceversa habiendo, pues, entre el calor y el trabajo una equivalencia. Los físicos modernos que se han dedicado a esta clase de estudios, después de experiencias repetidas y cuidadosamente corregidas las causas de error, tomando el término medio de todos estos ensayos, llegaron a establecer como equivalente mecánico del calor 424 kilográmetros. De modo que la cantidad de calor que hace subir la temperatura de un kilogramo de agua a 1.º, desarrolla una fuerza capaz de elevar un peso de 424 kilogramos a la altura de un metro en 1 segundo de tiempo (34) y recíprocamente un peso de 424 kilogramos que caiga de la altura de un metro en 1 segundo de tiempo, puede desarrollar una temperatura capaz de calentar de 0.º a 1.º un kilogramo de agua.

Importantes consecuencias se desprenden de estos hechos y numerosas son las aplicaciones que de ellos se hacen en el día pero la índole y extensión de estos elementos no nos permiten estudiarlos como lo reclama su importancia.

Capítulo VI

Dinámica del calor

LECCIÓN 50. Conductibilidad de los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos. - Conductibilidad del hidrógeno. -Aplicaciones.

298 Conductibilidad de los sólidos. -El calor desarrollado en un cuerpo puede, propagarse en su misma masa o a través del espacio: en el primer caso se llama conductibilidad, en el segundo radiación o calor radiante. De, modo que se entiende por conductibilidad del calor, la mayor o menor facilidad con que los cuerpos transmiten el calor a través de su masa. -Esta propagación se verifica por movimientos vibratorios de molécula en molécula. Como no todos los cuerpos conducen de la misma manera el calor, de aquí la división que se establece de cuerpos buenos y malos conductores. En general los cuerpos sólidos y entre ellos los metales son mejores conductores que los líquidos y estos que los gases. Una excepción hay en el mercurio que aunque cuerpo líquido es buen conductor por su carácter de metal. La densidad de los cuerpos influye notablemente en la conductibilidad del calor, pues en general cuanto más densos y compactos son los cuerpos, mejor conducen el calor; lo cual se explica porque propagándose el calor de molécula en molécula, cuanto más cercanas se encuentren estas con más facilidad se hará la propagación.

Un hecho se ha observado recientemente que viene a confirmar lo que hemos expuesto acerca de la teoría dinámica del calor, y es, que si se coge una barra de acero de 0'm80 de longitud y 15mm de lado, con las manos, pero aplicando una en el medio y la otra en su extremo y el otro extremo de la barra se apoya con fuerza contra una rueda de esmeril que gire rápidamente, se verá que la extremidad frotada se caldea y que la mano colocada en la otra extremidad no puede soportar el calor, mientras que la que coge la barra por el medio, no experimenta apenas efecto alguno de calor. El hecho lo explicamos, porque dada, la buena conductibilidad del acero, la propagación se hace rápidamente produciendo un trabajo mecánico, pero al llegar al extremo término de la barra, no pudiendo propagarse más, el trabajo se trasforma allí en calor.

No todos los cuerpos sólidos propagan de la misma manera el calor y los hay que realmente son malos conductores y aún entre los metales el poder conductor es diferente. Para apreciar el grado diverso de conductibilidad de los metales, se hace uso del aparato (fig. 171) propuesto por Ingenhousz que consiste en una caja de latón con varios orificios cilíndricos donde se atraviesan barras de diversos cuerpos que de antemano se han cubierto de cera en la parte que ha de quedar al exterior; poniendo agua hirviendo en la caja, pronto se ve que la cera empieza a fundirse en unas barras casi en su totalidad y en otras apenas en la parte próxima, a la pared de la caja, lo cual demuestra el distinto poder propagador de cada barra. Despretz comparó también el diferente poder conductor de los sólidos por medio del aparato (fig. 172) que se reduce a una barra prismática B, del cuerpo que se quiere ensayar, que de trecho en trecho tiene unas oquedades con mercurio en las cuales se colocan termómetros. Calentada por uno de los extremos, los termómetros señalan temperaturas que decrecen con la distancia al foco; comprobándose de ese modo la ley que dice, que si las distancias al foco de calor crecen en proporción aritmética, las diferencias de temperatura sobre la del aire ambiente disminuyen en proporción geométrica. El orden de conductibilidad de los metales, es oro, platino, plata, cobre, hierro, zinc, estaño, plomo, etc.

299. Aplicaciones. -Son muchas las que ofrecen la buena o mala conductibilidad de los cuerpos sólidos. Todos los objetos y utensilios de metal que han de calentarse mucho y ser cogidos con la mano, es necesario que lleven mangos de madera u otro cuerpo mal conductor, para evitar los efectos del calor. Por la misma razón, la nieve o el hielo se cubren, para trasportarlos, con cuerpos malos conductores, como paja, pues de ese modo, el calor exterior del ambiente no penetra en la nieve y la funde. La rotura que se produce en un vaso de vidrio cuando se vierte en él un líquido muy caliente, es debida a la mala conductibilidad de la materia de la vasija; pues acumulado el calor en un punto, las paredes de aquella se dilatan irregular o desigualmente, pero puede evitarse la rotura introduciendo en la vasija, antes de verter el líquido caliente, un cuerpo buen conductor como la plata, en cuyo caso la mayor parte del calor se dirige de preferencia por el cuerpo de mejor conductibilidad.

300. Conductibilidad de los líquidos. -Hemos dicho que los líquidos, excepto el mercurio, son malos conductores, pero aunque su conductibilidad es bastante débil, no lo es tanto según experiencias de Despretz; pues una corriente de agua a 100° que llegue a la superficie de una vasija de madera de 1'm50 de altura llena de agua y salga en seguida en forma de corriente, sin llegar a mezclarse con el líquido de la vasija, éste se va calentando aunque lentamente, de capa en capa desde la parte superior a la inferior. Este modo de calentarse los líquidos sería sin embargo sumamente lento, por lo cual el foco de calor se coloca en la parte inferior. (fig. 173) Entonces calentándose primero las paredes de la vasija, las moléculas dilatándose se hacen específicamente más ligeras y ascienden por cerca de las paredes siendo reemplazadas por las más densas del centro que permanecen frías, las que al llegar a la parte inferior, se dilatan y ascienden y así sucesivamente, estableciéndose dos corrientes como indican las direcciones de las flechas, hasta que toda la masa se calienta.

301. Aplicaciones. -Cuando se vierte un líquido caliente sobre uno frío no se mezclan, a causa de la mala conductibilidad, permaneciendo el caliente sobre el frío, pero si se los remueve toda la masa adquiere la misma temperatura. Por la misma razón cuando se ponen en contacto en vasos de vidrio, líquidos que tienen entre sí acción química, conviene removerlos para que el calor desprendido en la combinación, se distribuya por toda la vasija, de lo contrario pudiera romperse por ser mala conductora.

302. Conductibilidad de los gases. -No puede fácilmente apreciarse la mala conductibilidad de los gases por medios directos a causa de la gran movilidad de sus moléculas; pero cuando se hallan estos cuerpos contenidos en otros que no les permiten moverse, se nota su escasísima conductibilidad. Así todos los cuerpos muy porosos o entre cuyas mallas tengan gases, son cuerpos malos conductores. Estos cuerpos se calientan por corrientes ascendentes como los líquidos. Una excepción hay entre los gases, que es el hidrógeno que se calienta más fácilmente que los demás a causa de ser mejor conductor: esta conductibilidad del gas hidrógeno es un carácter más de este cuerpo que le hace aparecer como un metal, según opinión de algunos químicos.

303. Aplicaciones. -Las ropas y abrigos de lana y algodón gruesos, que contienen mucho aire entre sus poros, nos sirven como cuerpos malos conductores, para evitar la pérdida de calor del cuerpo. Las dobles puertas y contravidrieras tienen por objeto el que las habitaciones no se enfríen, porque la capa de aire que hay entre vidriera y vidriera, es cuerpo mal conductor.

LECCIÓN 51. Radiación. -Propagación del calor radiante. -Leyes de la radiación. -Equilibrio móvil de temperatura. -Reflexión del calor. Sus leyes. -Reflexión aparente del frío. -Poder reflector. -Aplicaciones. -Radiómetro.

- I -

304. Radiación. -Es la propagación del calor al través del espacio: también se llama calor radiante. En la hipótesis de las vibraciones el calor radiante se propaga de unos cuerpos a otros por el movimiento vibratorio que las moléculas de los cuerpos calientes comunican a la materia etérea que se halla en su interior y en el espacio. Así un cuerpo colocado a cierta distancia de un foco de calor, se calienta por que las ondas caloríficas del éter al llegar a la superficie del cuerpo conmueven al éter que hay en su interior el cual, vibrando, como si dijéramos al unisón, adquiere la amplitud y velocidad de las ondas chocantes y presenta la misma temperatura que ellas tienen al comunicar su vibración.

No siempre el calor radiante emitido por un cuerpo es visible y de ahí la diferencia que se admite de calor oscuro como es el del agua a 90° o 100° de temperatura y calor luminoso el que radia el sol o una bala enrojecida.

305. Propagación y velocidad del calor. -Siempre que el calor radiante se mueve en el vacío o atraviesa por un medio homogéneo, la propagación se verifica en línea recta. Esa dirección rectilínea del calor radiante se llama rayo calorífico y en conjunto de varios rayos se denomina haz de rayos. Demuéstrase la trasmisión rectilínea del calor radiante, interponiendo entre un foco de calor y la esfera de un termómetro, una pantalla con un orificio, de modo que el foco, la abertura de la pantalla y el depósito del termómetro se hallen en línea recta, en cuyo caso la temperatura de éste aumenta, pero sí se baja o sube la pantalla de modo que se intercepte el rayo calorífico el termómetro descende señalando el calor del aire ambiente.

En la hipótesis de las ondulaciones la línea recta en que se propaga el calor se origina por la unión de los centros de impulso de las ondas; del éter. Respecto a su velocidad, la mayor parte de los autores la comparan a la de la luz, que como veremos, es igual a 54.000 leguas por segundo de tiempo. Pero creemos que debía establecerse claramente la diferencia entre la velocidad de la onda del éter, o sea la rapidez con que vibra y la velocidad de trasmisión. La primera, o sea la conmoción que hace vibrar la onda del calor, es menor que la velocidad con que se conmueve la onda de luz, por más que luego su movimiento por el espacio sea el mismo para unas y otras ondas, que lo dudamos.

306. Leyes de la radiación. -1.^a La radiación se verifica en todas direcciones con la misma intensidad. Varios termómetros colocados a igual distancia en derredor de un cuerpo caliente, acusan la misma temperatura. 2.^a El calor radiante se propaga en el vacío. Por eso los rayos caloríficos del sol llegan a nosotros fácilmente, a pesar de atravesar los espacios planetarios vacíos de toda materia ponderable. 3.^a La intensidad del calor radiante está en razón inversa del cuadrado de la distancia. Demuéstrase esta ley teórica y experimentalmente. Si en el centro de una esfera homogénea y hueca a b (fig. 174) suponemos colocado un foco de calor F, es evidente que cada unidad de superficie del interior de la esfera, recibirá una cantidad igual de calor. Si consideramos otra esfera c c' de doble radio, cada unidad de superficie será cuatro veces mayor, y como el foco de calor le suponemos constante, cada unidad de superficie recibirá ahora cuatro veces menos calor: luego a una distancia doble la intensidad es cuatro veces más pequeña.

Como se ve la intensidad del calor radiante se halla modificada por la distancia al foco; pero también hay otras causas que la modifican, siendo la más importante la inclinación con que los rayos son emitidos, en cuyo caso, la intensidad es tanto menor, cuanto más oblicua es la dirección de los rayos, lo que constituye la ley que dice: la intensidad de un rayo calorífico es proporcional al seno del ángulo formado por este rayo y la normal a la superficie. Por eso el sol calienta menos en el invierno que en el verano, a pesar de su menor distancia a la tierra, porque en la estación de invierno recibe nuestro globo los rayos solares con más oblicuidad.

307. Equilibrio movable de temperatura. -Los fenómenos de la radiación han sido explicados de varia manera. Generalmente se admitía que dos cuerpos de temperatura diferente colocados en un recinto, sólo radiaba calor el de mayor temperatura, hasta que equilibrada ésta en los dos cuerpos frío y caliente, cesaba toda radiación mas Prévost, físico ginebrino, explica el fenómeno diciendo que todos los cuerpos, cualquiera que sea su temperatura, están sin cesar radiando y absorbiendo calor, con la diferencia de que los más calientes radian más que absorben, llegando a bajar su temperatura, y viceversa los más fríos absorben unas que emiten hasta que la temperatura se equilibra en todos; más no por eso cesa la radiación, si no que entonces tanto radian como absorben: este estado ha recibido el nombre de equilibrio movable de temperatura.

El calor radiante cuando llega a los cuerpos puede presentar diversos fenómenos, 1.º ser rechazado o reflejado en la superficie; 2.º penetrar en el interior siendo absorbido, 3.º salir al exterior o ser emitido y 4.º atravesar el cuerpo, cambiando o no de dirección: en el primer caso se dice que se ha refractado, de cuyo fenómeno nos ocuparemos en el estudio de la luz.

308. Reflexión del calor. Sus leyes. -Los rayos de calor que llegan a la superficie de un cuerpo, si no son absorbidos, sufren un rechazo a la manera de los cuerpos elásticos, es decir, son reflejados, hallándose el fenómeno sujeto a las dos leyes que ya conocemos (105) 1.^a El ángulo de incidencia es igual al de reflexión. 2.^a tanto el ángulo de incidencia como el de reflexión se hallan en el mismo plano, perpendicular, a la superficie reflectante.

Para demostrar estas leyes por lo que toca al calor, se hace uso, bien del aparato de Melloni o de los espejos parabólicos.

1.^o Aparato de Melloni. Llamado también termo-multiplicador (fig. 175) consiste en una regla de cobre colocada de canto A B, de un metro de longitud y dividida en milímetros, en la cual se atornillan varias piezas, ya para el estudio de la reflexión, ya también, como veremos, para los demás fenómenos del calor radiante. F es un foco de calor, puede ser un alambre de platino enrojecido por una lámpara de alcohol; P una pantalla para interceptar a voluntad los rayos de calor; P' otra pantalla agujereada para dar paso a los rayos: C es un vástago de metal que sostiene un limbo graduado, en cuyo centro se halla verticalmente el plano de reflexión que suele ser un espejo; en el pie hay una regla R que puede girar y lleva una pila termo-eléctrica. T aparato que estudiaremos más adelante y que ahora solo diremos que si sobre uno de los extremos de la pila cae un rayo de calor inmediatamente desarrolla una corriente eléctrica, cuya intensidad se aprecia para un aparato llamado galvanómetro, que se pone en comunicación con la pila por medio de dos hilos metálicos, por donde pasa la corriente al gasómetro. Por último, una pantalla P'' está colocada entre el foco de calor y la pila, de modo que ésta no reciba más que el calor reflejado.

Un rayo calorífico emitido por el foco, atraviesa la abertura de la pantalla P, incide sobre el espejo y reflejado va a parar a la pila que se halla situada convenientemente, entonces la aguja del galvanómetro señala una máxima desviación quedando luego estacionaria; si se mira en el limbo graduado la posición de una aguja que es normal al plano de reflexión, se notará que es bisectriz del ángulo formado por el rayo incidente y el reflejado; o que dicha normal forma con estos dos rayos, ángulos iguales, que están en el plano horizontal y por consiguiente son perpendiculares a la superficie reflejante.

Sin embargo no todo el calor que incide sobre la superficie es reflejado de la manera que acabamos de indicar; hay una parte del calor que se refleja en otras direcciones y se llama calor difuso o de difusión. Todos los físicos consideran esta reflexión como irregular y así la llaman, con lo cual dan a entender que en este fenómeno el calor no sigue las leyes generales de la reflexión. Nos atrevemos a no admitirla; la reflexión de todos los cuerpos elásticos, llámense marfil, éter de calor, éter de luz, etc. es siempre regular y se verifica constantemente con arreglo a las dos leyes indicadas. Si sucede a veces que no todos los rayos incidentes se reflejan en la misma dirección, es porque no caen sobre el mismo punto o sobre el mismo plano, saliendo con direcciones distintas, según la posición o inclinación de esos planos; pero reflejándose en sus respectivas direcciones, con regularidad, es decir, bajo las leyes enunciadas: por eso en los metales pulimentados o sin asperezas o planos en distintas posiciones, no hay reflexión de calor difuso, al contrario de lo que sucede en los metales sin pulimentar, en el vidrio raspado, etc.

2.º Espejos parabólicos. -Llámanse así y también espejos cóncavos, las superficies curvas, que reflejando los rayos de calor, los concentran en un punto, delante del espejo, que se llama foco. Gozan de esta propiedad en virtud del principio siguiente: si varios rayos de calor inciden sobre la superficie cóncava del espejo, paralelos al eje principal del mismo, después de reflejados saldrán oblicuos encontrándose en el foco y viceversa si los rayos son emitidos oblicuamente desde el foco, reflejados sobre el espejo, saldrán paralelos; mas nada de esto podría suceder, según una de las propiedades geométricas de la parábola, si los ángulos de incidencia y de reflexión no fuesen iguales. La experiencia demuestra que así sucede. Sean los dos espejos parabólicos A y B (fig. 176); si en el foco F de uno de ellos A, se colocan en una rejilla carbones encendidos o una bala enrojecida, los rayos incidirán oblicuamente sobre el espejo y saldrán paralelos yendo a incidir sobre el espejo B y reflejados se encontrarán en el foco F', donde reunidos harán aumentar la temperatura y prueba de que aquí concurren todos los rayos, que si se coloca un cuerpo combustible como fósforo, yesca, etc., inmediatamente se inflama; lo cual no sucede, aunque el cuerpo combustible se aproxime algo más al foco de calor, porque recibirá los rayos aislados y paralelos. Esta propiedad de los espejos cóncavos de reunir en un punto todos los rayos de calor emitidos por un foco y aumentar así notablemente la temperatura, les ha merecido el nombre de ustorios (del latín ustio quemar). La reflexión se verifica en el vacío lo mismo que en el aire.

309. Reflexión aparente del frío. -Si en vez de carbones encendidos se colocan en el foco F del espejo parabólico trozos de hielo y en el foco del otro espejo se pone el depósito de un termómetro, la temperatura de éste desciende bastantes grados. Parece que hay en este fenómeno rayos frigoríficos emitidos por el hielo que enfrían el termómetro; pero esto no es más que aparente, pues el fenómeno. es el mismo que en el caso anterior, con la diferencia de que ahora el foco de calor es el termómetro que radiando calor se enfría.

310. Poder reflector. -Con este nombre se conoce la propiedad que poseen los cuerpos de reflejar cantidades mayores o menores de calor radiante. Para estudiarle fácilmente en los diferentes cuerpos, aún siendo de poco volumen, Leslie dispuso un cubo de hoja de lata que lleva su nombre, lleno de agua a 100º colocado delante de un espejo cóncavo reflector, y entre él y el foco, se pone, apoyada en una varilla, una plaquita u hoja del cuerpo que se va a ensayar. Los rayos emitidos por el foco se reflejan sobre el espejo y desde éste caen sobre la placa que los refleja a su vez hacia un punto donde se halla la esfera de un termómetro diferencial que indica la cantidad de calor reflejado por el cuerpo. De estas experiencias se deduce que el latón amarillo es el de mayor poder reflectante y representado este por 100º, el de diferentes cuerpos es:

Latón 100

Plata 90

Estaño 80
Acero 70
Plomo 60
Tinta de china 13
Estaño azogado 10
Vidrio 10
Vidrio untado con aceite 5
Negro de humo 0

Varias causas influyen en el poder reflector de los cuerpos: el estado de la superficie, la inclinación de los rayos incidentes, el foco de calor; y el calor según que sea oscuro o luminoso, siendo mayor con el primero que con el segundo.

311. Aplicaciones. -El uso de los espejos ustorios para producir por la reflexión del calor, la inflamación y fusión de los diferentes cuerpos, fue conocido ya por Arquímedes de quien se refiere que en cierta ocasión; incendió con espejos de esta clase, desde Siracusa, los buques romanos que se habían acercado a aquel puerto. A fines del siglo pasado se hicieron experiencias con grandes espejos, fundiendo en su foco, el hierro, el cobre y otras materias. En el día se hace aplicación de esta propiedad, haciendo el revestimiento de las paredes de las chimeneas con mármoles blancos y otras piedras, que reflejan el calor al interior de las habitaciones. Por la misma razón cubrimos nuestro cuerpo en el verano con telas y sombreros blancos para evitar que el calor exterior penetre dentro del cuerpo. Sin embargo Tindall distingue el poder reflector de los cuerpos para el calor oscuro y el luminoso. En este último influye el color; pero respecto al calor oscuro atribuye el poder reflectante, no al color de las telas sino a la clase de tejido y al grado de su conductibilidad.

312. Radiómetro. -Muchos son los fenómenos que produce el calor radiante sobre la superficie de los cuerpos y entre ellos merecen especial mención los estudiados por William Crookes y otros físicos en el radiómetro inventado por el primero más siendo de actualidad estos estudios, no hay todavía acuerdo sobre la explicación de tan curiosos hechos y así nos limitaremos a apuntar una ligera idea acerca de ellos. Consiste en principio el radiómetro, que ha sufrido varias modificaciones, en una cruz de alambres de aluminio en cuyos extremos están soldados unos rombos del mismo metal que llevan ennegrecida una de sus caras dispuestas en el mismo sentido; así se tiene un molinete cuyas aletas son delicadas y de muy poco peso. El centro de la cruz descansa por medio de una pequeña cavidad en una punta afilada de acero y todo él está dentro de un globo de vidrio en el cual se ha hecho el vacío. Si se expone el aparato a la acción del calor radiante emitido por el sol o por otro foco, el molinete gira, alejándose las caras ennegrecidas del foco de calor, con una velocidad que es proporcional, al parecer, a la intensidad de la radiación. Una de las explicaciones de este hecho dice que no siendo posible hacer el vacío perfecto, la cortísima cantidad de aire o de gases que queda en el interior del globo adherido a la superficie muy

porosa del negro de humo que cubre una de las caras del aluminio, dilatándose por la acción del calor radiante, ejerce presiones sobre las plaquitas y las hace girar. Sin embargo no está comprobado que la fuerza motriz se origine con regularidad, en cuyo caso el movimiento no sería tampoco regular y no obstante lo es en el radiómetro. Sobre este aparato obra también la luz y la electricidad; pero es verdad que siempre a una y otra acompañan calor; pero aún en el caso que fuera la luz pura o privada de calor, el movimiento que todavía se origina en el radiómetro, pudiera explicarse por la teoría de la trasmutación de los rayos de luz, pues según ella cuando un rayo de luz incide sobre la superficie de un cuerpo opaco, una parte se refleja y otra es absorbida, la cual se trasmuta, disminuida su velocidad, y produce calor de temperatura diferente del radiante. El hielo obra también sobre el radiómetro. Por último, se ha construido un radiómetro diferencial, para hallar la diferencia de iluminación o de calor radiante de dos focos. Es un molinete cuyas aletas terminan en placas de mica, cubiertas por una de sus caras de negro de humo y colocado dentro de un globo de vidrio, cuya mitad de su superficie está también ennegrecida. Si la luz cae perpendicularmente al plano que separa ambos hemisferios, claro y ennegrecido, el aparato no se mueve, pero si ese plano se inclina hacia la izquierda, las paletas de este lado, como más iluminadas, son repelidas y el molinete marcha de derecha a izquierda o viceversa.

Terminaremos citando una particularidad observada en el radiómetro y es que bajo la influencia de las vibraciones de ciertos sonidos musicales, el aparato no es tan sensible a la luz.

LECCIÓN 52. Absorción del calor radiante. -Emisión. -Igualdad de los poderes absorbente y emisor. -Trasmisión del calor radiante a través de los cuerpos. -Termocrosis.

313. Absorción. -Con este nombre se conoce la propiedad que poseen los cuerpos de dejar penetrar en su masa más o menos calor radiante. El poder absorbente, para un mismo cuerpo, está en razón inversa del poder reflectante, pero sin que por eso, conocido el uno podamos deducir el otro, porque no todo el calor que incide sobre la superficie de un cuerpo es absorbido o reflejado, pues parte de él se convierte en calor difuso.

Leslie se valió de un cubo para determinar el poder reflector, colocando en lugar de la placa del cuerpo, la esfera del termómetro recubierta de pan de oro, de plata, negro de humo etc., observando la temperatura que adquiriría el termómetro según el calor que absorbían estas sustancias. De estas experiencias y las hechas por Melloni con su aparato dispuesto para este objeto, se ha deducido que el cuerpo de mayor poder absorbente es el negro de humo igual a 100° y de otros cuerpos el siguiente:

Negro de humo 100

Albayalde 100

Cola de pescado 91

Tinta de china 85

Goma laca 72

Metales 13

El poder absorbente se halla modificado por el foco de calor, pues el albayalde que absorbe 100 rayos cuando el foco que los emite es una placa de cobre calentada a 100° sólo absorbe 24 de una lámpara de Argant. También influyen en la absorción del calor el espesor de la sustancia y la inclinación de los rayos.

314. Aplicaciones. -El gran poder absorbente del negro de humo hace que las vasijas metálicas, como las que forman la batería de cocina, no se les quite la capa exterior de esa materia, pues así se calientan más pronto. Por igual razón nuestros vestidos en el invierno son negros, porque absorben la más pequeña cantidad de calor del ambiente y su poder emisor de que vamos a hablar es menor. A pesar de esto recordaremos la opinión de Tindall sobre este hecho; que si bien es cierto, su causa no está precisamente en el calor sino en la clase de tejido y en la conductibilidad.

315. Emisión. -Es la radiación del calor; esto es la propiedad que tienen los cuerpos, en igualdad de condiciones, de irradiar o emitir cantidades mayores o menores de calor. La emisión es relativa y se la compara con la que en los mismos casos emite el negro de humo. Varios físicos por diversos procedimientos, han determinado el poder emisor de los cuerpos, pero sus resultados no son iguales, por lo que toca a los metales: Leslie y Melloni se valieron del cubo de hoja de lata con agua a 100° y cuyas caras estaban cubiertas por diversas sustancias y dirigiéndolas sobre un espejo reflector, como lo hizo Leslie, se anotaba la temperatura que señalaba la esfera del termómetro colocada en el foco del espejo o bien se dirigían sucesivamente las caras del cubo a la pila termo-eléctrica. Los resultados obtenidos por estos físicos y los hallados por Desaius y de la Provostaye, con relación a los metales, son:

Negro de humo 100

Albayalde 100

Cola de pescado 91

Tinta de China 85

Goma laca 72

Platino bruñido 10'80

Plata mate 5'36

Cobre 4'90

Oro 4'28

Plata bruñida 2'50

También el poder emisor se halla modificado por varias causas, como el espesor de los cuerpos radiantes sobre todo si estos no son metálicos: el estado físico, pues si los cuerpos

están reducidos a polvo, su poder emisivo varía; la temperatura y la inclinación de los rayos en la superficie que los emite.

316. Aplicaciones. -No son tan numerosas como las que se refieren o la facultad reflectante y absorbente. Sin embargo diremos, que por regla general para conservar un cuerpo caliente deberá colocarse en otro cuerpo de poco poder emisivo como la plata o el cobre.

317. Igualdad de los poderes absorbente y emisivo. -Lealie fue el primero que enunció el principio general de que en un mismo cuerpo el poder absorbente y emisivo eran iguales; es decir, que si absorbía una cantidad de calor como cuatro, emitía también la misma cantidad. Experiencias posteriores han confirmado la exactitud de este principio; pero con las condiciones siguientes; que en un mismo cuerpo el poder absorbente es proporcional al emisivo, siempre que la temperatura para uno y otro caso sea la misma, esto es, lo mismo cuando absorbe que cuando emite; y que ambos calores sean de la misma naturaleza, los dos oscuros o los dos luminosos.

318. Trasmisión del calor al través de los cuerpos. -Dejamos dicho que uno de los fenómenos que produce el calor radiante, es atravesar los cuerpos, sin calentarlos, yendo a hacer su efecto térmico más allá de los mismos cuerpos más no todos gozan de esta propiedad y los que la poseen la tienen en grado diferente. Los metales no dejan pasar nada de calor radiante, o es reflejado o absorbido. Melloni a quien se deben muy notables trabajos sobre estos fenómenos, que estudió cuidadosamente, divide los cuerpos con relación a esta propiedad en diatermos (del griego dia al través y termos calor) y atermos (del griego a sin y lermos calor). Los primeros dejan pasar a su través, más o menos fácilmente, el calor radiante y los segundos se oponen a su paso; y respectivamente estas propiedades se llaman diatermancia y atermancia.

319. Aparato de Melloni. -Este aparato, ya citado, se dispone para este caso (fig. 177) con un foco de calor F, que puede variar, ya es un cubo de Leslie; ya una lámpara de Locatelli, con reflector y sin tubo de vidrio, o un espiral de platino enrojecido; una pantalla P, un soporte C donde se colocan los cuerpos en forma de hojas, otras pantallas P' y P'' y la pila termo-eléctrica T con su galvanómetro R. Colocando las diferentes sustancias en el sostén C y

si son líquidos en pequeñas vasijas de vidrio de caras paralelas, distantes entre sí un centímetro, los rayos de calor que las atraviesan caen sobre la pila y la aguja del galvanómetro indica con su desviación la fuerza de la corriente eléctrica, originada por el calor, que es tanto más intenso cuanto mayor es la cantidad del calor que obró sobre la pila y por consecuencia que dejó pasar el cuerpo. Hay muchas causas que influyen en el mayor o menor poder diatermo, tal es el estado de pulimento, el espesor del cuerpo y el número de pantallas que aumentan o disminuyen la diatermancia, pero sobre todas estas causas influye de un modo notable el foco de calor. He aquí los resultados obtenidos según el foco empleado.

SUSTANCIAS LÁMPARA de Locatelli PLATINO incandescente COBRE a la temperatura de 400° COBRE a la temperatura de 100°

La sal gema deja pasar 92 92 92 90

El espato de Islandia 39 28 6 0

El cristal de espejos 39 24 6 0

Íd. el de roca 37 18 6 0

La cal sulfutada 14 5 3 0

El alumbre 9 2 0 0

El hielo puro 6 0 0 0

De estos hechos se deducen varias consecuencias: 1.^a que en la sal gema, la sustancia más diaterma, no influye el foco de calor, 2.^a que el poder diatermo disminuye con la temperatura; 3.^a que el calor luminoso, como el de la lámpara de Locatelli y el platino enrojado, es más fácilmente trasmisible que el oscuro. También se deduce que no hay relación entre la diafanidad o sea la propiedad de dejar pasar la luz y la diatermancia, pues el alumbre que trasmite bien la luz, deja atravesar muy poco calor radiante y al contrario, el cristal de roca ahumado que no da paso a la luz, es diáfano para el calor.

320. Diatermancia de los gases. -Hasta los trabajos de Tyndall, se había creído que los gases tenían una diatermancia perfecta; pero el sabio físico inglés ha demostrado que los gases simples dejan pasar casi todo el calor radiante, mientras que los compuestos, como el ácido sulfuroso, el amoníaco, etc., son completamente atermos.

321. Termocrosis. -Melloni en vista de los resultados de todas sus experiencias, admite la existencia de rayos de calor con caracteres distintos o que un rayo se halla formado de otros varios, dotados de propiedades diferentes y de atravesar más o menos las diversas sustancias; llamando termocrosis (del griego termos calor y crosis color) a la facultad que presenta el calor de estar formado por rayos de propiedades distintos y por lo mismo los cuerpos absorben una clase de esos rayos y dejan pasar otros, ni más ni menos que sucede con los rayos coloreados de luz, poseyendo en consecuencia los cuerpos una especie de coloración calorífica; y de aquí la división de los cuerpos en termocróicos que solo

transmiten rayos de ciertos focos de calor y atermocróicos los que dejan pasar toda clase de rayos cualquiera que sea el foco.

322. Aplicaciones. -El aire es diatermo, pues aunque es cuerpo compuesto, no están sus elementos en combinación, sino en mezcla, y deja pasar el calor sin que las capas superiores de la atmósfera se calienten. Por medio de las sustancias diatermas, se puede separar el calor de la luz, como sucede con el alumbre que detiene el calor y deja pasar la luz; al contrario la sal gema ennegrecida que no deja penetrar la luz y permite pasar fácilmente el calor.

Capítulo VII

Orígenes del calor

LECCIÓN 53. Orígenes del calor. -Manantiales mecánicos. -Ídem físicos. -Íd. químicos. -Calor animal.

323. Orígenes del calor. -En rigor no hay más que un origen o manantial de calor, el movimiento molecular de los cuerpos (231-b): este movimiento puede originarse por diferentes medios, convirtiéndose cada uno de ellos en verdadero manantial de calor; de aquí los manantiales mecánicos, físicos y químicos.

324. Manantiales mecánicos. -Cualquiera acción mecánica que produzca movimiento molecular desarrolla calor; tales son el frotamiento, la presión y la percusión

A. Frotamiento. -Siempre que dos cuerpos se frotan, desarrollan calor, tanto más intenso, cuanto más rápido es el movimiento y más íntimo el contacto de los cuerpos frotados diferentes aparatos y experiencias lo comprueban; entre ellos es curioso el propuesto por Tyndall (fig. 178) que consiste en un tubo de latón A de un decímetro de altura lleno de agua, un poco caliente para abreviar la operación, y cerrado con un tapón para que no se derrame en el movimiento; este tubo está fijo en el centro de una polea y puede girar rápidamente por medio de una correa sin fin B que pasa por la polea y por una rueda. Abrazado el tubo con presión por medio de dos tablas P unidas por un gozne y haciéndole girar, el frotamiento desarrolla una cantidad tal de calor, que el agua se evapora y su fuerza elástica hace saltar el tapón con violencia. El rozamiento influye de tal modo en la producción del calor que en un mismo cuerpo, con igual velocidad, el calor es menor cuando su superficie está pulimentada, que cuando tiene asperezas.

Rumford, al barrenar debajo del agua una masa de bronce, apreció el calor desarrollado por el roce para obtener 250 gramos de limaduras, en 2500 calorías, es decir, que sería capaz de elevar 25 kilogramos de agua desde 0° a 100.° El rozamiento de las ruedas de los carruajes contra el eje produce a veces su inflamación: los instrumentos de acero que se afilan en las piedras destinadas a este objeto, producen fuertes chispas por su roce contra la rueda; y en fin, el rozamiento de esas masas meteóricas, llamadas aerolitos, de que hablaremos en Meteorología, contra el aire atmosférico, produce su incandescencia. En todos estos casos, hay un trabajo mecánico que da por resultado la transformación del movimiento en calor.

B. Presión. -La presión ejercida en los cuerpos desarrolla calor, proporcional a la compresión que sufren: los gases, que son muy compresibles, desprenden gran cantidad de calor al reducirlos a menor volumen. Así se demuestra por medio del eslabón neumático (fig. 179) que es un tubo de vidrio de paredes resistentes en el cual puede deslizarse un émbolo que ajusta exactamente y que lleva en su base una pequeña cavidad donde se coloca un poco de yesca. Al introducir el émbolo dentro del tubo lleno de aire y comprimir éste bruscamente, la yesca se inflama, lo cual supone el desarrollo de una temperatura de 300.° En el acto de la compresión brota también luz, pero este efecto es debido a la porción de aceite con que se unta el émbolo para que resbale más fácilmente. Por lo demás el calor en este caso, es debido no solo al rápido movimiento que toman las moléculas del aire, sino que reducido extraordinariamente su volumen, parte del calor latente se transforma en libre.

Tyndall, cuyos trabajos sobre el calor revistan tanta importancia, ha hecho curiosas experiencias que demuestran que si el movimiento de las moléculas de un cuerpo se verifica por su propia impulso, en lugar de desarrollarse calor, se produce frío, porque entonces una parte del calor se emplea en producir el movimiento de las moléculas; tal sucede a una masa de aire o de otro gas, fuertemente comprimida en una vasija armada de una llave que en el momento que se abre, sale el aire por su propia fuerza elástica, produciendo un descenso de temperatura, pues en este caso el gas al dilatarse absorbe calor que hace latente. Por el contrario, si la corriente de aire se produce por un trabajo exterior al gas, todo el movimiento se transforma en calor, como sucede con la corriente que produce un fuelle.

Si el movimiento de un cuerpo se destruye repentinamente, la fuerza viva que producía el movimiento no se aniquila, sino que se transforma en calor. Las balas disparadas por grandes cañones contra las planchas de hierro destinadas al blindaje de los buques, para probar su resistencia, al detenerse repentinamente, en el choque contra la plancha, se eleva su temperatura hasta el rojo.

C. Percusión. -Si se golpea sobre un yunque un metal maleable aumenta de un modo notable su temperatura. Percutiendo con el eslabón el pedernal saltan chispas del acero inflamado.

325. Manantiales físicos. -A. El Sol. Es el manantial más fecundo de calor. ¿Cuál es la causa del calor y de la luz del Sol? Sólo hipótesis se conocen acerca de este punto, cuya exposición no corresponde a estudios elementales. Sólo diremos que los estudios del sabio P. Sechi confirman que el calor emitido por el centro o núcleo del astro, es mucho mayor que el que producen los bordes y menor aún el que se origina cerca de las manchas del Sol o sean partes oscuras, que en las porciones brillantes. La temperatura de los rayos caloríficos del sol ha sido medida, entre otros instrumentos, con los pirheliómetros (del griego pir fuego, helios sol y metron medida.) Con los datos recogidos por estos medios se ha calculado que la cantidad de calor que anualmente manda el sol a la tierra, es por término medio de 231.000 calorías por cada centímetro cuadrado: más no toda esa inmensa cantidad de calor es recibida por nuestro planeta, pues de 100 partes sólo 68 llegan a la tierra, perdiéndose 32 en el espacio o en la atmósfera. Esa cantidad total de calor sería capaz de fundir una capa de hielo de 33 metros de altura que rodeara toda la tierra. Las estrellas y la luna también emiten calor, pero es tan débil el que llega a la tierra, que no merece fijar la atención como foco de calor.

B. La tierra. -Nuestro planeta tiene también su calor propio en el interior, por lo cual se llama calor central. A partir de la superficie de la tierra, la temperatura disminuye hasta una línea o plano, cuya profundidad varía según las latitudes. donde el calor es invariable y se llama línea de temperatura constante y también línea isogeoterma. Desde esa zona, el calor va aumentando un grado por cada 30 ó 40 metros que se profundiza. La temperatura pues del centro de la tierra, dado su radio, debe ser extraordinariamente grande; pues ya a no muy grandes profundidades, es considerable, como lo demuestran las aguas termales y las erupciones volcánicas. Sobre la causa de este calor se han emitido varias opiniones, pero la más generalmente admitida, es la que afirma, que hubo un tiempo en que toda la tierra estuvo fundida; que enfriándose luego por radiación, se solidificó en su superficie, quedando encerrado en el interior un gran núcleo de materia fundida (pirosfera. -Esfera de fuego), causa entre otros fenómenos térmicos de las erupciones volcánicas. No faltan sin embargo físicos y geólogos, que aun admitiendo el origen igneo de la tierra, sostienen que ésta se halla solidificada completamente, y que el calor actual es debido a las reacciones químicas de su interior, y a efectos mecánicos producidos por grandes rozamientos de las rocas y terrenos que descienden lentamente a causa de las inmensas cavidades originadas en el interior por la acción corrosiva de las aguas.

C. Las acciones moleculares. -Entre éstas la absorción de los gases principalmente, es un foco energético de calor. El musgo o esponja de platino, o platino sumamente dividido, absorbe o fija tanta cantidad de hidrógeno que llega a ponerse incandescente.

D. La electricidad. -Es el manantial más activo de calor de que el hombre dispone: con ella se funden y volatizan los metales más refractarios al calor. Ya tendremos ocasión de estudiar sus efectos en el libro séptimo de estos Elementos.

326. Manantiales químicos. -Toda combinación química va acompañada de desprendimiento de calor, a veces débil, pero en lo general tanto más intenso cuanto más rápida es la combinación.

Si el calor producido por la combinación llega a convertirse en luz, entonces se produce la combustión cuyo estudio corresponde a la Química.

327. Calor animal. -Todos los animales tienen una temperatura que les es propia y cuyo calor se produce, en su mismo organismo, por causas mecánicas, como el roce en la circulación de la sangre o de los músculos en sus movimientos; por causas químicas como la digestión, la respiración etc. y por causas puramente fisiológicas, como la acción del sistema nervioso. En el hombre esa temperatura es de $36^{\circ}6'$ y no varía sea cual fuere el medio ambiente en que viva.

Libro quinto Capítulo I

Trasmisión, velocidad e intensidad de la luz

LECCIÓN 54. -Óptica. -Hipótesis sobre la naturaleza de la luz. -Cuerpos luminosos e iluminados. -Diáfanos, traslucientes y opacos. -Trasmisión de la luz. -Sombra y penumbra. -Los rayos de luz al pasar por pequeñas aberturas.

328. Óptica. Hipótesis sobre la naturaleza de la luz. -La luz es la causa que origina el fenómeno de la visión y los colores de los cuerpos. La parte de la Física que se ocupa de todo lo relativo a la luz, se llama Óptica (del griego *optomai* ver).

La naturaleza de la luz nos es desconocida y para explicar los fenómenos que origina, se han adoptado las mismas hipótesis que para el calor. En la hipótesis de la emisión la luz se supone efecto o resultado de una causa o agente llamado lumínico; o sea un fluido sutilísimo, incoercible e imponderable emitido por los cuerpos luminosos, que penetrando en el interior del ojo y obrando sobre una parte de él llamada retina, produce, la visión, es decir, el conocimiento de la forma, posición y sobre todo los colores de los cuerpos.

En la hipótesis de las vibraciones, la luz es originada en los cuerpos luminosos por un movimiento rapidísimo de sus moléculas, movimiento que se comunica al éter, que al ser conmovido en un punto produce ondas lumínicas en todos sentidos, semejantes a las del sonido o el calor, pero con una velocidad infinitamente mayor y además no perpendicularmente a la superficie de la onda como en el sonido, sino perpendiculares a la dirección en que se propagan o sea como vibraciones trasversales.

329. Cuerpos luminosos e iluminados. -Son cuerpos luminosos los que emiten luz propia, como el sol y las sustancias en ignición e iluminados los que también emiten, luz pero porque la reflejan, recibidas de otros, tal es la luna, la tierra y la mayor parte de los cuerpos colocados en la superficie de nuestro planeta.

330. Cuerpos diáfanos, traslucientes y opacos. -Cuerpos diáfanos o transparentes son los que dejan pasar fácilmente la luz y a través de su masa se distinguen bien o con claridad los objetos; el aire, el agua, el cristal: cuerpos traslucientes o translúcidos aquellos que sólo dejan pasar en parte la luz y a su través no se distinguen claramente los objetos; el papel impregnado de aceite, y cuerpos opacos todos los que no permiten pasar absolutamente nada de luz, los metales, las piedras etc.

No hay cuerpos opacos en absoluto, como los hay diáfanos que dando paso a toda la luz a través de su masa y no reflejando nada para que llegue al ojo, no son visibles, como sucede en general a los gases. Pero los cuerpos opacos pueden convertirse en translúcidos y hasta transparentes, disminuyendo su masa, como sucede a los metales: una película u hoja finísima de plata bien bañada por la luz, se hace diáfana. De la misma manera el cuerpo más transparente puede convertirse en opaco aumentando su masa o su espesor. Pero además de la masa influye en la diafanidad, el calor, pues el hierro a la temperatura de 1000° se vuelve translúcido.

En la hipótesis de la vibraciones se explican la diafanidad y la opacidad, diciendo que las ondas etéreas al llegar a la superficie de un cuerpo, conmueven el éter que existe en su interior: si la velocidad, que entonces adquiere la materia etérea es grande, el cuerpo se hace luminoso en su interior y la propagación continúa mas allá del cuerpo: pero si por la densidad de las moléculas o su disposición particular, el éter no vibra con la velocidad suficiente, entonces no produce luz y el interior no se ilumina, permaneciendo oscuro; el cuerpo se dice que es opaco.

331. Propagación de la luz. -En un medio homogéneo o que tenga la misma densidad en todos sus puntos, la luz se propaga en línea recta. Demuéstrase colocando entre el ojo y un objeto, luminoso o iluminado, una varilla opaca cuyo diámetro sea próximamente el de la pupila o abertura del ojo por donde penetra la luz y el objeto no es visible. Como en el calor, rayo de luz es la dirección que sigue la luz en su propagación y haz luminoso el conjunto de rayos, que pueden ser convergentes o divergentes, según que concurran en un punto o se separen en el espacio.

332. Sombra. Penumbra. Llámase sombra el espacio sin luz u oscuro que proyecta un cuerpo opaco, cuando se halla iluminado por la parte opuesta. En la formación de las sombras y su determinación gráfica, hay que tener en cuenta el foco de luz, que puede ser un punto o una extensión luminosa, la forma del cuerpo opaco y su magnitud con relación al luminoso. Respecto a la magnitud pueden ocurrir tres casos, según que el cuerpo luminoso sea igual, menor o mayor que el opaco. Supongamos que uno y otro son esféricos, la forma geométrica que afecta la sombra en cada caso, será diferente y también distinta de las sombras físicas, como veremos;

.1.er CASO. -El cuerpo luminoso es igual al opaco. Sea L el cuerpo luminoso y O el opaco: (fig. 180) los rayos de luz que inciden sobre la porción del cuerpo opaco que mira al luminoso, serán reflejados y la iluminarán, pero los que pasan tangentes a b y a' b', limitarán, más allá del cuerpo opaco, el espacio oscuro o sombrío y el iluminado. El cuerpo opaco, pues, se hallará mitad iluminado y mitad oscuro, resultando, si se tiran infinito número de tangentes o se supone que los cuerpos tienen un movimiento de rotación, que se engendra un cilindro, cuya una de sus bases es un círculo máximo del cuerpo opaco y la otra se halla en el espacio. La sombra no está sin embargo exactamente limitada, pues hay entre ella y la porción luminosa un espacio que ni es tan oscuro como la sombra, ni tan claro como la parte iluminada ese espacio semisombrío se llama penumbra o falsa sombra (del latín pene casi y umbra sombra.) Determinase la penumbra tirando tangentes interiormente a c y a' c' a los cuerpos opaco y luminoso.

2.º CASO. El cuerpo luminoso, es menor que, el opaco. L es el cuerpo luminoso y O el opaco; (fig. 181) haciendo la misma consideración que en el caso anterior, es decir, tirando tangentes al cuerpo luminoso y al opaco, éste se hallará iluminado, en una porción anterior, menor que un hemisferio y tanto más pequeña cuanto mayor sea la diferencia entre la magnitud del cuerpo opaco y el luminoso, resultando un cono truncado cuya base. menor está en el cuerpo opaco y la mayor b b' en el espacio y su penumbra se determina tirando también tangentes que se crucen a c y a' c'.

3.er CASO. El cuerpo luminoso es mayor que el opaco. -L es el cuerpo luminoso y O el opaco; (fig. 182) este se hallará iluminado en una porción mayor que un hemisferio y la sombra afectará la forma de un cono, cuya base se apoya en el cuerpo opaco y el vértice v en el espacio. La altura y por consiguiente la longitud del cono, dependen de la magnitud, y distancia de uno y otro cuerpo. La penumbra se señala como en los ejemplos anteriores.

En todos los demás casos, la sombra se determina del mismo modo y la forma que afecte será diferente.

Hemos dicho que estas formas geométricas que presentan las sombras, son distintas de las físicas, es decir de las que realmente aparecen; pues en efecto, en éstas no pueden trazarse bien los límites, señalando donde principia el contorno de la sombra y donde

termina la penumbra para aparecer el espacio completamente iluminado; porque por un fenómeno que estudiaremos más adelante con el nombre de difracción y que sólo puede explicar la hipótesis de las vibraciones, parte de la luz penetra en la sombra y, aunque débilmente, la ilumina y la porción de la sombra aparece en la parte luminosa, formando la penumbra.

333 Aplicaciones. -El conocimiento y determinación de las sombras es de suma importancia en el estudio de los eclipses. La forma que ofrece la sombra en el de sol es la que representa el caso 3.º Interpuesta la luna, cuerpo opaco, entre el sol, foco luminoso y la tierra, el cono de sombra proyectado por la luna cubre la superficie de la tierra, aunque no completamente, por ser nuestro planeta mayor que el satélite. Al hallarse la luna delante del Sol la parte de aquella que mira a la tierra, se halla en la sombra y por consecuencia perfectamente oscura y según sea la posición del observador en los diferentes puntos de la tierra así el eclipse recibe nombres particulares. Si aquel se halla dentro del cono de sombra, el eclipse para el observador es total; si está colocado en la penumbra el eclipse es parcial, y si se halla en la línea del eje del cono, pero cerca del vértice, el eclipse es anular. Los pintores tienen muy presente la acción de la luz en la intensidad de las sombras para los efectos del claroscuro y la perspectiva.

334. Los rayos de luz al atravesar por pequeñas aberturas. -Si los rayos luminosos emitidos por un objeto atraviesan una pequeña abertura, siguen la dirección rectilínea que les es propia y tienen necesariamente que cruzarse, dando por lo mismo una imagen invertida del objeto. En efecto, si el cuerpo luminoso A B (fig. 183) emite rayos luminosos y pasan por la abertura o practicada en la cámara oscura C, es decir, en un recinto cerrado, al cruzarse pintarán la imagen a b del objeto invertida en el fondo de aquella. La forma de la abertura no influye en la que presenta la imagen, que depende sólo de la dirección de los rayos y de la inclinación con que atraviesan la abertura.

LECCIÓN 55. -Velocidad de la luz. -Intensidad de la luz. -Sus leyes. -Fotómetro de Rumford. -Íd. de Wheatstone. -Íd. de Bunsen.

335. Velocidad de la luz. -La velocidad de la luz es muy grande, pero no instantánea como se creyó durante mucho tiempo, a causa de la imposibilidad de apreciarla por los medios directos. Débese a Rømer, astrónomo dinamarqués, un procedimiento para determinar esa velocidad, tal como él lo practicó el año 1676. El método está basado en el tiempo que medía entre una ocultación y una aparición sucesivas, de uno de los cuatro satélites de Júpiter, el más próximo al planeta. Sea S el satélite; (fig. 184) el tiempo que tarda en aparecer después de ocultarse detrás del planeta, es de 42h 28' 36" cuando la tierra

está en T; pero al cabo de seis meses, y citando nuestro planeta está en T', la luz emitida por el satélite emplea 42h 45'y 2" es decir, 16'y 26"más de tiempo: pero como ese retraso es consecuencia del mayor camino que recorre la luz, cuando la tierra está en T' cuyo espacio lo representa el diámetro de la órbita terrestre T T' resulta que la luz tarda en recorrer esa distancia que es igual a 54000000 leguas, 16' 26". próximamente 1000" y siendo el movimiento de la luz uniforme, corresponden a cada 1", 54 000 leguas o 77000 de las de 4000 metros, que es la velocidad con que camina la luz. De aquí se deduce que siendo la distancia media del sol a la tierra próximamente 27000000 de leguas, tardará su luz en llegar hasta nosotros 8' 13": y como la estrella más próxima a la tierra está a una distancia 206265 veces mayor que lo está el sol, su luz tardará en llegar más de tres años y en fin aquellas estrellas que por estar tan lejanas sólo son visibles con poderosos instrumentos ópticos, se calcula que la luz que brota en estos astros, tarda en llegar hasta la tierra millares de años.

Modernamente Foucault, y más tarde Fizeau, hallaron directamente la velocidad de la luz, por medio de aparatos cuyo conocimiento no corresponde a estos estudios: de las experiencias de estos dos físicos y principalmente de las de Fizeau, resulta que la velocidad de la luz, es próximamente o igual a la encontrada por el procedimiento astronómico.

336. Intensidad de la luz. Sus leyes. -Llámase así la cantidad de luz recibida por la unidad de superficie. De aquí se deduce, que de esa cantidad de luz depende que los focos luminosos sean más o menos intensos y por lo mismo que al recibir los cuerpos mayor o menor cantidad de luz, aparecen con más o menos claridad. Esa intensidad se halla sometida a dos leyes que son las mismas que las del calor radiante y se demuestran del mismo modo.

1.º La intensidad de la luz está en razón inversa del cuadrado de la distancia.

2.º La intensidad de la luz es proporcional al seno del ángulo que forma al rayo luminoso con la normal a la superficie iluminada.

337. Fotómetros. -Son aparatos destinados a medir la intensidad relativa de dos luces. La parte de la óptica que se ocupa de este fenómeno y de los aparatos para determinarle, se llama Fotometría (del focos luz y Metron medida.)

Varios son los aparatos fotométricos que se conocen, pero ninguno rigurosamente exacto, porque en su inspección interviene la vista para apreciar la intensidad de la sombra o de una porción luminosa, lo cual es difícil de precisar por lo expuesto que está nuestro ojo a errores.

338. Fotómetro de Rumford. -Está formado (fig. 185) por una pantalla de vidrio deslustrado o traslúcido, para mirarla al través, delante de la cual se coloca una varilla opaca a. A cierta distancia se sitúan los dos focos F y F' cuya intensidad relativa se desea conocer y cada uno proyectará una sombra en la pantalla: si el tono o intensidad de las dos sombras no es el mismo, las luces tendrán distinta intensidad lumínica; entonces se va alejando poco a poco de la pantalla la luz que proyecta sombra más oscura, hasta que ambos se presenten con igual aspecto; en apreciar ese momento está la dificultad. Mídese entonces la distancia de una y otra luz a su sombra en la pantalla y se eleva al cuadrado, pues según la 1.^a ley de la intensidad lumínica siendo D y D' las distancias de los focos F y F' tendremos

F: F' D: D'

si D = 2 y D' = 4 será

F: F': 4: 16

de modo que la intensidad de F' o sea la luz más separada sería cuatro veces mayor que la de F, si ambas estuvieran a la misma distancia; pero en la posición que tienen, la intensidad de F' es igual a la de de F, por hallarse a una distancia doble.

339. Fotómetro de Wheatstone. -Sobre el borde de un disco de corcho (fig. 186) se halla una perla de acero bruñido o una esfera de cristal azogado a manera de espejo y todo colocado sobre un piñón que engrana en una rueda dentada, colocada una caja, de cobre, cuya rueda y piñón por medio de un manubrio comunican a la perla un doble movimiento de rotación y traslación. Cogido el aparato con la mano y puesto entre dos luces A y B, se hace girar a la perla y los puntos brillantes que las dos luces producen en la superficie de la esfera, dan origen, por la rapidez del movimiento y su dirección a dos líneas luminosas (fig. 187). Si tienen distinta intensidad se acerca el fotómetro a la que la produce menor hasta que las dos curvas luminosas tengan igual brillo. Se mide la distancia y sus intensidades serán proporcionales a los cuadrados de las distancias.

340. Fotómetro de Bunsen. -Este fotómetro llamado de bolsillo, está fundado en el hecho de que si se coloca entre dos luces una pantalla de papel con una pequeña mancha de grasa, no se percibe, si está igualmente iluminada por una y otra cara; es decir si dos luces puestas a uno y otro lado de la mancha, tienen la misma intensidad. Consiste el aparato en una cinta o regla de cobre graduada a cuyos extremos se fijan los dos focos de luz: uno de ellos es una bujía que sirve de tipo. Hallándose la pantalla con la mancha atravesada en el medio, se corre hacia la luz de menor intensidad hasta que la mancha no es visible, lo que

indicara que las luces tienen la misma intensidad: entonces se mide la distancia y se procede como en los casos anteriores.

Capítulo II

Catóptrica

LECCIÓN 56. Reflexión de la luz. Sus leyes. -Espejos. -Focos e imágenes. -Imagen en los espejos planos. -Multiplicidad de las imágenes en los espejos planos. -Espejos angulares y paralelos. -Aplicaciones.

341. Reflexión de la luz. Sus leyes. -Cuando la luz incide sobre la superficie de un cuerpo, produce en general los mismos fenómenos que el calor radiante: puede ser rechazada o reflejada, absorbida o atravesar el cuerpo, si es diáfano, cambiando de dirección o refractándose. Reflexión de la luz es el cambio de dirección que experimentan los rayos lumínicos cuando tocan en la superficie de un cuerpo. Se verifica la reflexión lumínica, bajo las mismas leyes que la reflexión general de los cuerpos elásticos. La parte de la óptica que se ocupa de todo lo relativo a la reflexión, se llama Calóptrica (del calóptricos, referente a los espejos.)

Las leyes de la reflexión son:

1.^a El ángulo de incidencia es igual al de reflexión.

2.^a El rayo incidente, el reflejado y la normal se hallan en el mismo plano perpendicular a la superficie reflejante.

El sentido de las palabras rayo incidente, rayo reflejado y ángulos de incidencia y de reflexión es el mismo que el designado en los párrafos 105 y 306.

Demuéstranse las leyes de la reflexión de la luz, por medio de un círculo graduado (fig. 188) dividido en cuatro cuadrantes y colocado verticalmente, en cuyo centro lleva un pequeño espejo plano horizontal m . En el limbo del círculo pueden atornillarse dos retículos A y B ; así se llama una placa con un pequeño orificio en el cual están cruzados en ángulo recto dos hilos muy finos. Colocado el retículo A en el grado 45 por ejemplo, se atornilla el B en el mismo grado del cuadrante opuesto y se coloca el aparato en dirección de la luz de una ventana o balcón. Mirando entonces por el A se verá la imagen del B en el mismo grado 45 de la parte opuesta inferior; luego el rayo luminoso emitido por el retículo B y que incidió sobre el espejo m fue reflejado y vino a parar al retículo A , desde donde se ve la imagen en la prolongación rectilínea del mismo rayo. Los dos ángulos, pues, $B m n$ o de incidencia y $n m A$ de reflexión son iguales, por serlo los arcos que abrazan. Dejando en el grado 45 el B y poniendo en cualquiera otro el A no se percibe la imagen, porque los ángulos ya no son iguales. Si en lugar de un espejo plano m , se coloca uno cóncavo o convexo, la reflexión se verifica bajo las mismas leyes, pues los diferentes puntos de la

curva del espejo, pueden considerarse como elementos planos infinitamente pequeños y la normal a uno de esos elementos estará formada por la prolongación del radio correspondiente o será perpendicular a la tangente en el punto dado de la curva donde incide la luz.

La segunda ley queda demostrada por la disposición del aparato, pues los ejes de los retículos están en el mismo plano paralelo al círculo graduado y por lo tanto perpendicular al espejo.

También relativamente a la reflexión de la luz, se admite, como en el calor radiante, la reflexión regular, llamada especular y la irregular que se verifica en todas direcciones y se llama luz difusa. Sobre este punto puede aplicarse lo que dejamos consignado respecto a la reflexión irregular del calor radiante. (306)

La reflexión de la luz difusa tiene una gran importancia, pues llegando a nuestro ojo después de reflejada por los cuerpos, es la que nos hace ver los objetos, porque la luz especular nos da la imagen del cuerpo que la emite, pero no del que la refleja. Así si en una cámara oscura se deja penetrar un rayo de luz y se recibe sobre un espejo bien pulimentado, reflejándose en una sola dirección, no podrá llegar a nuestra vista en todas las posiciones que tengamos dentro del recinto cerrado, no percibiendo por lo mismo el espejo desde todos los puntos; pero sí le distinguiremos si se disminuye su poder reflector cubriéndole de polvo fino, en cuyo caso, la luz reflejándose en todas direcciones, llegará más fácilmente a nuestro ojo.

342. Espejos. -Llamase espejo en Óptica, cualquiera superficie brillante capaz de reflejar la luz y de producir la imagen de un objeto. Los espejos son generalmente metálicos y se dividen, según su forma, en planos y curvos; y estos en esféricos, parabólicos, etc. los cuales pueden ser cóncavos o convexos y si se consideran las dos superficies en un mismo espejo, constituyen los cilíndricos y cónicos.

343. Focos e imágenes. -Se denomina foco el punto donde concurren los rayos lumínicos después de reflejados o sus prolongaciones Pueden ser reales o principales, conjugados y virtuales. El foco real y el conjugado se pintan siempre delante del espejo; el virtual detrás del espejo y es producto de la prolongación de los rayos luminosos. Allí donde se forma un foco, se puede producir una imagen o sea una reunión de focos originada por rayos emitidos por un objeto o extensión: por lo mismo las imágenes son también reales, conjugadas y virtuales y aparecen en o cerca del foco correspondiente.

344. Formación de la imagen en los espejos planos. -Los caracteres que ofrece la imagen virtual, única que producen los espejos planos, son, presentarse detrás del espejo, directa o no invertida, del mismo tamaño que el objeto y a una distancia, detrás del espejo, igual a la que el objeto tiene delante.

Sea primero (fig. 189) un punto luminoso L que emite rayos de luz en todas direcciones y consideremos el que incide oblicuamente $L n$ sobre el espejo A B, el cual será reflejado siguiendo las leyes ya demostradas de la reflexión, formando con la normal $m n$ al espejo, el ángulo de incidencia $L n$ ni igual al de reflexión $m n$ C. Una persona colocada en C recibirá en su ojo el rayo lumínico reflejado: otro rayo L A que caiga normalmente al espejo será reflejado sobre sí mismo (105) y prolongados ambos se encontrarán detrás del espejo en el punto L', donde aparece el foco del punto luminoso L que percibirá la persona en la prolongación del rayo C n. Este foco es virtual porque se forma, o mejor dicho, tiende a formarse detrás del espejo: no existe, pues, realmente, sino de un modo virtual y es resultado de la prolongación rectilínea de los rayos luminosos, único modo que tenemos de ver los objetos o sus imágenes. Que el foco L' aparece a igual distancia que el punto luminoso L, lo demuestra la inspección de los triángulos L n A y A n L' que son iguales, porque tienen el lado común A n, los ángulos en A iguales por rectos y los ángulos L n A y A n L' iguales también por serlo ambos de C n B; el primero L n A = C n B por complemento de ángulos iguales de incidencia y reflexión y el segundo A n L' = C n B por opuestos por el vértice; luego L n A = A n L', siendo, pues, los triángulos iguales, L A = L' A.

Supongamos ahora (fig. 190) un objeto o una extensión C D que emite rayos que caen sobre el espejo A B y consideremos los rayos de los extremos, porque lo que sucede con uno sucederá con los demás de los diferentes puntos del objeto. Estos rayos serán reflejados y si penetran en el ojo de un observador verá la imagen del objeto en la prolongación rectilínea, pues cada punto de este emite rayos que se reflejarán según las leyes dichas. La imagen es del mismo tamaño que el objeto, pues colocando el rectángulo C D n A sobre el A n D' C' coincidirán, luego el lado C D que es el objeto, es igual al lado C' D' que representa la imagen. Es directa o no invertida, lo que se deduce de la inspección de la figura, pues los diversos puntos del objeto y de la imagen, están en las mismas perpendiculares respectivamente a igual distancia del plano.

Si en lugar de hallarse el espejo vertical u horizontal está inclinado, la posición de la imagen varía con el objeto, porque los rayos emitidos tendrán que reflejarse respecto al ángulo que forme el espejo. Así un objeto horizontal C D (fig. 191) que emite luz sobre un espejo A B inclinado 45° , producirá una imagen vertical y viceversa un objeto vertical aparecerá horizontal.

345. Multiplicidad de las imágenes virtuales. -En los espejos planos metálicos sólo aparece una imagen virtual, por ser única la superficie reflectante: no así en los de vidrio que se producen varias, como se comprueba mirando oblicuamente la llama de una bujía que se refleja sobre un espejo. Sea en efecto A B un espejo de vidrio (fig. 192) y L un punto

luminoso; parte de la luz que emite es reflejada en la primera superficie n y da la imagen L' y otra parte que penetra en el vidrio se refleja en la otra superficie en el punto m y produce una segunda imagen L'' : ésta es la verdadera imagen virtual que distinguimos y es la más intensa.

346. Espejos angulares y paralelos. -Si entre dos espejos angulares A y B (fig. 193) se halla un objeto c , la imagen que se forma en cada uno de ellos, sirve a su vez de objeto para la imagen del respectivo espejo que tiene delante, multiplicándose las imágenes del objeto, tantas veces como el ángulo que forman los espejos está comprendido en 360 grados menos uno o

siendo n el valor del ángulo. Si el valor de n es igual a cero, es decir, si los espejos son paralelos, la imagen se reproduce hasta el infinito, como se observa colocándose una persona entre dos espejos paralelos. En la práctica sin embargo, esta multiplicación tiene sus límites, a causa de la pérdida de luz en tanto número de reflexiones.

347. Aplicaciones. -Son muchas las de los espejos planos, ya en instrumentos de importancia científica, ya en aparatos de física recreativa. Entre estos figuran los espectros impalpables, la cabeza parlante y el kaleidoscopo, efectos todos de la reflexión de la luz en espejos convenientemente inclinados El kaleidoscopo (de kaleilos bello en apariencia y scopeo mirar); en un tubo de cartón o de madera, se colocan dos láminas de espejo formando ángulo generalmente de 45° ; en uno de los extremos hay un espacio que dejan dos vidrios, deslustrado el exterior, lleno de pedacitos de vidrio de color, papeles dorados, dibujos, etc. y en el otro extremo un orificio: aplicando a él el ojo se ven figuras simétricas pero caprichosas que varían con la posición del aparato para lo cual no hay más que hacerle girar.

LECCIÓN 57. -Espejos curvos. -Focos de los espejos cóncavos. -Foco real. -Íd. conjugado. -Íd. virtual. -Determinación experimental de los focos. -Aberración de esfericidad. Cáusticas. -Formación de las imágenes en los espejos cóncavos. -Imagen real. -Íd. virtual. -Fórmula de los espejos cóncavos. -Aplicaciones.

348. Espejos curvos. -Entre los espejos curvos ya citados (342) los más usados son los esféricos o sean aquellos cuya curvatura es la sección de una esfera. Si ambas superficies se hallan pulimentadas y la reflexión que verifica por la cara interna de la curva, el espejo es cóncavo y si incide sobre la superficie externa es convexo. En todo espejo curvo (fig. 194) hay que considerar varios elementos 1.º el centro de curvatura o centro geométrico c que es

el punto donde se supone que se hizo centro para trazar la curva del espejo o es el centro de la esfera hueca de que es parte el espejo. 2.º El centro de figura e o sea la parte media del espejo. 3.º El eje principal, la recta ce que une los centros de curvatura y de figura y que puede prolongarse indefinidamente delante y detrás del espejo. 4.º Eje secundario, toda recta que pasando por el centro de curvatura no pasa por el de figura. 5.º Sección principal del espejo, la que se obtiene por un plano que pase por el eje principal. 6.º Abertura del espejo, el ángulo formado por dos líneas que unan el centro de curvatura con los extremos del arco formado por el espejo.

La reflexión de la luz en los espejos curvos y por consecuencia en los cóncavos, se verifica como hemos dicho, bajo las leyes generales de la reflexión.

349. Focos de los espejos cóncavos. -Estos espejos producen las tres clases de focos, real o principal, conjugado y virtual. Los dos primeros son reales porque se pintan delante del espejo y tienen una existencia real, pudiendo recogerse en un plano. Además, como veremos, un foco real es un verdadero foco conjugado, pues sólo depende su posición de la distancia del objeto luminoso al espejo.

A. Foco principal o real. -Tiene por carácter el foco principal, formarse delante del espejo y en la parte media del radio de curvatura, si la abertura de aquel no pasa de 8° . Para determinarle supongamos (fig. 194) que los rayos luminosos LL' caen paralelos sobre el espejo AB . El rayo L al incidir sobre el elemento r del espejo formará con el radio de curvatura o sea la normal rc , un ángulo de incidencia Lrc y otro igual de reflexión crF , cortando en consecuencia al eje principal en el punto F ; otro tanto sucederá con el rayo L' , que después de reflejado en el punto s encontrará también al anterior en el sitio F y como lo mismo sucedería con cualquier otro rayo, vendrán todos a concurrir en el punto F que es el foco real. La posición de ese foco es precisamente en la parte media del radio ec si la

abertura del espejo es menor de 8° . En efecto, los ángulos Lrc y crF son iguales por incidencia y reflexión; pero el ángulo $Lrc = r c F$ por alternos entre las paralelas Lr y oe , luego $r c F = c r F$ y como a ángulos iguales se oponen lados iguales, el lado $c F = F r$, pero $F r$ puede ser igual a $F e$, si el arco del espejo es muy pequeño, luego $c F = F e$ y por lo tanto F se halla en la parte media de ce . La distancia $F e$ o sea del foco al espejo se llama distancia focal.

B. Foco conjugado. -Aparece delante del espejo, entre el centro de curvatura y el foco principal. Si el foco luminoso avanza hacia el espejo AB (fig. 195) y se sitúa en L , los rayos ya no caerán paralelos y el ángulo de incidencia que forme el rayo Lr con la normal rc , será menor que en el caso anterior, luego menor será también, en una cantidad igual, el ángulo de reflexión; y el rayo reflejado, cortará al eje principal en el punto F ; lo mismo sucederá con el rayo Ls ; el punto pues F' donde concurren todos los rayos, se llama foco conjugado y recibe este nombre porque es recíproco del punto luminoso: es decir que si el foco de luz se sitúa ahora en el foco conjugado irá a pintarse en el punto L ; pues en esta nueva posición del foco luminoso, los rayos que antes eran reflejados son ahora incidentes.

Otro tanto acontece con el foco principal o real que como dejamos dicho, es un foco conjugado, pues si el punto luminoso que le produce y se halla situado a una distancia tal, como el infinito, que sus rayos caen paralelos, ahora se coloca en el foco principal los rayos luminosos después de reflejados saldrán paralelos e irán a pintar el foco en el infinito.

C. Foco virtual. -Su carácter es pintarse detrás del espejo como producto de la prolongación, de los rayos luminosos. Si el foco luminoso se acerca aún más hacia el espejo y se sitúa entre el foco principal y el espejo o sea en L (figura 196) el rayo L r formará con la normal C r un ángulo de incidencia L r C y después de reflejado dará otro igual de reflexión; tomando el rayo la dirección r m o sea divergente con relación al eje principal y como cualquier otro rayo, por ejemplo L s producirá el mismo efecto o se reflejará tomando la dirección también divergente s n; estos rayos no podrán encontrarse delante del espejo, pero si se les supone prolongados concurrirán en el punto F'' que será el foco virtual.

350. Determinación experimental de los focos. -El foco principal se determina recibiendo sobre un espejo cóncavo los rayos del sol y colocando delante del espejo una pantalla de papel o vidrio deslustrado; el punto donde la luz reflejada sea más brillante será el foco. El conjugado se halla por un procedimiento análogo, poniendo una bujía en el sitio donde se quiera que esté el foco luminoso y el punto, que en la pantalla se presente más claro, ese será el foco. Respecto al virtual no puede determinarse experimentalmente porque en realidad no existe.

351. Aberración de esfericidad. Cáusticas. -Si la abertura del espejo es mayor de 8° , los rayos que inciden cerca de los bordes del espejo, no pueden encontrar al eje en el foco principal y corvándose todos los rayos reflejados dos a dos, forman una especie de focos secundarios, produciendo delante del espejo una iluminación más o menos viva que constituye la aberración de esfericidad. Esos puntos, suponiéndolos unidos por líneas, dan origen a curvas luminosas llamadas catacáusticas o cáusticas por reflexión.

352. Formación de las imágenes en los espejos cóncavos. -Compréndese que allí donde se pinte un foco, aparecerá una imagen si el foco luminoso en lugar de ser un punto es una extensión o un objeto.

A. Imagen real o principal. -Sus caracteres son pintarse delante del espejo entre el centro de curvatura y el foco principal, invertida y más pequeña que el objeto, siéndolo tanto más cuanto mayor es la distancia que el objeto tiene del espejo. Sea el espejo A B (fig. 197) delante del cual se halla el objeto F F'. Determinando la imagen correspondiente a

los puntos extremos, del mismo modo y por igual procedimiento, quedaría determinada la de cualquier otro punto. Al efecto trazando los ejes secundarios de los puntos F y F' o sean F_m y F'_n y considerando ahora los rayos paralelos F_r y F'_s , pasarán después de reflejados por el foco principal y formarán respectivamente los puntos F y F' sobre los ejes secundarios en f y f' dando lugar a la imagen real con los caracteres que hemos dicho. Como el foco real es también conjugado, la imagen lo es asimismo, de modo que si en el sitio donde aparece la imagen f' , se coloca el objeto luminoso, la imagen real se pintará en el punto F' , invertida y mayor que el objeto y de tanta mayor magnitud cuanto más cerca se halle aquella del foco principal.

Si el objeto luminoso o iluminado está en el foco principal, entonces no hay imagen, porque saliendo los rayos después de reflejados, paralelos, no pueden producir focos: y por último si el objeto está colocado fuera del eje principal, por ejemplo hacia la parte inferior la imagen aparece en el lado opuesto del mismo eje o sea hacia la parte superior.

Esta imagen se presenta como flotante en el espacio o en espectro y se puede recoger en un plano o pantalla o verse directamente, colocándose delante del punto donde aparece.

B. Imagen virtual. -Sus caracteres son pintarse detrás del espejo, directa o no invertida y amplificada o mayor que el objeto. El objeto F' (fig. 198) se halla situado entre el foco principal y el espejo: trazados los ejes secundarios correspondientes a los puntos extremos F' , los supondremos prolongados detrás del espejo. Considerando ahora los rayos incidentes F_r y F'_b , después de reflejados, se encontrarán en el foco principal y en sus prolongaciones rectilíneas detrás del espejo, se pintará la imagen en f' amplificada, pero poco clara por la iluminación que la aberración de esfericidad o las cáusticas producen delante del espejo.

Por esta propiedad de amplificar la imagen virtual, los espejos cóncavos han recibido el nombre de espejos de aumento. (fig. 199)

353 Fórmulas de los espejos cóncavos. -Refiérense estas fórmulas a la posición relativa de un objeto y la de su imagen conjugada, pues la real o principal siempre tiene una posición constante, sin embargo, esa posición se halla también dentro de la fórmula.

Sea un espejo cóncavo $A B$ (fig. 200), representando el radio de curvatura y las distancias del objeto e imagen al espejo, del modo siguiente:

Radio de curvatura R

Distancia del objeto p

Distancia de la imagen p'

tendremos que en nuestra figura $p=Le$ y $p'=F'e$. En el triángulo $L r F'$, el radio $c r$ o sea la normal, necesariamente es bisectriz del ángulo $L r F'$, por formar los ángulos de incidencia

y de reflexión iguales y por consiguiente el lado opuesto, o sea la base $L F'$, queda dividida en partes proporcionales a los lados del ángulo: de modo que

$$CF' : CL :: Fr : Lr$$

y por lo mismo

$$CF' \times Lr = CL \times F'r$$

Si el espejo no pasa de la abertura ya dicha de 8° , $Lr = Le$ y $F'r = F'e$, luego

$$CF' \times Le = CL \times F'e$$

pero Le es la distancia del objeto o sea p y $F'e$ la distancia de la imagen o p' : además $C F' = ce - F'e$, es decir igual al radio menos la distancia de la imagen. o sea $R - p'$, luego substituyendo estos valores en la igualdad anterior resulta

$$(R - p') p = (p - R) p'$$

o bien

$$R p - p p' = p p' - R p'$$

y haciendo la trasposición y reducción

$$R p + R p' = 2 p p' \quad (a)$$

Si se dividen todos los términos de esta igualdad por $p p' R$ y se suprime el factor común, se obtiene la fórmula general de los espejos cóncavos

Si la ecuación (a) se resuelve con relación a p' resultará

que da a conocer la distancia de la imagen al espejo, conocida la del objeto, su magnitud y el radio del espejo a determinar la magnitud de la imagen conocida la distancia del objeto, su magnitud y el radio del espejo, no hay más que hallar (fig. 197) el valor de e o o sea la distancia de la imagen al espejo por la fórmula (c) y de ella se deduce $o c$. Como los triángulos $F o F'$ y $f c f'$ son semejantes, dan:

$$f f' : F F' :: c o : c d$$

luego la magnitud de la imagen f' será

354. Aplicaciones. -Son importantes las de los espejos cóncavos. Úsanse para dirigir la luz hacia un punto determinado, colocando el foco luminoso en el foco principal del espejo: de ese modo reflejándose toda la luz en la misma dirección paralela al eje del espejo, se aumenta su intensidad. Así sucede en los faros que constan de espejos y lentes y que por esta razón se llaman catadióptricos y en otros muchos instrumentos en que se hallan combinados los espejos reflectores con otros aparatos.

LECCIÓN 58. -Espejos convexos. -Foco virtual. -Imagen virtual. -Fórmula de los espejos convexos -Espejos cilíndricos y cónicos.

355. Espejos convexos. -Estos espejos sólo producen un foco, el virtual y por consecuencia una sola imagen. Ese foco puede variar de posición según que los rayos incidan paralelos al eje u oblicuamente sobre el espejo.

A. Foco virtual. - Sobre el espejo A B (fig. 201) inciden rayos luminosos m y n que se reflejarán formando con las respectivas normales C r y C s que se supone prolongadas delante del espejo, los ángulos de incidencia y de reflexión iguales; pero como los rayos m y n, después de reflejados salen divergentes; no podrán encontrarse delante del espejo, pero sí concurrirán prolongados detrás del espejo en el punto F que es el foco virtual, el cual por hallarse en la parte media del radio de curvatura recibe; por analogía en los espejos cóncavos, el nombre de foco virtual principal.

Si los rayos luminosos proceden de un punto L situado más cerca del espejo, cayendo entonces inclinados y aumentando el valor del ángulo de incidencia, también se hace mayor el de reflexión y el foco virtual aparece ea F'.

356. Determinación experimental del foco virtual. -Hállase prácticamente la distancia de este foco colocando sobre el espejo una hoja de papel (fig. 202) que tenga dos pequeños orificios m y n a igual distancia del centro del espejo y poniendo delante una pantalla agujereada cuya abertura sea mayor que la distancia entre los orificios de la hoja de papel, se reciben sobre el espejo rayos paralelos al eje, que después de reflejados pintarán en la pantalla dos puntos brillantes e i y situando ésta en una posición tal que el espacio e i sea doble del m n, la distancia E D de la pantalla al espejo, representa la distancia focal principal. En efecto siendo el arco m n muy pequeño, su cuerda será casi igual a él y los triángulos F m n y F e i, que son semejantes nos dan:

$$m n : e i :: F D : F E$$

pero $m n$ es mitad de e_i , luego $F D$ lo será también de $F E$ de consiguiente $D E = D F$

A. Imagen virtual. -Está caracterizada por presentarse detrás del espejo, directa y disminuida. Fácil es comprender su formación. Un objeto $F F'$ (fig. 203) se halla colocado delante del espejo: trazando los ejes secundarios $F c$ y $F' c$, los rayos límites que emite al caer sobre la superficie del espejo, serán reflejados tomando la dirección m y n , los cuales prolongados detrás del espejo, darán la imagen en $f f'$. Esta imagen, si bien disminuida o de menor tamaño que el objeto es muy limpia y se destaca claramente, por que los espejos convexos no producen cáusticas por reflexión, a causa de que los rayos lumínicos no se encuentran nunca delante del espejo y por lo tanto no dan focos reales.

Estos se llaman espejos de disminución (fig. 204.)

357. Fórmulas de los espejos convexos. -Por el mismo razonamiento que hemos hecho para hallar la fórmula de los espejos cóncavos, se pudiera encontrar la de los convexos; pero conocida ya la fórmula (b) y teniendo en cuenta que en estos espejos la imagen es virtual y que se halla, así como el centro de curvatura, al mismo lado del espejo; p' y R tendrán igual signo, como le tiene contrario p por que el objeto se halla situado delante del espejo o al lado opuesto de la imagen; luego la fórmula (b) se transformará en

fórmula de los espejos convexos.

358. Espejos cilíndricos y cónicos. -La reflexión de la luz se verifica en estos espejos cual si fuesen planos y convexos a la vez. En el sentido del eje cada uno de los elementos es como una superficie plana y por lo tanto un objeto colocado delante del espejo producirá una imagen de igual tamaño que aquel; pero en el sentido perpendicular o trasversal al mismo eje, el espejo es convexo y la imagen aparece disminuida. Fundados en estos hechos se construyen espejos cilíndricos y cónicos llamados anamórficos (de *ana* al través y *morfes* forma). Un dibujo cuya altura sea próximamente la del objeto que representa, pero cuya sección trasversal se halle notablemente ensanchada, con relación a la curvatura de un espejo, cilíndrico, aparecerá disminuida y con las proporciones naturales del objeto (fig. 205); otro tanto sucede con los espejos cónicos, con la sola diferencia, de que los dibujos irregulares se trazan extensamente alrededor de un círculo, cuyo diámetro sea el de la base del cono y sobre el cual se coloca el espejo. La visual se dirige por el vértice, viéndose la imagen pintada en el lado del cono.

Capítulo III

Dióptrica

LECCIÓN 59. -Dióptrica. -Refracción de la luz. -Leyes de la refracción. -Índice de refracción. -Reflexión total. -Ángulo límite. -Espejismo.

359. Dióptrica. -Llámase Dióptrica (del griego ver al través) la parte de la Óptica que estudia la refracción de la luz. Se entiende por refracción, el desvío que sufren los rayos lumínicos cuando atraviesan oblicuamente medios de distinta densidad. Si el rayo lumínico cae perpendicularmente a la superficie que separa los dos medios, no hay desviación, por que confundiendo con la normal, seguirá la dirección de ésta; entonces se dice que, se refracta sobre sí mismo. Sea A B (fig. 206) la superficie que separa dos medios, el menos denso, por ejemplo el aire, en la parte superior y el más denso en la inferior. Un rayo luminoso L que caiga oblicuamente, en lugar de seguir la dirección O r se desvía o refracta hacia Or'. El rayo L O es el incidente y el Or' el refractado; m n es la normal; el ángulo L o m que forma el rayo incidente con la normal se llama de incidencia, y el n O r' formado por el rayo refractado y la misma normal ángulo de refracción. Puede suceder que el rayo L O sencillo en la incidencia continúe sencillo en la refracción y el fenómeno constituye la refracción simple o sencilla; pero si el rayo incidente se duplica o divide en dos al refractarse, se denomina refracción doble. Los medios que refractan la luz sencillamente se llaman refringentes y los que la duplican birefringentes. Ahora solo nos ocuparemos de la refracción simple.

360. Leyes de la refracción. -El fenómeno de la refracción simple obedece a las leyes siguientes:

1.^a Siempre que un rayo de luz pasa de un medio menos denso a otro más denso, se refracta aproximándose a la normal y viceversa, se aleja si pasa de uno más a otro menos denso.

Consecuencia de esta ley es que los cuerpos, por punto general, refractan tanto más la luz o el rayo lumínico se acerca tanto más a la normal cuanto más densos son. Sin embargo, no hay una relación exacta entre la densidad de un cuerpo y su poder refringente y así se llaman más refringentes los que acercan la luz a la normal y menos refringentes los que la alejan. En la hipótesis de las vibraciones, será pues medio más refringente aquel en que la luz adquiera menos velocidad o siga un camino más corto. Influye también en la mayor refrangibilidad la naturaleza del medio, siendo muy refringentes los combustibles; circunstancia que hizo sospechar a Newton que el diamante, por su notable refringencia, debía de ser cuerpo de naturaleza combustible y con efecto la Química demostró más tarde que el diamante es el carbón puro.

2.^a Sea cual fuere la oblicuidad del rayo incidente, el seno del ángulo de incidencia y el del ángulo de refracción se hallan en una razón constante para unos mismos medios, pero varia, si cualquiera de los medios cambia.

Esta ley se llama de Descartes.

3.^a El ángulo de incidencia y el de refracción se hallan a lados opuestos de la normal.

4.^a El rayo incidente, el refractado y la normal están en un mismo plano perpendicular a la superficie que separa los dos medios.

Para demostrar estas leyes se hace uso del mismo aparato destinado para comprobar las de la reflexión, con la sola diferencia de que el espejo del centro del círculo se reemplaza con un vaso de vidrio O con agua u otro líquido trasparente (fig. 207) y que en el pie del aparato se coloca una regla horizontal dividida en milímetros, que puede subir o bajar fijándola con un tornillo. Un rayo de luz que incide sobre el espejo a, se le hace penetrar por el tubo b, para lo cual se da al espejo la inclinación conveniente y llegará al vaso de vidrio en el cual se refracta, y cambiada la dirección, aproximándose a la normal m n, sigue el camino o a'; pues al salir del líquido no sufre nueva refracción por que lo verifica normalmente a la superficie del vaso. El ángulo b o m es el ángulo de incidencia y el R o n el de refracción, los senos de estos ángulos se miden en la regla horizontal; primero el de refracción tal como está colocada y para el de incidencia subiéndola hasta que encuentre la prolongación rectilínea del rayo b o, cuyo ángulo n o P, es igual al de incidencia por opuestos por el vértice. Leyendo pues en la regla la longitud de ambos senos resultarán números, cuya razón es siempre la misma, para los mismos medios, cualquiera que sean los valores de los ángulos de incidencia y de refracción.

Las demás leyes quedan demostradas examinando la disposición del aparato.

361 Índice de refracción. -Llámase índice de refracción el cociente que resulta de dividir el seno del ángulo de incidencia por el seno del de refracción. El índice de refracción es absoluto y relativo: el primero resulta cuando la luz pasa del vacío a una sustancia cualquiera y el relativo cuando lo verifica de un cuerpo a otro. Si se llama n al índice de refracción y r i a los ángulos de refracción y de incidencia, el índice será

cuando la luz pasa de un medio menos, a otro más refringente; pero si pasa de un medio más a otro menos, la luz seguirá el mismo camino pero en sentido contrario y el índice será

este índice se llama de retorno y la fórmula es

El valor por lo tanto de n o sea el índice, es constante para unos mismos medios, invirtiéndose si se invierten los medios. Así del aire al agua es

y recíprocamente al pasar del agua al aire

del aire al vidrio es

y del vidrio al aire

362. Fenómenos de refracción. -Si en el fondo de una vasija opaca de porcelana por ejemplo, se coloca una moneda, y una persona se pone a una distancia tal, que solo los bordes de la vasija le impidan verla y se vierte luego agua en la vasija, la moneda cual si se elevase, se hace visible. No es sin embargo, la moneda lo que se ve, sino su imagen; pues los rayos lumínicos emitidos por el objeto al pasar del agua al aire se refractan alejándose de la normal y al llegar al ojo de la persona, ésta verá en la prolongación rectilínea la imagen elevada del objeto. De la misma manera una vara o un bastón colocados oblicuamente dentro del agua aparecen como quebrados y elevados hacia la superficie del líquido. También los astros al aparecer y elevarse sobre el horizonte, tienen una posición aparente, pues por un efecto de refracción, vemos elevada la imagen del astro. Los rayos lumínicos emitidos por un astro a (fig. 208) próximo al horizonte, pero debajo de él, tienen que atravesar las capas del aire atmosférico, cuya densidad va aumentando hacia la superficie de la tierra y por lo tanto, pasando de un medio menos denso a otro más denso, se refractan quebrándose insensiblemente o formando una curva que al llegar al ojo éste ve en la tangente de esa curva la imagen del astro en a' . Mas a medida que el cuerpo celeste se eleva sobre el horizonte la inclinación de los rayos lumínicos va siendo menor y por lo mismo más pequeña la refracción, hasta que al llegar al zenit, caen perpendicularmente y entonces no hay refracción.

363. Reflexión total. -Llámase así el cambio de refracción en reflexión. Sea $A B$ una superficie que separa dos medios, el más denso en la parte superior y el menos denso en la inferior. (fig. 209) Un rayo lumínico emitido por el objeto L que incide oblicuamente, se refractará al penetrar en el medio menos denso, tomando la dirección $o s$. Si el objeto luminoso L desciende y el rayo de luz L' cae con más inclinación, se refractará siguiendo el camino $o s'$; y si el rayo procede del punto L' al llegar a la superficie que separa los dos medios, se refracta confundiendo con esa misma superficie y formando con la normal un ángulo recto. El ángulo L'' o A se llama ángulo límite, porque a partir de él, otro rayo de luz L''' que incida sobre la superficie $A B$ con mayor inclinación, en lugar de refractarse, se refleja, siguiendo la dirección $o s''$. Este fenómeno se llama reflexión total.

El valor del ángulo límite o sea el de incidencia, fácilmente se halla, introduciendo el valor del de refracción $\sin r$ o $\sin 90^\circ = 1$ en la fórmula

y llamando a al ángulo límite, resulta

364. Espejismo. -Con este nombre se conoce un fenómeno curiosísimo, verdadera ilusión óptica, producida por un efecto de refracción. En el Egipto, en cuyas vastas llanuras arenosas el fenómeno se presenta de un modo notable y alguna vez en los llanos de la Mancha y de Castilla, aparece como a gran distancia una especie de lago, en cuyas aguas se presentan pintadas e invertidas las imágenes de los objetos situados sobre el terreno (fig. 210). Para que el fenómeno aparezca es necesario que concurren varias circunstancias, que son muy favorables en los arenales del bajo Egipto, desde las orillas del Nilo hacia el desierto, donde la atmósfera se presenta frecuentemente serena y el sol brilla y calienta de un modo extraordinario. La explicación del fenómeno es sencilla. El sol calienta el terreno de tal modo que las capas de aire en contacto con él, se dilatan y enrarecen hacia las regiones superiores, siendo reemplazados por otras más densas que descienden, las cuales a su vez se calientan y elevan, llegando un momento en que las capas inferiores de la atmósfera permanecen menos densas y entonces los rayos lumínicos emitidos por los edificios o los árboles van atravesando capas de una densidad cada vez, menor, por lo que al refractarse se alejan de la perpendicular hasta que llegan al ángulo límite, en cuyo caso la refracción se cambia en reflexión. Entonces los rayos de luz ascienden siguiendo su refracción en sentido inverso o acercándose a la normal, por atravesar capas cada vez más densas, hasta que con una oblicuidad determinada llegan al ojo del observador y éste ve en la dirección rectilínea de los rayos lumínicos una imagen virtual invertida, prolongación del objeto reflejado, como pintada en las aguas tranquilas de un lago.

Si estas refracciones y reflexiones sucesivas en lugar de verificarse en capas horizontales del aire más o menos cercanas a la tierra, se efectúa en curvas o capas irregulares, entonces las imágenes de los objetos al pintarse en espejismo, aparecen sumamente alteradas, como dislocadas o multiplicadas varias veces. Este fenómeno de espejismo irregular, se conoce con el nombre de fata-morgana y suele presentarse al amanecer en los días de gran calma en Nápoles, en las costas de Sicilia y otros puntos de Italia.

El espejismo se observa también en los mares, aunque de un modo inverso, apareciendo la imagen de las costas o de los buques como flotante en el aire o invertida. Como el aire se calienta más que las aguas, cuando la diferencia de temperatura entre éstas y aquél es grande, entonces los rayos de luz emitidos por los objetos se refractan al pasar de las capas de aire inferiores más densas a las superiores, alejándose de la normal y formando una curva inversa a la del espejismo terrestre y el observador ve la imagen invertida en la tangente de esa curva. Cítanse muchos espejismos marítimos, pero entre ellos figura como muy notable, por la circunstancia de referirse a toda una flota armada, el que observó en Mayo de 1854 la escuadra inglesa en las aguas del Báltico, cuando la guerra contra Rusia.

LECCIÓN 60. Refracción de la luz a través de los medios terminados por caras paralelas. -Íd. en los prismas. -Desviación mínima. -Refracción de la luz a través de los medios terminados por superficies curvas. -Lentes. -Especies de lentes. -Foco de las lentes convexas. -Centro óptico. -Determinación experimental de los focos.

365. Refracción de la luz al través de los medios terminados por caras paralelas. - Cuando la luz atraviesa por un medio terminado por caras paralelas, los rayos emergentes o que salen, son paralelos a los incidentes. Un trozo de vidrio A B tiene sus caras paralelas: (fig. 211) si un rayo de luz L incide sobre la cara superior formará el ángulo en i de incidencia y al refractarse dentro del medio, el de refracción r. Al salir el rayo lumínico por la cara inferior, da asimismo origen al ángulo de incidencia i' y al de refracción r'. En la primera refracción o

sea del aire al vidrio, el índice está representado por

y en la segunda, o sea del vidrio al aire, el índice es

es decir, el mismo pero invertido, y por lo tanto

Pero los ángulos i' y r son iguales por alternos internos entre las paralelas m n y m' n' y la secante i o; luego también serán iguales los r' e i en la igualdad anterior, en cuyo caso el rayo de emergencia L' o, es paralelo al de incidencia L a.

366. Prismas. -En óptica se da el nombre de prisma a todo medio diáfano terminado por superficies planas inclinadas entre sí. Varios elementos hay que considerar en un prisma: la cara por donde penetra la luz llamada de incidencia; aquella por donde sale o de emergencia; el ángulo diedro formado por estas dos caras o sea el ángulo refringente; la intersección de las dos caras o arista, que en un punto dado forma el vértice del ángulo refringente, la cara opuesta al vértice o sea la base y sección principal toda sección perpendicular a la arista.

Los prismas que generalmente se usan en óptica, son los triangulares rectos y su sección principal es un triángulo.

La imagen de un objeto visto al través de un prisma, se dirige hacia el vértice. Demostrado este fenómeno, queda comprendida la marcha de la luz al través de estos medios.

Sea A B C la sección triangular de un prisma; (fig. 212) A C es la cara de incidencia, C B la de emergencia, C el vértice y A B la base. Un rayo de luz emitido por el objeto L, al llegar a la cara A C se refracta acercándose a la perpendicular, por pasar de un medio menos denso (el aire) a otro más denso (el prisma): al salir se refracta de nuevo, alejándose de la normal por pasar al aire, menos refringente; un observador que recoja en su ojo el rayo lumínico, verá en la prolongación rectilínea de éste la imagen del objeto L en L'. Esta desviación que el prisma hace tomar a la luz está representada por el ángulo de desviación formado por los rayos incidente y emergente o sea L o L'. Este ángulo aumenta con el índice de refracción de la sustancia y con el ángulo refringente del prisma, variando con la inclinación del rayo de luz.

367. Desviación mínima. -El ángulo de desviación citado, tiene una menor desviación, que se verifica cuando los ángulos de incidencia y emergencia son iguales. Si penetra un haz de luz en el interior de una cámara oscura, se propagará en dirección rectilínea, pintando en un plano de reflexión la imagen clara del sol: pero si el rayo de luz se recibe sobre la cara de un prisma, el haz se desvía hacia la base de ésta, proyectando también una imagen. Si ahora se hace girar el prisma de modo que el ángulo de incidencia disminuya, la imagen pintada en el plano se irá acercando a la primera posición que tenía cuando la luz no atravesaba el prisma; pero hasta cierto punto, llegado el cual, la imagen retrocede aunque el prisma continúe girando. Esta desviación de la imagen producida por el prisma, menos separada de la proyectada primero sobre la pantalla, forma la desviación mínima.

El ángulo de desviación mínima ha servido para determinar el índice de refracción de todas las sustancias sólidas, líquidas y gaseosas, cuyos detalles y aparatos no corresponde su conocimiento a estudios puramente elementales. He aquí los índices de refracción, con relación al aire, de varias sustancias.

SUSTANCIAS Índices

Diamante 2'750
Azufre 2'215
Sulfuro de carbono 1'678
Turmalina 1'668
Espato de Islandia 1'654
Berilo 1'598
Flint-glass 1'575
Cristal de roca 1'547
Sal gema 1'545
Azúcar 1'535
Bálsamo del Canadá 1'532
Crown-glass 1'500
Esencia de trementina 1'470
Cristalino del ojo 1'384
Alcohol 1'374
Éter sulfúrico 1'368

Humor vítreo 1'339
Humor acuoso 1'337
Agua 1'336
Hielo 1'310

368. Refracción de la luz en los medios de superficies curvas. Lentes. -Fácil será comprender la marcha de la luz a través de los medios terminados por superficies curvas, una vez conocido lo que sucede en los prismas. Esos medios, terminados por superficies curvas, se llaman lentes. Reciben nombres diferentes de esféricas, cilíndricas, parabólicas etc. según sea su curvatura, si bien las visadas en óptica son las esféricas, que se construyen con vidrios muy puros llamados crown-glass y flint-glass que difieren en su composición química y en que este último es más refringente que el crown.

369. Especies de lentes. -Las lentes se dividen primero en convexas y, cóncavas según sea, su curvatura, combinándose a veces una superficie plana con una convexa o cóncava. Las lentes convexas se llaman convergentes porque los rayos lumínicos después de atravesarlas concurren en un punto; y las cóncavas, divergentes porque los rayos de luz no se encuentran después que las atraviesan. Las primeras, que son más gruesas en el centro que en los bordes, forman tres especies; (fig. 213), la biconvexa A, cuyas dos curvaturas son convexas, la planoconvexa B formada por una superficie convexa y otra plana y es mitad de la biconvexa y la cóncava-convexa C o menisco convergente, cuya superficie convexa es de menor radio que la cóncava.

Las lentes cóncavas, más gruesas en los bordes que en el centro, forman otras tres especies; (fig. 214), la bicóncava D, de dos superficies cóncavas, la planocóncava E, de una cóncava y otra plana y es mitad de la bicóncava y la cóncavoconvexa F o menisco divergente, cuyo radio de curvatura es mayor en la superficie cóncava.

En las lentes se consideran también varios elementos: 1.º el centro o centros de curvatura, si la lente tiene las dos caras esféricas (fig. 215) como C C', que son los centros geométricos de la lente o de la esfera hueca de que es sección la lente. 2.º eje principal la recta indefinida que pasa estos dos centros: 3.º centro óptico el punto situado en el eje principal y en el cual los rayos que le atraviesan no sufren desviación angular, es decir que el rayo emergente es paralelo al incidente: 4.º eje secundario toda recta que pasa por el centro óptico, pero no por los centros de curvatura y 5.º sección principal de una lente, la de un plano que pasa por el eje principal.

Solo consideramos en las lentes convergentes la biconvexa, y en las divergentes la bicóncava, pues los fenómenos lumínicos que estas lentes producen, son los mismos en cualquiera de las convexas o de las cóncavas respectivamente.

La explicación de los fenómenos de refracción que ocurren en los lentes es muy sencilla, teniendo presente lo que hemos dicho de los espejos curvos con relación a los planos; (334) porque lo mismo acontece en las lentes relativamente a los prismas; pues suponiendo formada la superficie curva de aquella, por elementos planos infinitamente pequeños, la normal en cada punto será el radio correspondiente de la curva esférica de que es parte la lente. De aquí que ópticamente las lentes convexas sean como prismas unidos por sus bases y las cóncavas prismas unidos por sus vértices.

370 Focos de las lentes biconvexas. -La palabra foco tiene en las lentes el mismo significado que en los espejos, es decir el punto donde concurren los rayos lumínicos después de refractados o sus prolongaciones. Las lentes convexas dan las tres clases de focos.

A. Foco principal. -Su carácter es pintarse detrás de la lente o sea al lado opuesto del punto luminoso y muy próximo al centro de curvatura. Sobre la lente A (fig. 215) inciden rayos lumínicos paralelos al eje principal y que proceden de un punto luminoso, situado casi en el infinito. fijémonos en el rayo L, pues los fenómenos que él origine los producirán del mismo modo todos los demás. Al caer ese rayo sobre la lente formará el ángulo de incidencia $L a m$ y al atravesar la lente para emerger o salir, cambiará también de dirección, pero alejándose de la normal $c n$, viniendo a cortar al eje principal en el punto F. Como otro tanto sucede con los demás rayos todos concurrirán en el mismo punto F, que es el foco principal y su distancia al centro O de la lente se llama distancia focal.

Este foco es conjugado, es decir recíproco del foco luminoso, pues si éste se coloca en F, los rayos lumínicos que inciden divergentes, después de atravesar la lente, salen paralelos y no hay foco o va a pintarse en el infinito, donde se hallaba el punto luminoso. De esta propiedad se han hecho varias aplicaciones, entre otras, como veremos, a los faros.

B. Foco conjugado. -Aparece detrás de la lente, más allá, del foco principal. Si el foco de luz se acerca a la lente y se sitúa por ejemplo en L' (fig. 216) los rayos ya no incidirán paralelos, sino divergentes, en cuyo caso el ángulo de incidencia que formen será mayor que el originado en el caso anterior cuando el rayo L era paralelo al eje: y del mismo modo el ángulo de refracción aumentará, en una cantidad proporcionada, entonces el rayo refractado, después de atravesar la lente, cortará al eje en un punto más distante de la lente que el foco principal y como otro tanto ha de verificarse con los demás rayos, todos concurrirán en el punto L', que es el foco conjugado; pues si el punto luminoso se traslada a L' el foco se pintará en L.

C. Foco virtual. -Distingue a este foco el hallarse situado sobre el eje al mismo lado que el foco luminoso. Supongamos en L (fig. 217) el punto lumínico, aumentando entonces la divergencia con que inciden los rayos sobre la lente, se hace mayor el ángulo de incidencia $L i n$, formado por el rayo L i y la normal e n; y aumentando también el ángulo de refracción, sucederá que en la emergencia el rayo r M saldrá divergente y como otro tanto pasará con el rayo L e que al salir de la lente tomará la dirección S N, por hallarse en

las mismas condiciones, no podrán encontrarse, pero si se les supone prolongados concurrirán en el punto F'' que es el foco virtual.

371. Centro óptico. -Sabemos ya lo que se entiende por centro óptico. Este punto se determina en las lentes que tienen ambas superficies curvas, tirando dos radios de curvatura paralelos, por ejemplo $c'm$ y $c'n$ (fig. 218) y uniendo sus extremos por una recta rs , el punto o corta al eje principal es el centro óptico. Este centro varía de posición según la especie de lente. En las biconvexas y bicóncavas de iguales curvaturas se halla en el centro de figura de la lente: en la planoconvexa y planocóncava en la intersección del eje con la superficie curva y en los meniscos convergentes y divergentes delante de su superficie convexa y cóncava respectivamente.

372. Determinación experimental de los focos. -Prácticamente y de un modo análogo que en los espejos cóncavos, se puede hallar el foco principal de una lente convergente; para lo cual se hace penetrar en la lente un haz de rayos luminosos paralelos al eje principal y recibiendo después de atravesar la lente en un plano de reflexión, el punto más brillante donde concurren todos los rayos es el foco principal. De la misma manera se determina el foco conjugado, colocando la luz de una bujía en un punto sobre el eje principal, se reciben en el lado opuesto de la lente, en una pantalla los rayos lumínicos y el punto, donde por encontrarse, aparezca más claro, será el foco conjugado.

Al determinar el foco principal haciendo incidir sobre la lente el haz de luz solar, al mismo tiempo que los rayos luminosos también atraviesan la lente, refractándose, los caloríficos y concurriendo en el mismo punto dan un foco principal de calor y por consecuencia un aumento de temperatura muy notable. Fundado en este hecho se han empleado las lentes convergentes para producir la inflamación de la yesca y otros cuerpos combustibles, recibiendo por esta, razón el nombre de lentes ustorias.

LECCIÓN 61. Imágenes de las lentes convexas. -Imagen real. -Relación entre el tamaño del objeto y la imagen. -Imagen virtual. -Fórmula de las lentes convexas. -Focos. -Foco de las lentes cóncavas. -Imagen de las lentes cóncavas. -Fórmula.

373. Imágenes de las lentes convexas. -Puesto que las lentes convexas producen las tres clases de focos, también dan las tres especies de imágenes como sucede en los espejos cóncavos: de ellas las que más interesa conocer son la imagen real y la virtual.

A. Imagen real. -Son sus caracteres pintarse detrás de la lente o sea a la parte opuesta de donde está situado el objeto, invertida y más pequeña que el objeto, tanto más, cuanto

mayor sea la distancia del objeto a la lente. Un objeto $M N$ se halla situado delante de una lente convexa (fig. 219) y emite rayos paralelos al eje principal trazando los ejes secundarios $M o$ y $N o$ o el rayo luminoso $M i$ al penetrar en la lente se refracta y después de atravesarla, pasando por el foco principal irá a formar en m la imagen correspondiente del punto M . El rayo N produce el mismo fenómeno y da su imagen en el punto n , apareciendo entre los dos rayos correspondientes al objeto, la imagen en $m n$ aérea o en espectro. Esta imagen rigurosamente es conjugada o recíproca de la posición del objeto, pues si éste se coloca en $m n$, la imagen se pinta donde estaba el objeto en $M N$.

Si el objeto se acerca a la lente colocándose sobre el foco principal, la imagen deberá aparecer en el infinito, pues los rayos lumínicos después de refractarse salen paralelos y no pudiendo encontrarse no formarán imagen.

374. Relación entre el tamaño de la imagen y el del objeto. -1.º Si el objeto se halla delante de la lente a una distancia doble de la focal, la imagen aparece a la misma distancia al otro lado de la lente y de igual tamaño que el objeto. 2.º Si el objeto está a una distancia mayor que el duplo de la focal, la imagen es menor que el objeto. 3.º Si esa distancia es menor que el duplo de la focal, la imagen es mayor que el objeto.

B. Imagen virtual. -Tiene por caracteres formarse delante de la lente, o sea en el mismo lado que se halla el objeto, directa y amplificada. Supongamos que el objeto está colocado entre el foco principal y la lente (fig. 220) trazando los ejes secundarios $M o$ y $N o$, el rayo $M i$, después de refractarse, al atravesar la lente, corta al eje principal en el punto F donde un observador podrá ver en la prolongación del rayo en el punto m , en que encuentra al eje secundario de $M o$ la imagen del M ; y sucediendo lo mismo con el rayo N se pintará este punto en n ; cuyos dos puntos m y n determinan la posición y magnitud de la imagen virtual. Por esta circunstancia de amplificar la imagen, se llaman estas lentes vidrios de aumento.

375. Aberración de esfericidad. -Un fenómeno análogo al que se observa en los espejos cóncavos, se produce en las lentes convexas, citando la curvatura de la lente excede de 12 grados; es decir que los rayos que atraviesan la lente algo distantes del eje no concurren en el mismo punto que los que pasan cerca de esta línea, sino que se cruzan más cerca de la lente, dando a esta cierta iluminación o brillantez que se conoce con el nombre de aberración de esfericidad por refracción y las superficies brillantes que aparecen delante de la lente por la intersección de los rayos se llaman cáusticas por refracción. Se evita este defecto, que no permite distinguir claramente la imagen, colocando entre ésta y la lente, un diafragma con una abertura en el centro de modo que no permita pasar más que los rayos que han de atravesar la lente por su parte central.

376. Fórmula de las lentes convexas. -Teniendo presente lo que hemos dicho respecto de la fórmula de los espejos cóncavos y considerando que los fenómenos de refracción en estas lentes tienen una gran identidad con los de la reflexión en aquellos, en lo que se refiere a la situación y magnitud entre el objeto y la imagen, fácil será determinar la fórmula relativa a las convergentes.

Representemos, como hicimos al ocuparnos de la fórmula de los espejos cóncavos, las distancias del objeto y de la imagen a la lente y la distancia focal, de esta del modo siguiente:

Distancia del objeto al centro óptico p
Distancia de la imagen p'
Distancia focal principal f

Consideremos ahora en nuestra figura 219, en el supuesto de que la lente no tiene espesor ninguno, los triángulos $M i m$ y $F O m$ que son semejantes y darán

Si suponemos que $M i = M O$, (porque sea muy pequeña la curvatura) es decir p , siendo $m o = p'$ y $F O = f$, tendremos substituyendo estos valores

o

y dividiendo esta última igualdad por p' se obtiene

que es la fórmula ordinaria de las lentes biconvexas, igual a la de los espejos cóncavos, considerando que f es la mitad del radio de curvatura.

377 Aplicaciones. -Tendremos ocasión de ver las notables aplicaciones de estas lentes en importantísimos aparatos de óptica, ocupándonos en este momento de una no menos interesante o sea a los faros.

A. Faros. -La necesidad de establecer en las costas y en la entrada de los puertos señales que indiquen a los buques sitios de arribada o puntos de peligro, hizo que ya desde muy antiguo se encendieran en las partes culminantes de las costas o en torres elevadas, fuegos con este objeto; y como la primera construida para este fin, de que se tiene noticia, fue la establecida en la isla de Faros, cerca de Alejandría, en la embocadura del Nilo, dio su nombre a estos aparatos. Realizado el método, fue sucesivamente perfeccionándose en cuanto al foco luminoso, substituyendo las hogueras por luces fijas de coloración variable; o giratorias, de ocultaciones periódicas, o sean de destellos y eclipses. En un principio se

emplearon espejos esféricos y parabólicos en cuyo foco principal se colocaba el foco de luz, saliendo los rayos paralelos y dirigidos en un mismo sentido; (347) pero perdiendo gran parte de luz y ofreciendo otros inconvenientes, se pensó en utilizar las lentes ya solas, ya combinadas con los espejos. Pero también las lentes presentaban

el inconveniente de que necesitándose de gran tamaño, su foco era demasiado largo y su espesor absorbía mucha luz. Débese a Fresnel una disposición ingeniosa de estas lentes, con lo cual desaparecen las dificultades que ofrecían; tales son las lentes escalonadas o de anillos, que producen el mismo efecto que una ordinaria de igual tamaño, pero sin los inconvenientes de ésta. Sea una lente A (fig. 221) plano convexa central o que descansa sobre otra de mayor diámetro y esta en otras en forma de anillos, de modo que todas tengan el mismo foco principal F; si en éste se coloca un fuerte foco de luz, los rayos lumínicos incidiendo oblicuamente como lo representa la sección vertical de la lente escalonada M N, saldrán paralelos iluminando el espacio a grandes distancias. La disposición de la torre donde se halla colocado el aparato, la clase de foco de luz, el color de ésta, la colocación de las lentes o su combinación con espejos, según que la luz haya de ser fija o con eclipse, etc., son detalles que exigen mucho estudio. Los faros pueden mandar su luz, en noches serenas y despejadas hasta 14 leguas de distancia.

378. Foco de las lentes cóncavas. -Lo mismo que sucede en los espejos convexos, las lentes cóncavas no dan más que focos virtuales. El foco virtual principal, se forma al mismo lado que se halla el objeto, entre el centro de curvatura y la lente. Sea la lente bicóncava A (fig. 222) un rayo lumínico L que incida paralelo al eje principal, se refractará acercándose a la normal c i; al salir de la lente sufrirá otra nueva refracción, pero alejándose de la normal c' r y tomando la dirección r s. Otro rayo cualquiera L' producirá igual fenómeno y como ambos rayos van divergentes, no podrán encontrarse y no habrá foco real; pero si i se les supone prolongados concurrirán en el punto F, que es el foco virtual principal. Si los rayos no inciden paralelos, sino oblicuos partiendo del punto L (fig. 223) haciendo una construcción semejante a la anterior, el foco aparecerá en F' entre el foco principal y la lente.

379. Imagen virtual. -Aparece entre el objeto la lente directa y disminuida. Sea la lente (fig. 224) delante de la cual hay un objeto M N; trazando los ejes secundarios correspondientes a los puntos extremos, un rayo de luz M que incida sobre la lente, se refractará tomando la dirección r o, que ya conocemos por el párrafo anterior y otro tanto sucederá con el rayo N; suponiendo, pues, prolongados estos rayos cortarán respectivamente los ejes secundarios en m y n donde formarán la imagen virtual.

Estas lentes se llaman vidrios de disminución.

380. Fórmula de las lentes cóncavas. -En la fórmula de las lentes biconvexas

p' o sea la distancia de la imagen y f la distancia focal principal, conservan el mismo signo, aplicada a, las lentes cóncavas, lo que no sucede con p , por lo cual aquella fórmula se transforma

que es la fórmula de las lentes bicóncavas igual a la de los espejos convexos, teniendo en cuenta que f es mitad de R radio de curvatura.

Capítulo IV

Dispersión de la luz. -Acromatismo

LECCIÓN 62. -Descomposición de la luz blanca. -Espectro solar. -Simplicidad de los colores del espectro. -Los colores son desigualmente refrangibles. -Recomposición de la luz blanca. -Teoría de los colores.

381. Descomposición de la luz blanca. -La luz blanca del sol no es simple o sencilla, sino que se halla formada por varios elementos luminosos que reciben el nombre de colores El fenómeno que presenta la luz cuando al atravesar los medios diáfanos, además de refractarse, se descompone, se llama dispersión.

382. Espectro solar. -Para producir la descomposición de la luz, se hace penetrar por la pequeña abertura circular de una cámara oscura, un haz de luz del sol recibéndola en un prisma de vidrio colocado horizontalmente. (fig. 225) El haz después de refractarse se dispersa, yendo a pintar en un plano los brillantes colores del arco iris dirigiéndose el rojo hacia el vértice y el violado hacia la base del prisma. Esta imagen coloreada se llama espectro solar, nombre dado por Newton que estudió admirablemente los fenómenos de la dispersión. Los principales colores que aparecen en el espectro, se llaman rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violado, los cuales en su conjunto se conocen con los nombres de colores del espectro, colores prismáticos o del prisma y colores del iris; no presentando todos la misma extensión, pues el violado es el más extenso y el menos el anaranjado.

No es solo el prisma de vidrio el que produce el fenómeno de la dispersión, también las demás sustancias sólidas transparentes y los líquidos colocados en prismas huecos de vidrio, dan origen al espectro, pero cuya extensión varía según la naturaleza de la sustancia, lo cual se comprueba con el poliprisma, así llamado un prisma formado por varias sustancias de diferente ángulo refringente. Recibiendo la luz sobre este prisma compuesto, se presentan diversos espectros con extensiones diferentes, pero siempre con las coloraciones en el orden que dejamos indicado. Las sustancias que más dispersan la luz se llaman dispersivas. En prismas de la misma sustancia decrece la dispersión con el ángulo refringente, pues si éste fuese nulo, la luz le atravesaría sin descomponerse, por ser las caras de incidencia y emergencia paralelas. También la forma esférica que afectan algunos líquidos, como las gotas de agua y la cónica de algunas sustancias, como el vidrio, dispersan o descomponen la luz, dando origen a espectros circulares. Y por último, las luces artificiales originan asimismo espectros coloreados, dominando en ellos el color del matiz de luz que presenta la llama; así una luz roja da un espectro en que predomina el rojo y una verde otro en que sobresale el verde.

383. Simplicidad de los colores del espectro. -Los colores del espectro son simples y por lo tanto indescomponibles, es decir que el color rojo consta sólo de luz roja y el verde de luz verde. Demuéstrase aislando uno de los colores del espectro, el verde por ejemplo, y haciéndole pasar por un nuevo prisma, la luz penetra verde y sale verde.

384. Los colores son desigualmente refrangibles. -No es el mismo el índice de refracción de los colores y por consecuencia tiene diferente refrangibilidad. Compruébase por varias experiencias. 1.^a Si se mira a través de un prisma una tira estrecha de papel, mitad roja y mitad violada, las dos se ven desviadas, pero la roja mucho menos que la violada, luego el rayo rojo es menos refrangible. 2.^a Con la experiencia debida a Newton de los prismas cruzados. Descompuesta la luz por un prisma colocado horizontalmente pintará el espectro en una pantalla y si se recibe en otro prisma puesto delante, pero verticalmente, el espectro entonces se desvía de su posición, presentándose oblicuamente y siendo los colores cada vez mas refrangibles desde el rojo hacia el violado.

385. Recomposición de la luz blanca.

-Comprobada la naturaleza de la luz blanca por la descomposición, diversas experiencias confirman por la síntesis que los siete colores forman la luz blanca. 1.^a Si descompuesta la luz por un prisma, se recibe el espectro en un nuevo prisma de igual ángulo refringente, pero invertido, los colores reunidos por este segundo prisma producen la luz blanca. 2.^a Si

el espectro formado por un prisma, se recibe sobre una lente biconvexa (fig. 226) y se recoge el foco F sobre una pantalla, aparecerá una imagen blanca. Y Haciendo caer cada uno de los siete colores sobre un pequeño espejo de vidrio, y los siete espejos se dirigen hacia un punto dado, cada cual pintará la imagen coloreada del color que refleja, pero si se les hace girar de modo que los siete colores se confundan originan una sola imagen blanca y 4.^a El disco de Newton con el cual se practica pronto y sencillamente y de una manera más sorprendente esta demostración. En un disco de madera o de cartón se hallan pegadas varias tiras de papel, cada una con uno de los colores del espectro y con la extensión que le corresponde, formando tres o cuatro espectros: el centro y el contorno son negros A (fig. 227). Si se hace girar a éste rápidamente, sólo se percibe un disco blanco, porque recibiendo el ojo la impresión simultánea de todos los colores y persistiendo esta impresión cuando menos un décimo de segundo, como veremos más adelante, da lugar a que se junten y confundan produciendo una sensación blanca.

Si los colores del espectro se hallan pintados al trasparente en un disco de vidrio y, mirándole por refracción se le hace girar rápidamente, se distingue sólo un vidrio blanco.

Los colores, pues que reunidos forman la luz blanca se llaman colores complementarios. El verde es complementario del rojo, el azul del anaranjado; y un color cualquiera tiene su color complementario, porque le falta alguno de los colores del espectro para formar la luz blanca.

386. Teoría de los colores. -Débese a Newton la primera explicación científica de los colores, fundada en la hipótesis de la emisión. Según este ilustre físico, no existen más colores que los siete del espectro, que él denominó primitivos o elementales; si bien algunos físicos sólo admiten dos coloraciones en el espectro, la roja o jánica (de xanthos rojo) y la azul o ciánica (de cianos azul) siendo el verde resultado de la mezcla del color amarillo y el azul. Pero en la hipótesis de las vibraciones, son los colores del espectro, impresiones diferentes que producen en nuestro ojo las distintas velocidades de las ondas del éter. (428)

Sea cual fuere la opinión que se admita, los demás colores no comprendidos en el espectro, son mezclas o combinaciones de la materia luminosa coloreada o resultado de choques de las ondas del éter, que adquieren entonces velocidades diferentes y producen en los cuerpos matices de coloración diversa. Según la teoría de Newton, un cuerpo tiene color azul, por ejemplo, porque al llegar la luz a su superficie o al interior de su masa, se dispersa; el cuerpo absorbe los demás colores y refleja el azul, del cual se tiñe. En esta teoría lo blanco y lo negro no son colores: lo blanco es la luz sin descomponer o sin formar colores y lo negro es la carencia de luz. En la hipótesis de las vibraciones los colores dependen de la velocidad que adquieran las moléculas del éter y de la longitud de las ondas, siendo doble el número de vibraciones que producen el color azul de las que originan el rojo; pero en cambio las de esta haz tienen una longitud doble que las ondas de la luz azul, puesto que ambas recorren el mismo espacio en el mismo tiempo. El color, pues, de los cuerpos depende, según Newton, de la naturaleza de los cuerpos, que descomponiendo la

luz, reflejan un color y absorben los otros y en la hipótesis de las vibraciones también depende de la sustancia de los cuerpos, cuyo éter se conmueve con velocidades diferentes, según lo permita la naturaleza de la materia que forma el cuerpo. Sin embargo el color varía con la naturaleza del foco lumínico; así la llama del gas del alumbrado comunica a los objetos que ilumina un matiz amarillo propio de la luz de este gas.

LECCIÓN 63. -Naturaleza y composición del espectro. -Rayos del espectro. - Espectróscopo. -Acromatismo. -Acromatismo en los prismas y en las lentes.

387. Naturaleza y composición del espectro. -La inspección y análisis del espectro hacen ver que su naturaleza, no es tan sencilla como parece; pues además de los rayos coloreados, existen en el espectro otros que producen efectos muy diferentes de luz, de calor y de acciones químicas. Del examen de estos rayos se deduce que, al espectro coloreado acompañan, dispersos también, otros espectros.

A. Espectro luminoso. -Si el espectro producido por el prisma se recibe en una hoja de papel escrita, se observa que en la parte iluminada por el color amarillo, los caracteres se distinguen mejor; y al contrario mucho menos, los que están bañados por el violado, lo cual prueba el diferente poder iluminante.

B. Espectro calorífico. -Si la luz solar se recibe sobre un prisma de sal gema, sustancia, como sabemos, muy diaterma, no solo dispersa la luz blanca, sino que también descompone el calor, formando rayos de refrangibilidad diferente, que no son visibles, o corresponde al calor oscuro, pero que se aprecia su existencia por medio de termómetros muy sensibles. La intensidad calorífica de estos rayos va decreciendo desde el violado hasta el rojo; observándose que la situación del rayo de mayor calor varía con la naturaleza del prisma que dispersa la luz. En un prisma de agua, el máximo de calor está en el amarillo y con uno de sal gema se halla más allá del rayo rojo; es decir en un punto donde los rayos no son visibles, pero que se pueden apreciar sus efectos: esos rayos se llaman ultrarajos.

c Espectro químico. -La luz ejerce una notable influencia sobre la naturaleza de ciertos cuerpos y sus combinaciones; así el fósforo expuesto a la luz se vuelve rojo; el cloro o hidrógeno colocados en la oscuridad permanecen sin formar combinación ninguna, pero tan pronto como se exponen a la luz directa la combinación se verifica instantáneamente; en fin la luz altera los colores de las materias de los vegetales y es la causa de la coloración verde de las plantas. Pero no todos los rayos del espectro poseen esta especie de acción química en el mismo grado, por lo cual se admite un espectro químico; cuyo mayor efecto está más allá del rayo violado (rayos ultraviolados).

D. Espectro fosforogénico. -Con este nombre se conocen los rayos del espectro que tienen la propiedad de hacer luminosos algunos cuerpos en la oscuridad, si antes han estado expuestos a la luz del sol. Este espectro se halla desde el añil hasta más allá del violado. De modo que los rayos ultraviolados se pueden hacer visibles si atraviesan por determinadas sustancias, como la disolución ácida de sulfato de quinina. Si la fosforencia,

es instantánea o no persiste después de desaparecer la luz que la produjo, recibe el nombre de fluorescencia que se observa en el compuesto de quinina, citado y en el espato flúor, los cuales colocados en los rayos ultraviolados, es decir, oscuros, los hacen luminosos y visibles.

388 Rayas del espectro. -Aunque a primera vista parece que los rayos del espectro son continuos, observándole con un microscopio se notan partes oscuras a manera de rayas finas y estrechas, paralelas a las aristas del prisma que se llaman rayas del espectro y también, las más características, rayas de Fraünhofer por que éste acreditado y entendido óptico de Munich fue quien las estudió delicadamente el año de 1815, después de haberlas indicado por primera vez en 1804, el célebre Wollaston Las rayas de Fraünhofer son ocho y se designan con las primeras letras del alfabeto, hallándose la raya A en el límite del rojo, la D en el amarillo, la E en el verde, etc.

Estas rayas en el espectro de luz solar, tienen posiciones fijas o aparecen siempre en el mismo punto, pero en los espectros coloreados de luces artificiales o de las estrellas varía su posición; y con la luz eléctrica estas rayas a recién brillantes y en fin, con luces coloreadas o llamas en las que se evapore alguna sustancia química, las rayas tienen coloraciones diferentes muy brillantes. Fraünhofer había contado hasta 600 rayas, pero con prismas analizadores se han contado hasta 3000.

389. Espectróscopo. -Partiendo de la observación de que las sustancias que se volatilizan en una llama producen rayas coloreadas brillantes en el espectro, constantes para cada sustancia, se comprendió desde luego la posibilidad de determinar la presencia de una materia cualquiera en vapor por pequeña que fuese su cantidad, en los rayos de luz emitidos por diversos focos. De aquí nació el procedimiento llamado análisis espectral, han estudiado por diversos físicos y químicos y principalmente por los Sres. Kirchhoff y Bunsen, profesores de la Universidad de Heidelberg. El aparato inventado para este objeto se llama Espectróscopo (de spectro espectro y scopeo mirar, observar) denominándose asimismo esta parte de la óptica Espectrometría. El aparato, sin entrar en detalles, ajenos a estos estudios, que ha sido muy modificado, consta de una columna de hierro (fig. 228) sobre la cual hay un prisma de vidrio flint P y tres anteojos, uno de ellos movable. Un haz de luz emitido por un foco penetra por el anteojo A y cae sobre el prisma, el cual descompone la luz y forma el espectro, que el observador percibe, aumentado por el anteojo B y por último el anteojo C da la medida de las circunstancias de las rayas del espectro por medio de un micrómetro (de micros pequeño y metron medida) situado en el estremo del anteojo; un rayo de luz del foco F que lo atraviere se refleja sobre una de las caras del prisma, pasa por el anteojo B, donde la persona ve la imagen clara y muy limpia del micrómetro sobre el espectro. Dos mecheros de gas del alumbrado se alimentan con un aparato llamado lámpara de Bunsen, cuya intensidad lumínica se puede regular: si la llama es débil no forma espectro, pero si se coloca en ella un hilo o alambre de platino

humedecido con una disolución salina; inmediatamente aparece el espectro con la raya o las rayas características del metal que forme la sal. Por este procedimiento la ciencia se ha enriquecido con preciosos datos, no sólo descubriendo metales nuevos, sino llegando hasta a analizar los rayos de luz emitidos por el sol y las estrellas en los cuales se han encontrado muchos cuerpos idénticos a los que forman la materia de nuestro globo. Citaremos los principales espectros observados: el del potasio tiene todos los colores del iris y presenta dos rayas brillantes, una en el extremo del rojo y la otra en el extremo del violado: el sodio está, caracterizado por una raya amarilla muy brillante en la raya D de Fraunhofer, en fondo negro porque no da espectro solar. Este metal es el más sensible al análisis espectral, pues basta que en la llama del mechero haya

de gramo de vapor de sodio para que produzca la raya. El cesio metal descubierto, como el rubidio por Kirchhoff y Bunsen, produce dos rayas azules y el rubidio cuatro, dos rojas brillantes y dos violadas menos intensas. El talio una raya verde y el indio una brillante en el añil.

390. Acromatismo. -Creyose durante mucho tiempo, aún por el mismo Newton que era imposible evitar el que la luz al atravesar los prismas y las lentes dejase de dispersarse, lo cual era un grave inconveniente en los aparatos de óptica, pues las imágenes vistas a través de aquellos, medios parecían rodeados en sus contornos de coloraciones que no permitían apreciar bien su aspecto. Dos ingleses Hall en 1733 y sobre todo Dollon, óptico e instrumentista de Londres en 1757, fueron los primeros que dispusieron lentes sin efecto cromático o de color, los cuales recibieron el nombre de acromáticas y el fenómeno acromatismo (de a sin cromos color.)

391. Prismas acromáticos. -Se acromatizan estos medios disponiendo dos prismas de distinto ángulo refringente y diferente poder dispersivo, unidos de modo que sus ángulos estén opuestos: tales serían (fig. 229) prismas A B C y C B D, el uno de vidrio crown y el otro de flint más dispersivo que el primero. Como la dispersión disminuye con el ángulo refringente, si se disponen de modo que se llegue a igualar el poder dispersivo de uno y otro, dada su posición contraria, la dispersión de un haz L se verificará en sentido opuesto y siendo los rayos emergentes casi paralelos no producen la descomposición de la luz y ésta sale, blanca en L'; pero téngase en cuenta que los rayos que en rigor salen paralelos son los límites o sean el rojo y el violado; los del cent o no pueden producir la luz blanca y la acromatización no es completa. Basta sin embargo acromatizar el rojo y el amarillo: para acromatizar todos los colores se necesitarían siete prismas, pero esto produciría gran pérdida de luz.

392. Lentes acromáticas. -Como hemos visto que las lentes no son más que prismas unidos por su bases o por sus vértices se acromatizan como estos, es decir, uniendo dos lentes una cóncava A y otra convexa B desigualmente dispersivas (fig. 230).

Capítulo V

LECCIÓN 64. Instrumentos de óptica. Su división. -Cámara oscura. -Fotografía. - Cámara lúcida.

393. Instrumentos de óptica. Su división. -Reciben el nombre especial de instrumentos de óptica, los aparatos formados por lentes y espejos o por lentes solas, destinados a fijar las imágenes de los objetos o amplificarlas para distinguirlas con más claridad. Se dividen en tres clases: 1.^a Instrumentos que fijan en un plano o pantalla las imágenes naturales o amplificadas, como la cámara oscura, la cámara clara, etc. 2.^a instrumentos que amplifican las imágenes de los objetos pequeños, como los microscopios y 3.^a los que acercan y aumentan las imágenes de los objetos situados a larga distancia, como los telescopios.

394. Cámara oscura. -Es todo recinto o cámara cerrada menos por un orificio por donde penetran los rayos de luz. Pero para hacerla portátil y manuable se construye tal como la dispuso Porta Consiste en una caja rectangular de madera, formada por dos partes que se penetran una en otra (cámara oscura de corredera) (fig. 231) que en uno de sus lados lleva un orificio donde se halla una lente convergente: en el lado opuesto está un espejo inclinado 45° m n y en la parte superior de este un vidrio deslustrado a b. Los rayos lumínicos emitidos por un objeto penetran por el orificio y la lente los hace converger hacia el espejo, y reflejados por éste pintan la imagen del objeto horizontalmente sobre el vidrio deslustrado. Modificada y dispuesta convenientemente la cámara oscura, ha recibido importantes aplicaciones al dibujo y principalmente para fijar las imágenes de los objetos constituyendo lo que hoy se llama Fotografía (de footos luz y grafos dibujar) y que en un principio le denominó Daguerreotipo.

395. Fotografía. -El fundamento de este admirable y utilísimo arte, está en la acción que la luz ejerce sobre ciertas sustancias alterándolas pudiendo así ser impresionadas por los rayos lumínicos emitidos por los objetos y fijar su imagen, sobre una lámina de metal, vidrio o papel que se halle cubierta por dichas sustancias. Esta propiedad de la luz fue ya conocida en el siglo pasado, pero no se había logrado hacer persistente la imagen, ni que el clarooscuro dejase de aparecer invertido, como sucedía, hasta que los trabajos de varios físicos y en particular los de Niepce y Daguerre resolvieron en esta parte el problema. Rigurosamente la gloria de este descubrimiento se debe a Niepce (José Nicephoro) aún

cuando es disputada por los ingleses, quien comunicó a Daguerre (Luis) sus trabajos; pero muerto aquel, Daguerre dio a conocer la invención en 1829, apellidándola con su nombre, al parecer de acuerdo con el hijo de Niepce.

La índole especial de estos estudios no nos permiten entrar en más consideraciones históricas sobre este nuevo arte del dibujo las fases porque ha pasado y los adelantos que ha realizado hasta llegar a la fotografía actual, no menos que los varios y minuciosos detalles de este procedimiento muy sencillo y fácil en sus principios. Nos limitaremos pues a dar una ligera idea de las operaciones que constituyen el Daguerreotipo y la fotografía moderna.

A. Daguerreotipo. -El procedimiento daguerriano para fijar las imágenes se reducía 1.º a exponer una hoja de cobre plateada a la acción de los vapores de yodo hasta que la hoja de plata adquiría, un color amarillo de oro, impresionable a la luz; pero como la acción que esta ejerce sobre el yoduro de plata formado, tarda algún tiempo, a fin de aumentar la sensibilidad de la placa, se sometía a la acción de sustancias llamadas aceleratrices, como el bromo. 2.º Sensibilizada la hoja se colocaba en el fondo de la cámara oscura (fig. 232) que llevaba una sola lente, si bien después la fotografía adoptó dos lentes acromáticas u objetivos uno movable a la entrada del tubo en A y otro fijo en B. Puesto el aparato en foco, que había sido hallado antes sobre un vidrio deslustrado donde se pintaba la imagen del objeto o persona, se sustituía por la placa colocada previamente en un bastidor de madera c; entonces recibía la acción de la luz, cuya duración se aprecia por la práctica, pues depende de la sensibilidad de la placa y de la cantidad de luz emitida por el objeto. 3.º Retirada la placa de la cámara no aparecía impresión ninguna de la imagen, pero se hacía visible exponiéndola a los vapores de mercurio que se combina con la plata que sufrió la acción de la luz, cuyos puntos aparecen blancos; pero los oscuros del objeto que no impresionaron a los correspondientes, de la imagen, continúan negros; era además necesario hacer desaparecer el yoduro de plata no descompuesto, para lo cual se lavaba la placa con una disolución de hiposulfito de sosa; sin embargo todavía la imagen no era persistente, pues podía desaparecer fácilmente y además presentaba una iluminación especial que no hacía clara la imagen, cuyos inconvenientes se evitaron empleando el cloruro de oro con el hiposulfito sódico, propuesto por Fizeau. Estas operaciones se practican en una habitación con muy poca luz, para que la placa no se impresione. Con todo, este procedimiento ha sido abandonado desde que la fotografía moderna ha logrado fijar con toda consistencia las imágenes sobre el papel y el vidrio.

B. Fotografía. -Dos operaciones principales constituyen el procedimiento moderno; 1.º la obtención de la prueba negativa, es decir, una imagen en que las tintas están invertidas o sea que lo blanco del objeto aparece negro y viceversa: y 2.º la prueba positiva que se obtiene con las tintas invertidas con relación a la negativa y por lo tanto naturales respecto al objeto.

1.º Prueba negativa. -Sobre una lámina de vidrio perfectamente limpia, para lo cual se la frota con una muñeca de tela empapada, en alcohol que contenga trípoli; después con alcohol solo y por último con una piel de gamuza; se vierte en su centro colodión (V. en Química. -Acido nítrico) que tenga yoduro si de amonio y cadmio y bromuro de amonio, en inclinándola en todos sentidos, se extiende el colodión, derramando el exceso en el

frasco que le contenía; el éter del colodión se evapora y queda depositada sobre el vidrio una capa homogénea y mate. No seco del todo se introduce durante uno o dos minutos en un baño que contenga 1 gramo de nitrato de plata por 10 de agua, convirtiéndose en bromo-yoduro de plata. En estas operaciones, como en las del daguerreotipo, debe trabajarse en habitaciones débilmente iluminadas con luz amarilla. Seca la lámina se pone en un bastidor de madera que lleva una pantalla de corredera, para cubrirla, que puede subir o bajar y se coloca en la cámara oscura en reemplaza del bastidor del vidrio esmerilado o que sirvió para hallar el foco. Elevada la corredera, la luz emitida por el objeto obra sobre el bromo-yoduro de amonio y le descompone en parte. Pasado el tiempo necesario para que reaccione la luz, que suele ser de algunos segundos, se baja la corredera y se saca de la cámara; en la placa entonces no aparece la imagen, pero se hace visible lavándola con una disolución de ácido pirogálico con un poco de ácido acético cristalible, formándose en todos los puntos en que el bromo-yoduro fue alterado por la luz emitida por

las partes claras del objeto, un pirogalato de plata negro, apareciendo en el acto la imagen.

Las partes de la imagen correspondientes a los puntos oscuros que no han recibido la impresión de la luz quedan blancas, pero es necesario hacer desaparecer el bromo-yoduro no descompuesto, porque se ennegrecería por la acción de la luz directa y al efecto se lava con una disolución de hiposulfito de sosa que disuelve el bromo-yoduro. Por último se lava también y se trata por una disolución de cianuro potásico cubriéndola con una ligera capa de agua de goma.

2.º Prueba positiva. -Con la negativa anterior cuyas tintas están invertidas, se pueden obtener cuantas positivas se deseen. Úsase al efecto un papel especial preparado según el sistema de Talbot, que se halla en el comercio llamado talbotipo. Recortado el papel un poco mayor que la negativa, se vierte sobre él una disolución de nitrato de plata ya seco se aplica la cara impregnada sobre la negativa colocando las dos en un bastidor que lleva una lámina de vidrio y se exponen a la acción de la luz; entonces las partes oscuras o negras de la imagen proyectan sombra sobre el papel de la positiva y no lo alteran, permaneciendo blancas y las claras de la negativa emitiendo luz descomponen el nitrato de plata y le ennegrecen las tintas, pues, aparecen invertidas respecto a la negativa, pero tal como están en el objeto. Fíjase la imagen lavando el papel con agua y una disolución de hiposulfito sódico y se la sumerge en un baño de 1 gramo de cloruro de oro por litro de agua. Ya seca se pega en una cartulina. Últimamente con el objeto de dar más tono a la imagen y evitar todo deterioro se ha empleado el carbón.

Para obtener las positivas sobre vidrio, se preparan las placas como para las negativas, y en el momento de salir de la cámara se introducen en una disolución de protosulfato de hierro, apareciendo en el acto la imagen que es negativa; pero se trasforma en positiva lavándola primero en agua y vertiendo después una disolución de cianuro potásico con lo cual se limpia la imagen; se barniza, se cubre con una capa de betún de Judea y se ve la imagen por la cara opuesta del vidrio.

Hoy la fotografía ha llegado a realizar verdaderas maravillas así en la delicadeza y corrección del dibujo, como en la exactitud del parecido y en el tono admirable del claroscuro, no menos que en la rapidez y prontitud con que se fija la imagen, cosa muy

necesaria en ciertos casos y en su aplicación al grabado y a la litofotografía. Un solo paso le falta para llegar al último grado de perfección; el fijar al mismo tiempo que la imagen los colores con que aparezca en el fondo de la cámara oscura. Para conseguirlo los físicos y químicos vienen haciendo experiencias de todo género y ensayos los más singulares, y hay esperanzas de resolver el problema por los trabajos de Becquerel.

396. Cámara clara. -Con este nombre y también con el de cámara lúcida se conoce un sencillo aparato ideado por Walloston en 1804 y que sirve para obtener la imagen de un edificio o un paisaje, pudiendo en consecuencia operar al aire libre y a la luz directa. Consiste en un prisma cuadrangular (fig. 233) cuyos ángulos valen, el B 90° , el A y C $67'5''$ cada uno y el D la suma de estos dos últimos o sea 135° . Montado el prisma sobre un pie de cobre y colocado delante del objeto M N, los rayos lumínicos inciden sobre la cara B C sufriendo sobre la DC la reflexión total, y caen sobre la A D donde también experimentan la reflexión total, emergiendo por la cara A B cerca del vértice A desde donde el observador ve la imagen en m n. Este aparatito ha sido modificado corrigiéndole varios defectos; como son el que no se ve al mismo tiempo la imagen y la punta del lápiz, pero se consigue recibiendo los rayos en una lente antes de penetrar en el ojo. Además la luz ha de estar bien distribuida y esto se logra por la interposición de vidrios de color.

397. Linterna mágica. -Verdaderas cámaras oscuras con lentes combinados convenientemente, son la linterna mágica, el cosmorama, el diorama y poliorama etc., aparatos todos de física recreativa. La linterna mágica, única de que hablaremos, fue inventada a fines del siglo XVII por el jesuita alemán Kircher y con ella se obtienen sobre una pantalla blanca, en el interior de una cámara oscura, imágenes amplificadas de objetos pequeños. Consiste en una caja de hoja de lata en cuyo fondo hay un reflector metálico cóncavo y delante y en su foco una lámpara. Una lente colocada en la parte opuesta en la base de un tubo concentra los rayos de luz ilumina las figuras pintadas al trasparente sobre una lámina de vidrio y la luz de estas atraviesa por otra lente situada en el extremo del tubo, que pintan la imagen invertida, sobre el plano situado a cierta distancia. Para que las imágenes aparezcan directas basta colocar invertidas las figuras.

LECCIÓN 65. Microscopio compuesto. -Íd. de Nachet. -Aumento del microscopio. Campo. Microscopio solar. -Aplicaciones. -Anteojo astronómico. -Íd. terrestre. - Telescopios. -Telescopio de Gregory. -Íd. de Newton. -Íd. de Herschell.

398 Microscopio simple. -Son los microscopios (del griego micros pequeño y scopeo observar), instrumentos de óptica que amplifica las imágenes de los objetos pequeños, favoreciendo por lo mismo su visión. Como la amplificación de un objeto depende del valor del ángulo óptico bajo el cual se mira, puede servir de verdadero microscopio una cartulina o lámina en la que se practica una pequeña abertura y mirando a través de ella un objeto, aparece agrandado. El microscopio simple llamado también vidrio de aumento, no es más que una lente convergente, generalmente biconvexa, de foco corto, a través de la cual se miran los objetos colocados entre ella y su foco principal. La marcha de los rayos lumínicos la conocemos ya; pues en efecto, sea un objeto colocado delante de la lente (fig. 231) trazando los ejes secundarios MO y NO y considerando los rayos de luz mr y ns , después de refractarse al atravesar la lente vienen a encontrarse en un punto F que es el foco de la lente, desde donde en la prolongación de los mismos, la persona ve la imagen virtual amplificada en $M'N'$. Tanto el tamaño como la posición de la imagen no son siempre los mismos, pues varían según la distancia del objeto al foco. Si el objeto se aproxima a la lente, el ángulo de los ejes secundarios aumenta y los rayos refractados tienen una menor convergencia y la imagen aparece más cerca de la lente y es más pequeña y viceversa si el objeto se aleja. Este microscopio ha recibido nombres diferentes, según el uso a que se le destina, llamándose cuentahilos, lente botánica, etcétera. Con objeto de hacer más fácil su manejo y percibir mejor la imagen, Raspail modificó este aparato colocando la lente en el fondo horadado de una capsulita que puede subir o bajar por medio de una barra dentada y aproximarse por lo tanto al objeto que se coloca entre dos laminitas de vidrio que reciben el nombre de porta-objetos y por fin un espejito cóncavo reflector, que dándole una inclinación conveniente refleja la luz difusa y la manda hacia el objeto, iluminándole lo necesario.

No basta sin embargo que el objeto esté perfectamente iluminado, sino que es necesario además que la imagen aparezca a una distancia conveniente, que debe de ser la de la visión distinta (415) que varía para las diferentes personas, por cuya razón cada observador debe poner en foco el microscopio, es decir, adaptarlo a su distancia de la visión distinta, variando la posición de la lente al objeto.

399. Microscopio compuesto. -Así llamado porque es en rigor la reunión de dos microscopios simples. Débese su invención al holandés Zacarías. Jansen, año de 1590. Consta de dos lentes convergentes, que reciben respectivamente los nombres de objetiva la que está más próxima al objeto y ocular la inmediata al ojo. La explicación teórica del microscopio compuesto, es muy sencilla. Sean las dos lentes A y B (fig. 235) y un objeto MN situado delante de la objetiva A , cerca de su foco, de modo que este quede entre la lente y el objeto; el cual emitiendo rayos lumínicos que atraviesen la lente, se cruzarán y darán una imagen real mn invertida y amplificada, la cual va a servir de objeto para la lente ocular B , como si fuera un microscopio simple, que dará la imagen $m'n'$ amplificada y directa con relación a la imagen real, pero invertida respecto al objeto. Tal es lo que sucede en la marcha de la luz en este instrumento, pero en su construcción hay diversos accesorios para la mejor percepción de la imagen. Las lentes van colocadas en los extremos de un tubo barnizado de negro en su interior, como en todos los instrumentos de óptica, a fin de que

los rayos que pudieran caer sobre las paredes interiores del tubo y que no hayan de ser eficaces sean absorbidos: el objeto se pone entre dos vidrios colocados en un sostén con una abertura en su centro por donde pasa la luz, que se llama porta-objetos y que puede acercarse más o menos a la lente objetiva. Otros varios detalles lleva este microscopio que estudiaremos brevemente en el microscopio Nachet.

400. Microscopio de Nachet. -Desde la invención de este utilísimo instrumento, han sido muchas las modificaciones y perfeccionamientos que ha sufrido; entre ellas la del físico italiano Amici, que a fin de operar con más comodidad, en estos trabajos a que por punto general se dedica mucho tiempo, dispuso el tubo, donde se hallan las lentes, en ángulo recto y en su vértice colocó un prisma rectangular (fig. 236) sobre cuya cara B incide la luz que reflejada en el espejo atraviesa por el objeto colocado en p, y después de atravesar las lentes objetivas y sufriendo en el prisma la reflexión total, va horizontalmente a la lente o lentes oculares. Pero las más notable innovaciones se deben a Nachet, que dispuso el microscopio compuesto para observar los objetos con un solo ojo (manocular) o con los dos ojos (biocular). El primero, único de que hablaremos (fig. 237) está formado por tubos de cobre que llevan en sus extremos, el uno A, el vidrio objetivo y el otro B, el ocular, compuesto de dos o tres lentes para evitar la aberración cromática; estos tubos por un mecanismo especial pueden acercarse más o menos al objeto que se va a observar y además adquieren diversas posiciones para mayor comodidad del observador. Los objetos puestos entre dos láminas de vidrio, van en el portaobjetos P, siendo iluminados por la luz emitida por un espejo reflector R, que se le puede inclinar lo que fuere necesario, y si son opacos están además iluminados por la parte superior por medio de una lente convergente.

401. Aumento del microscopio. Campo. -En general se llama aumento o poder amplificador en los instrumentos de óptica, la relación entre la magnitud de la imagen y la del objeto; siendo igual en el microscopio compuesto al producto del aumento del objetivo por el del ocular. Este aumento se refiere en general al diámetro, pues la superficie de la imagen es igual al cuadrado del aumento lineal: así un microscopio de 200 diámetros de aumento, hace el objeto 40000 veces mayor. Se entiende por campo de un microscopio y en general de un instrumento óptico, el espacio angular en que están comprendidos todos los puntos visibles al través del ocular. La extensión del campo varía por diversas causas: disminuye a medida que aumenta el poder amplificador del aparato y es diferente según la posición del ojo, pues si éste ha de abrazar toda la extensión del campo, es preciso que se aplique al punto ocular, es decir, a un punto donde concurren los rayos que salen del ocular.

402. Microscopio solar. -Este aparato es una verdadera linterna mágica; pero como amplifica notablemente las imágenes, se considera como un microscopio, denominándose

solar porque los objetos se hallan iluminados por la luz directa del sol que penetra en el interior del aparato. El instrumento (fig. 238) se halla colocado en la abertura de una cámara oscura en cuya pared exterior se halla un espejo plano E, llamado porta-luz, que por medio de dos tornillos puede tomar posiciones distintas, de modo que reflejando los rayos del sol, los manda al interior del aparato atravesando la lente L y luego la L', en cuyo foco se coloca el objeto entre dos láminas de vidrio: iluminado así el objeto otra lente T, produce su imagen real que se puede recoger en un plano invertida y muy amplificada. Como en este instrumento obra directamente la luz del sol, al mismo tiempo que los rayos lumínicos, forman también foco los de calor; produciendo una elevada temperatura que puede destruir o alterar los objetos colocados en el campo del microscopio. Para evitarlo se hace atravesar la luz por una caja de cristal muy diáfana, colocada entre la lente y el objeto, que contenga una disolución de alumbre, sustancia atermal que deja pasar la luz y retiene el calor (319).

403. Aplicaciones. -Una sola consideración hará comprender la inmensa importancia de este precioso instrumento: con él se examinan y reconocen esa multitud de materias y de seres diminutos que forman ese mundo invisible tan lleno de prodigios como el visible, el mundo de los infinitamente pequeños. Con él se estudia toda la organización de los animales que por su extremada pequeñez se llaman microscópicos y que pueblan el aire, las aguas estancadas y las infusiones; la forma, dimensión y estructura de los glóbulos de la sangre el examen de los animales y plantas parásitas y las sustancias, nocivas en su mayor parte, con que se adulteran y falsifican muchos productos; como la leche, la harina, el café, el chocolate, etc. Bajo este último punto de vista el microscopio es un instrumento de observación y análisis de la mayor importancia, hoy principalmente que la malicia ha llevado el fraude y el engaño a la falsificación de la mayor parte de las sustancias que nos sirven de alimento.

- II -

404. Anteojo astronómico. -Con el nombre de telescopios de refracción o dióptricos, se conocieron en un principio el anteojo astronómico, el terrestre y el de Galileo; más tarde se denominaron telescopios del griego teles (lejos scopeo observador) los instrumentos de óptica que por reflexión y refracción amplifican las imágenes de los objetos situados a largas distancias como los astros. El anteojo astronómico, cuya invención se atribuye a Kepler, es en rigor un microscopio compuesto en el que la lente objetiva es de gran diámetro y extenso radio de curvatura. Ambas lentes van en un tubo de latón montado sobre un pie de modo que tenga diversos movimientos. Los efectos de la luz son los mismos que en el microscopio compuesto.

405. Anteojo terrestre. -Este anteojo llamado también de larga vista o catalejo fue inventado por Juan Lippershey, óptico de Magdeburgo, año de 1606, aunque hay quien supone que el verdadero anteojo terrestre es invención del jesuita. Como este instrumento tiene por objeto observar los objetos colocados en la superficie de la tierra o de los mares, es necesario que tenga otra disposición diferente del astronómico, pues éste da la imagen invertida; para evitarlo, se le agregan otras dos lentes, entre el objetivo y el ocular para que den un segundo cruzamiento a los rayos lumínicos; no siendo, pues, el anteojo terrestre más que un doble microscopio. Sean en efecto las cuatro lentes A, B, C y D (fig. 239) y un objeto situado en M N, que emitiendo rayos, atraviesan el objetivo, se cruzan y dan una imagen real, invertida y más pequeña en m n; estos rayos atraviesan la lente B y se cruzan de nuevo pasando por la lente C, que da la imagen directa, con relación al objeto en r s; esta imagen, es la que como en el microscopio compuesto va a servir de objeto y la que amplifica el ocular D en M' N'.

406. Anteojo de Galileo. -Conocido también con el nombre de anteojo de teatro aunque no usado hoy como anteojo telescópico, tuvo en su época una gran importancia, pues con él su ilustre inventor, hizo curiosas observaciones y descubrimientos en las montañas de la luna, las manchas del sol y los cuatro satélites de Júpiter. Consta de una lente convergente u objetivo A y obra ocular divergente B (fig. 240). Un objeto colocado en M N emite rayos que después de atravesar el objetivo y cruzarse deberían formar en m n una imagen real invertida y más pequeña que el objeto, pero el ocular B, refracta los rayos, desviándolos del eje principal y si un observador los recibe en su ojo y se suponen prolongados, verá una imagen virtual, directa y muy amplificada del objeto en r s. Los gemelos o anteojos de teatro, de campaña y de marina, son iguales al de Galileo, que dan una imagen en cada ojo, aumentando su brillo y el relieve. En este instrumento, como en los demás de óptica, los oculares pueden acercarse más o menos al objeto, según la visión distinta de cada persona.

407. Telescopios. -Estos instrumentos son los empleados principalmente en las observaciones astronómicas. Atribúyese al P. Zeucchi la invención de los telescopios el año de 1616. Los principales son los siguientes.

408. Telescopio de Gregory. -Diose a conocer este telescopio el año de 1650. Consiste en un gran tubo de latón (fig. 241) en cuyo fondo hay un espejo cóncavo reflector A B, taladrado en su centro y cerca del cual está el ocular O; próximo al extremo opuesto hay otro espejo o más pequeño casi del tamaño de la abertura del grande, pero de mucho menor radio de curvatura. Los rayos emitidos por el astro inciden, paralelos, al eje del aparato, sobre el espejo A B y forman en a b una imagen invertida y pequeña; pero los rayos de esta

imagen caen sobre el espejo más pequeño, que los refleja y produce otra imagen en r s, un poco mayor, que es la que se mira con el ocular o y se ve notablemente amplificada en b' a'.

409. Telescopio de Newton. -Tiene como el de Gregory dos espejos, sólo que el mayor no está taladrado y el menor está inclinado 45° , o bien es un prisma de reflexión total (fig. 242). Los rayos reflejados por el espejo cóncavo A B, van al prisma P que los refleja a su vez sobre la lente O, dando la imagen amplificada en a b. Este telescopio, como el anterior, tiene el inconveniente de no dar la imagen con toda claridad a causa de la pérdida de luz que hay en las dos reflexiones sucesivas. Herschell acudió a este remedio construyendo un telescopio con un solo espejo.

410. Telescopio de Herschell. -Consiste como los anteriores (fig. 243) en un tubo en cuyo fondo está el gran reflector de 1m'50 de abertura, inclinado A B y un ocular situado en O. Los rayos reflejados sobre el espejo, después de formar en a una imagen real, van directamente sobre la lente, que produce la amplificación de la imagen a b. En este instrumento la persona se coloca de espaldas al astro.

Estos instrumentos que habían sido reemplazados en las observaciones astronómicas por los anteojos de refracción a causa de los inconvenientes que ofrecen los espejos, ya por su gran peso, ya por perder fácilmente su brillo, han vuelto a ser usados desde que Foucault ha logrado construir muy buenos espejos de vidrio plateado cuya brillantez y pulimento no se alteran, como en los demás de metal.

Capítulo VI

Visión

LECCIÓN 66. -Visión. -Descripción del ojo humano. -Marcha de la luz al través del ojo. -Eje óptico, ángulo óptico y ángulo visual. Distancia de la visión distinta. -Defectos ópticos del ojo. -El ojo se acomoda a todas las distancias. -Persistencia de la imagen en la retina. -Parte insensible de la retina. -Acromatismo del ojo. -Visión con los dos ojos. -Estereoscopio.

- I -

411. Visión. -Visión es el fenómeno óptico que origina en el sentido de la vista, mediante el órgano del ojo la sensación que nos da a conocer la presencia de los cuerpos, su forma, posición y sobre todo sus colores De esta definición se deduce que hay en la visión tres fenómenos distintos; uno óptico producido en el órgano del ojo, que es un verdadero

instrumento de óptica; otro fisiológico que se refiere al sentido de la vista y otro puramente psicológico relativo al conocimiento de la sensación que aprecia el alma. Sólo nos ocuparemos del primer concepto.

Seguramente no cuenta el hombre con un órgano más importante, ni más útil que el ojo, aparato delicado que reúne todas las perfecciones del más esmerado instrumento de óptica y sin el cual quizás no fuera posible la existencia del hombre en la superficie de la tierra; pues merced a él, se establecen admirablemente las relaciones con el mundo exterior y nuestros conocimientos se extienden de una manera prodigiosa.

412. Descripción del ojo humano. -Es el ojo un aparato de forma globulosa (fig. 244) alejado en una cavidad córnea llamada órbita, porque en ella se mueve o gira merced a seis músculos cuatro rectos y dos oblicuos. En él hay que considerar las partes esenciales, necesarias para la visión y las que, puramente accidentales, no contribuyen a la producción del fenómeno y se conocen con el nombre de órganos protectores del ojo: tales son las cejas, los párpados las pestañas, las glándulas lagrimales y las de Meibon (médico alemán) que tienen objetos muy diversos, entre otros impedir la entrada en el ojo de cuerpos extraños, como el sudor, el polvo etc. o bien evitar que los rayos de luz, demasiado oblicuos, penetren en el interior e impidan que la imagen aparezca con la brillantez necesaria.

Las partes esenciales del ojo son: la esclerótica r s, membrana que forma el exterior del globo y presenta dos aberturas, una posterior que da paso al nervio óptico p y otra anterior donde se halla engastada una membrana m n como continuación de la esclerótica, de mucha curvatura, que se llama córnea transparente y el resto de la esclerótica que se ve y forma lo blanco del ojo se denomina córnea opaca; otra membrana finísima cubre la córnea transparente y es continuación de la que reviste la cara interna de los párpados y se llama conjuntiva. Detrás de la córnea hay un tabique membranoso prolongación de la esclerótica llamado iris que está taladrado en su centro por una abertura circular o llamada niña o pupila, que goza de la propiedad de contraerse o dilatarse; estos movimientos los verifican fibras musculares radiantes y circulares, pero la causa que los determina es la luz: de modo que cuando hay exceso de luz en el espacio, la pupila se contrae y sólo penetra en el ojo la necesaria para la visión y cuando hay poca como en el crepúsculo o durante la noche la pupila se dilata. Este tabique divide al ojo en dos espacios llamados el uno cámara anterior, que está llena de un líquido que por parecerse al agua se llama humor acuoso; y cámara posterior que forma casi todo el globo del ojo y en ella se hallan el cristalino C, lente biconvexa, cuya convexidad posterior es un poco mayor que la anterior; está envuelto por una membrana finísima y de una diafanidad perfecta, llamada cápsula del cristalino y rodeado en sus bordes por unos apéndices radiados negros, parecidos a pestañas, llamados procesos ciliares, que tienen por objeto absorber los rayos de luz que pasen por los bordes del cristalino y que no hayan de contribuir a la visión: detrás y llenando todo el resto de la cámara posterior, se halla un humor espeso y diáfano parecido al vidrio y se llama humor vítreo y por último, en el fondo del ojo se encuentra la retina, especie de plano a manera de red, continuación o expansión del nervio óptico p, donde se proyecta la imagen de los

objetos. Completa este aparato como instrumento de óptica, una membrana que tapiza interiormente la esclerótica llamada coroides que segrega una materia colorante negra o pigmentum que barniza las paredes interiores y está destinada a absorber la luz que no haya de ser eficaz para la visión.

413 Marcha de la luz al través del ojo. -El ojo como instrumento de óptica es una cámara oscura, cuya abertura la forma la pupila, la lente convergente el cristalino y el plano de reflexión la retina; por lo tanto muy fácil es darse cuenta de lo que sucede con los rayos de luz emitidos por un objeto cualquiera A B (fig. 244) colocado delante del ojo. Los rayos lumínicos que parten de A al atravesar la córnea y el humor acuoso se refractan y atraviesan la pupila donde se cruzan (334); caen sobre la lente cristalina, se refractan de nuevo convergiendo y pintan en la retina su foco en a; otro tanto sucede al punto B, que proyecta su foco en b, apareciendo pues la imagen invertida como en la cámara oscura. Que la imagen se pinta invertida en la retina se demuestra tomando un ojo de un animal albino, que carece de pigmentum, y colocado en el orificio de una cámara oscura, se puede ver con una lente de aumento que se pintan en aquella retina las imágenes invertidas de los objetos que están en el exterior.

Varias explicaciones se han dado de este hecho, en el que a pesar de aparecer la imagen invertida, nosotros vemos los objetos derechos. Unos dicen que el hábito y el tacto rectificando el fenómeno de la visión, nos acostumbra a ver los objetos en su posición y hasta se pretende demostrar que el niño en los primeros días de su vida, ve realmente los objetos invertidos. Otros dicen que como todo lo vemos invertido y no hay en el espacio un cuerpo que nos sirva de comparación, en vigor nada debe parecerlos invertido y otros en fin, opinan que el alma refiere la visión al mismo objeto y por lo tanto ha de verse en la posición que tiene. Esta opinión nos parece bastante fundada y se halla relacionada con el fenómeno de la visión con los dos ojos, de que hablaremos luego.

414 Eje óptico. Ángulo óptico. Ángulo visual. -Se llama eje óptico (fig. 244) principal del ojo, el eje de figura o sea la recta e i respecto a la que es simétrica y pasa por los centros de la pupila y el cristalino. Ángulo óptico (fig. 245) es el formado por los ejes ópticos principales de los dos ojos, dirigidos hacia un mismo punto o sea A C B. Será pues tanto menor cuanto más distante esté el objeto. Ángulo visual (fig. 246) el constituido por los ejes secundarios desde el centro del cristalino a los extremos del objeto. Este ángulo aumenta, para una misma distancia, con el tamaño del objeto y para un mismo objeto, disminuye con la distancia: luego los objetos aparecerán tanto más pequeños cuanto estén más lejanos: tal sucede respectivamente al A B y al a b.

415. Distancia de la visión distinta. -Llámase así la distancia a que ha de hallarse un objeto para distinguirlo con claridad. Varía en las diferentes personas; pero para una vista bien confirmada es de 25 a 30 centímetros para los caracteres de imprenta del número 11. Si la persona no ve bien a esa distancia y tiene que acercarse al ojo el objeto, distinguiéndole entonces claramente, se dice que es miope si por el contrario necesita alejarlo para tener la visión distinta, es presbita.

A. Miopía. -Este defecto óptico llamado también vista corta (del griego miopía vista corta) es propio de los jóvenes y reconoce por causa un exceso de curvatura en el cristalino o en la córnea, por lo que siendo el ojo muy convergente tiende a pintar la imagen antes de la retina y no hay visión: para que ésta se efectúe es preciso que el objeto se acerque al ojo, en cuyo caso el foco o la imagen se retira y va a proyectarse en el fondo de la retina. Se corrige este defecto, es decir, se hace que aún los miopes puedan distinguir claramente los objetos a la distancia de la visión distinta ordinaria, colocando delante del ojo cristales divergentes, como lentes cóncavas, que separando los rayos pintan el foco en la retina: y si la miopía procede de la costumbre de mirar objetos muy pequeños, como en el grabado, o en las observaciones microscópicas demasiado continuas, se corrijo mirando objetos situados a largas distancias.

B. Presbicia. -Es defecto del ojo de los ancianos (del griego presbites viejo) y se llama también vista cansada, pues con la edad se gastan los humores del ojo, el cristalino va perdiendo su curvatura, se hace muy divergente y el foco tiende a pintarse detrás de la retina. Se obvia este defecto alejando el objeto, en cuyo caso disminuye la distancia focal del cristalino, la imagen avanza y viene a proyectarse en la retina. Pero sin necesidad de alejar el objeto se evita este defecto con la interposición entre el ojo y el objeto, de lentes convergentes o convexas, que proporcionen al ojo la curvatura que le falta, para que los rayos pinten el foco en la retina. La medida de la visión distinta se determina por medio del cálculo y también con bastante exactitud por medio de los optómetros.

Desde los trabajos de Wollaston, de hace pocos años, sobre estos dos defectos ópticos, se usan para evitarlos, las lentes se usan para cóncavo convexas convergente y divergente C y F (fig. 213 y 214) colocándolas de modo que sus curvaturas estén en el mismo sentido que la del ojo. Estas lentes se denominan lentes periscópicas, porque con ellas se perciben los objetos lejanos que rodean al ojo. Otros defectos ópticos presenta el ojo, como son:

C. Diplopia. -(Del griego diploos doble, opía visión). Defecto que consiste en ver los objetos duplicados: en lo general una de las imágenes es más clara que la otra. A veces hay la tríplica, pero la tercera imagen es muy débil. Parece depende este fenómeno de una especial conformación del cristalino o de alguno de los humores, que hace que el haz luminoso se divida y forme dos imágenes en la retina.

D. Nictalopía. -(Del griego nietos noche, opía visión) Defecto que consiste en percibir mejor los objetos con poca luz en el crepúsculo, que durante el día.

E. Acromatopsia. -(Del griego a sin, cromos color) Llamado también daltonismo, porque lo padeció Dalton y, lo describió detalladamente, es defecto que no permite apreciar los colores o algunos de ellos.

- II -

416. El ojo se acomoda a todas las distancias. -Propiedad singularísima que ofrece el ojo y que no presenta ningún instrumento de óptica, la de poder acomodarse a todas las distancias para la percepción de los objetos, siempre que aquellas no excedan de ciertos límites. Nótase, sin embargo, que cuando se ha acostumbrado a ver a una cierta distancia no puede hacerlo a otra distinta pero sí verificándolo sucesivamente a una y a otra. Este fenómeno ha llamado la atención de todos los físicos y para explicarlo se han propuesto diversas hipótesis. Unos dicen que el diámetro del ojo antero posterior puede variar acercando o alejando el cristalino o la retina, cambiando así la distancia focal, según, la posición del objeto. Otros con Young, dicen que el cristalino goza de la propiedad de contraerse haciéndose más o menos convexo y por consecuencia de mayor o menor convergencia, de modo que siempre las imágenes se pintan en la retina, cualquiera que sea la distancia del objeto, dentro de determinados límites. Esta opinión parece que ha sido confirmada con experiencias hechas por Cramer y Helmholtz, llegando a determinar cuánta es la variación que sufre el radio de curvatura del cristalino, representada en centésimas de milímetro, según la distancia del objeto.

417. Persistencia de la imagen en la retina. -Para percibir un objeto de modo que forme en la retina una imagen clara, es preciso que tenga cierta magnitud, que no ha de ser menor de 0'001 de pulgada y que la impresión producida en la retina persista algún tiempo. En efecto, la impresión en la retina no es fugaz o se borra en cuanto desaparece el objeto, sino que dura algún tiempo, como lo confirman numerosas experiencias. Si se hace girar rápidamente un carbón encendido, no se le ve sucesivamente en los diferentes puntos en que se halla, sino formando una ráfaga continua, porque persistiendo las impresiones en la retina y no borrándose durante un corto tiempo las que se suceden, se enlazan para formar un todo no interrumpido. Un hecho análogo hemos visto en el disco de Newton (385). Esta persistencia es, en lo general, para la luz blanca, de un décimo de segundo, llegando a ser hasta de medio segundo en ciertos casos. Fundados en este efecto se conocen varios aparatos sumamente curiosos, pertenecientes en su mayor parte a la Física recreativa, como el fenakistíscopo, la rueda de Faraday y otros muchos. La rueda de Faraday es un aparato sencillo, pero de sorprendente efecto. Consiste en dos ruedas iguales y del mismo número de radios que pueden girar en sentido contrario: si se las imprime un rápido movimiento se ve una sola rueda inmóvil de doble número de radios.

418. Parte insensible de la retina. -No toda la extensión de la retina, es sensible a la luz; sólo goza de esta propiedad la porción que recibe los rayos correspondientes al eje óptico

que dan origen a una imagen clara y bien distinta; pero si ésta se forma hacia la base o punto de donde arrancan los filetes nerviosos que constituyen la retina no hay percepción de la imagen, por ser esa parte insensible o ciega a la luz, por lo que recibe el nombre de punctum cœcum. Demuéstrase esa insensibilidad de la retina trazando sobre un papel blanco dos puntos negros, separados entre sí cuatro o cinco centímetros; si se acercan mucho al ojo y se mira con el derecho el punto izquierdo, se verá también el otro punto y alejando lentamente el papel llega un momento en que desaparece el punto de la derecha, pero vuelve a presentarse si se continúa alejando el papel. Dícese que cuando el punto deja de ser visible, es que se proyecta su imagen en la parte inferior de la retina.

419. Acromatismo del ojo. -Se cree que el ojo tiene un acromatismo perfecto: sin embargo esto sólo es así para ciertas distancias y determinadas condiciones; pues según Muller, si se mira con un solo ojo un disco blanco sobre un fondo negro, se ve la imagen clara, si el ojo se halla a su distancia de la visión distancia, o lo que es lo mismo si dicha imagen se proyecta en la retina, pero si se pinta delante o detrás, el disco aparece rodeado de una faja estrecha de color azul. De aquí se deduce que el ojo sólo es perfectamente acromático para la distancia de la visión distinta.

420. Visión con los ojos. -El hecho más curioso que producen los dos ojos, es el no percibir con ellos más que un solo objeto, siendo así que en cada retina se forma una imagen. Para explicar tan rara particularidad se han propuesto varias teorías. Wollaston dice, que en cada retina existen dos puntos homólogos respectivamente en la derecha e izquierda, de modo que con las partes derechas de los dos ojos vemos la derecha de los objetos y con las izquierdas, la porción izquierda. Parece ser que en efecto en algunas personas si se produce la parálisis en la parte derecha de una de las retinas, se paraliza también su idéntica de la izquierda, y viceversa, de modo que entonces las personas así afectadas, sólo ven la mitad derecha o izquierda de los objetos. Este defecto lo padecieron el mismo Wollaston y Arago. Lo que es indudable es que las impresiones en ambos ojos son simultáneas y se sobreponen para producir una impresión única: un solo hecho citaremos, entre muchos, que lo confirma: si se miran dos objetos iguales y pequeños por medio de dos tubos que se aplican respectivamente a cada, uno de ojos, no se ve más que uno solo, un poco más lejano y en el vértice del ángulo óptico.

Los estudios de Wheatstone sobre la visión, así unicular como biocular, han permitido dar explicación cumplida de estos hechos principalmente en lo que se refiere a la visión con los dos ojos. El ilustre físico inglés, explica la visión sencilla con los dos ojos, diciendo que referimos la percepción del objeto al vértice del ángulo óptico, de modo que cuando los rayos lumínicos, emitidos por un objeto, dada su distancia al ojo, no caen angulares sobre las dos retinas, sino paralelos, entonces se ven dos objetos o mejor dicho dos imágenes exactamente iguales. Trácese en un papel un punto negro o un pequeño círculo y acercando a él mucho los ojos, se ve que el objeto se duplica y hasta puede señalar con dos alfileres la

posición de los dos puntos; retirando luego la vista aparecerán los alfileres a igual distancia del punto negro. Las dos impresiones, pues en ambas retinas, producen una sola sensación referida, al vértice del ángulo óptico, originándose además el relieve: porque si bien con un solo ojo se aprecia el relieve quizás dependa de que ya nos son conocidos los objetos. Ello es lo cierto que tuertos cuando tienen que mirar un objeto algo lejano, no pudiendo apreciar directamente el relieve, cambian la cabeza continuamente de posición, sin casi darse cuenta de ello, buscando varias imágenes, en diversas perspectivas que sustituyan a las dos que son necesarias para juzgar del relieve; en cuyo movimiento rápido se pinta la segunda imagen en el único ojo que desaparezca la primera, de modo que llegan a sobreponerse.

Pero en la visión doble las imágenes que se pintan en ambas retinas no son iguales, porque la perspectiva para cada ojo es diferente, pues los dos ejes ópticos han de converger hacia el objeto. Compruébase mirando verticalmente una pirámide de base hexagonal de modo que el vértice caiga entre los dos ojos. Si se cierra el derecho, el izquierdo ve la pirámide deformada en sus caras de la derecha y otro tanto sucede con el derecho si se cierra el izquierdo, que aparecen recogidas las caras de la izquierda.

421. Estereoscopio. -Con este sencillo, pero precioso aparato, inventado por Wheatstone, se demuestra claramente la percepción del relieve, es decir de las tres dimensiones de los cuerpos. El estereoscopio (del griego stereos sólido y scopeo observar) es una caja de madera que uno de sus lados, lleva dos pequeños prismas o dos lentes a las cuales se aplican los ojos y en el extremo opuesto hay un vidrio deslustrado: en su interior, que está barnizado de negro, se halla un tabique vertical que separa los rayos de luz que van a caer sobre uno y otro ojo. La explicación teórica del aparato, la manifiesta la figura 247. Si dos dibujos A y B, que se suponen colocados en el fondo del estereoscopio y cerca del vidrio, iguales, pero de perspectiva diferente y en los cuales no aparece, como es natural, el relieve, se miran al través de las lentes, solo se ve uno en C con todo el relieve, como lo indica la marcha de la luz en nuestra figura.

En el primitivo estereoscopio y tal como lo dio a conocer Wheatstone, la sobreposición de las dos imágenes, se lograba por la reflexión de las mismas sobre dos espejos; pero Brewster, físico escocés, modificó este aparato en 1850, reemplazando los espejos, por lentes.

422. Oftalmoscopio. -Recibe este nombre un aparato destinado a examinar el interior del ojo. Se conocen varios, cuyo estudio no nos corresponde, a pesar de la gran importancia que tienen para los médicos, pues con ellos pueden inspeccionar el estado interior del ojo y conocer si hay en él alguna afección.

Capítulo VII

Refracción doble. Polarización. Manantiales de luz.

LECCIÓN 67. -Refracción doble. -Cristales de uno y dos ejes. -Causa de la doble refracción. -Interferencia. -Explicación de la interferencia. -Causa de los colores. Difracción. -Causa de la difracción. -Anillos coloreados de Newton. -Polarización. -Íd. por reflexión. -Íd. por refracción. -Polariscopos. -Polarización rotatoria. -Íd. cromática. - Manantiales de luz.

- I -

423. Refracción doble. -Ya sabemos lo que se entiende por refracción doble (359) la duplicidad que sufre un rayo de luz cuando atraviesa ciertos medios, por lo cual mirando a, través de ellos, vemos las imágenes duplicadas. Estos medios se llaman birrefringentes. Poseen la doble refracción todos los cuerpos diáfanos que cristalizan en cualquier sistema que no sea el cúbico: de modo que estos últimos y los que no cristalizan como el agua y el aire no son birrefringentes: sin embargo, los sólidos pueden adquirir esta propiedad por el temple y cuando se comprimen. Los líquidos y los gases nunca son birrefringentes.

Los cristales de refracción doble, no dan, sin embargo en todas sus direcciones dos imágenes; sino que tienen uno o dos planos en que la refracción es sencilla y por lo tanto no aparece más que una imagen, esas direcciones se llaman ejes ópticos o ejes de doble refracción; expresión esta última inexacta, pues en esos ejes es donde no hay la refracción doble.

424. Cristales de uno y dos ejes. -Los cristales pueden ser de uno o dos ejes, según que tengan una sola o dos direcciones en que no son birrefringentes. Entre los cristales de un eje más notables y más usados, están el espató de Islandia, el cuarzo y la turmalina. Las líneas respecto de las que son simétricas las caras de los cristales se llaman ejes de cristalización: hay uno principal y varios secundarios. El eje principal cristalográfico en el espató de Islandia es la recta que une los triedos formados por ángulos obtusos iguales. Bréwster ha encontrado respecto de los cristales de un eje la siguiente ley: el eje de doble refracción coincide siempre con el de cristalización.

Llamase sección principal en un cristal de un eje, el plano que pasando por el eje óptico, es perpendicular a una cara natural o artificial del cristal. Sea la sección principal de un romboedro de espató islándico A B (fig. 248) y un punto luminoso O que emite un rayo de luz; tan pronto como penetra en el cristal se duplica refractándose desigualmente y al llegar al ojo ve este en la dirección rectilínea dos imágenes en O' y O". De estos dos rayos, uno se llama rayo ordinario porque sigue las leyes de la refracción sencilla u ordinaria y el otro se denomina extraordinario porque sigue otras diferentes: y respectivamente imagen ordinaria y extraordinaria a la percibida por uno y otro rayo. Teniendo índices diferentes estos dos

rayos, pues en ciertos cristales es mayor el índice del rayo ordinario y en otros el del extraordinario, Fresnel llama cristales positivos aquellos en que es mayor el índice del rayo extraordinario y negativos a los que el mayor índice corresponde al ordinario. Son positivos el cuarzo y el hielo y negativos, más numerosos, el espato de Islandia, la turmalina, el rubí y otros.

425. Causa de la doble refracción. -El fenómeno de la doble refracción fue dado a conocer por Bartholin en 1647, pero hasta muchos años después no se dio de él una explicación concreta. Fresnel atribuye, la doble refracción a la desigual velocidad que adquieren las ondas del éter en el interior de los cuerpos birrefringentes por la disposición particular de sus moléculas: de donde resulta que la luz al atravesar el cristal y caminar con diferente rapidez, llega al ojo en dos direcciones y produce por lo mismo dos sensaciones distintas.

426. Interferencia. -Es la interferencia la acción mutua que ejercen entre sí dos rayos lumínicos, emitidos por un mismo foco, que se encuentran en el espacio bajo un ángulo muy agudo. Consiste el fenómeno, si se produce con la luz blanca, en la aparición de franjas alternativamente claras y oscuras, las claras con los colores del arco iris. Puede producirse la interferencia por refracción y por reflexión. Por refracción se manifiesta por la experiencia de Fresnel que consiste en colocar un prisma A B (fig. 249) de modo que reciba dos haces de luz, emitidos por el foco L' los cuales después de refractarse se encontrarán en el punto C desde donde se puede ver en la prolongación rectilínea de los rayos lumínicos dos imágenes virtuales en los puntos L' y L» y en el espacio angular r C s gran número de franjas paralelas a las aristas del prisma, alternativamente claras y oscuras. Si uno de los lados del prisma se cubre con una tela negra, el rayo de luz correspondiente desaparece por absorción y todo el espacio se presenta uniformemente iluminado, desapareciendo las franjas oscuras: esto ha hecho decir, con gran verdad, que luz más luz en ciertos casos, produce oscuridad.

427. Explicación de la interferencia. -La explicación de este fenómeno sólo es posible en la hipótesis de las vibraciones; pues en ella se admite que las moléculas del éter se hallan animadas de un movimiento rapidísimo de vaivén en el cual dos movimientos de ida y vuelta de la molécula etérea, constituyen la ondulación completa y uno sólo de los movimientos de ida o de vuelta una semiondulación: por lo mismo si la diferencia en los movimientos vibratorios de dos sistemas de ondas de igual longitud e intensidad es un número par de semiondulaciones, reunidos imprimirán al éter un movimiento en el mismo sentido, pero doble, y la intensidad de la luz aumenta; pero esa diferencia es un número impar de semiondulaciones, una molécula del éter de uno de los sistemas, verificará su

movimiento en un sentido y la correspondiente e inmediata del otro sistema, en sentido opuesto; por lo tanto, en su punto de encuentro, el éter recibiendo impulsos iguales y contrarios producen en él el equilibrio, es decir la falta de movimiento o la carencia de luz, la oscuridad.

428 Causa de los colores. -Apreciado exactamente el intervalo entre dos franjas inmediatas, ha podido Fresnel, por medio del cálculo, fijar la longitud de las ondas luminosas del éter, para los diferentes colores y determinar así la causa de estos que es el siguiente:

	Colores simples	Longitud media de las ondulaciones en millonésimas de milímetro
	Violado	423
	Índigo	441
	Azul	475
	Verde	512
	Amarillo	551
	Naranja	583
	Rojo	620

Ahora bien, siendo la velocidad de la luz (335) de 77.000 leguas o sean 308 millones de metros por segundo de tiempo, se puede conocer el número de ondulaciones que corresponde en un segundo a cada color, dividiendo los 308 millones por el número que representa la longitud de la onda de un color y así corresponden más de 496 billones al rayo rojo y más de 720 billones de ondulaciones por segundo, yo rojo y más al rayo violado.

429. Difracción. -Conócese con el nombre de difracción y también el de inflexión, el fenómeno que produce la luz cuando pasa rasando por los bordes delgados de un cuerpo opaco; la luz entonces parece que se dobla, penetrando parte de ella en la sombra y una porción de sombra aparece en el espacio iluminado. Si se hace pasar por una lente convergente colocada en el orificio de una cámara oscura un haz de luz blanca y se recibe sobre una pantalla de borde delgado de modo que intercepte una parte de la luz y la otra se proyecte sobre un plano, se verá que dentro de la sombra de la pantalla aparecen fajas o bandas claras y en la porción clara bandas también alternativamente claras y oscuras, las primeras con los colores del iris. Si la experiencia se hace con luz de un color el fenómeno se presenta lo mismo, pero las bandas claras o brillantes son del mismo color que el haz luminoso. Otro tanto sucede cuando la luz atraviesa por pequeñas aberturas.

430 Causa de la difracción. -El primero que dio a conocer en 1663 el fenómeno de la difracción fue el P. Grimaldi, de Bolonia, pero sin llegar a explicarlo. En el día se admite que la difracción es un efecto de interferencia, y para estudiar todos sus fenómenos, hay un aparato llamado banco de difracción, cuyo conocimiento y detalles no pertenecen a estos estudios.

431. Anillos coloreados de Newton. -Todos los cuerpos reducidos a láminas muy delgadas y vistos por reflexión o refracción, presentan diversidad de colores. Las burbujas de agua de jabón, la gota de aceite extendida sobre el agua, el nácar, el yeso y otros muchos presentan esta particularidad que fue estudiada por primera vez por Newton. Un sencillo aparato que lleva el nombre del ilustre físico, produce claramente este fenómeno. Sobre un vidrio plano, se pone otro ligeramente convexo, ambos bien limpios y secos y colocados entre dos anillos de hierro con tres tornillos, para comprimirlos más o menos. Si en este estado se los mira por reflexión, se verá que en el punto de contacto aparece un punto negro, rodeado de anillos coloreados con los del arco iris y si se mira por refracción entonces el centro es blanco y los colores de los anillos están invertidos respecto a los que aparecen por reflexión.

Esta coloración es un efecto de interferencia y por lo mismo depende de velocidades diferentes que la luz toma al reflejarse o refractarse en el interior de las láminas.

- II -

432. Polarización. -Es una modificación que experimenta la luz, por la que una vez reflejada o refractada, bajo ciertas condiciones, no puede volver a reflejarse o refractarse de nuevo. La condición esencial, por la cual la luz se polariza es el ángulo de polarización, es decir, el formado por el rayo incidente con la superficie plana para que se verifique la polarización; y cuando ésta es completa, el ángulo que la produce se llama de polarización perfecta. Todos los cuerpos pueden polarizar la luz por reflexión, pero no en el mismo grado: el mármol negro la polariza por completo bajo determinado ángulo; para el vidrio ese ángulo es de 35° , $25'$. La polarización puede verificarse por reflexión o por refracción. En la primera se llama plano de polarización, el plano de reflexión en que se polariza la luz.

433. Polarización por reflexión. -Si sobre un espejo A B (fig. 250) de vidrio, inclinado bajo el ángulo de polarización incide un rayo de luz L, al intentar reflejarse sale polarizado y por lo mismo ya no puede reflejarse en el segundo espejo C D, que tiene la misma inclinación.

434. Polarización por refracción. -Puede ser por refracción simple o por refracción doble. En el primer caso si un rayo de luz incide sobre una lámina de vidrio, bajo el ángulo de polarización, en parte se refleja y en parte al atravesar la lámina se polariza en un plano perpendicular al de reflexión. Una sola lámina no polariza la luz por completo, pero sí varias reunidas constituyendo lo que se llama pila de cristales. La polarización por doble refracción se verifica cuando la luz atraviesa los medios birrefringentes como el espató de Islandia, en cuyo caso los dos rayos se polarizan pero en distintos planos, que son casi perpendiculares entre sí. Se demuestra mirando al través de un romboedro de espató islándico un punto negro, que dará las dos imágenes, pero si se interpone una lámina de turmalina, haciéndola girar en su mismo plano, se observa que durante el movimiento circular completo, cada imagen desaparece y vuelve aparecer dos veces.

435. Polariscopos. -Con este nombre y el de analizadores se conocen unos aparatos que sirven para apreciar si la luz está, polarizada y cuál es su plano de polarización. Los hay de varias clases, como la turmalina, el prisma birrefringente, el de Nicol y el aparato de Noremburg. El más sencillo es una hoja de turmalina parda, tallada: perpendicularmente al eje de cristalización, que permite el paso de la luz natural, pero no de la polarizada, si el plano de polarización es paralelo al eje; de no ser así también deja pasar la luz polarizada. Mirando con la placa de turmalina el rayo lumínico que se va a observar, se la hace girar lentamente, y si en todas las posiciones la luz presenta la misma intensidad, no está polarizada, pero sí aumenta o disminuye la brillantez, la luz está polarizada.

436. Polarización rotatoria. -Si un rayo de luz polarizada atraviesa por una lámina de cuarzo tallada perpendicularmente al eje de cristalización continúa polarizada, pero no en el mismo plano, sino desviándose el nuevo plano, unas veces hacia la izquierda del primitivo y otras hacia la derecha, debiendo por lo tanto para observar el fenómeno hacer girar a la sustancia: esta polarización se llama rotatoria. Las sustancias que giran hacia la izquierda para polarizar la luz se llaman levogiras como la esencia de trementina y la goma arábica y las que lo verifican hacia la derecha destrogiras como el azúcar de caña disuelto en el agua. No es pues sólo el cuarzo el que posee la polarización rotatoria o circular, sino también muchas sustancias disueltas en los líquidos que por esta razón se llaman activos, y cuya propiedad se ha utilizado para analizar los líquidos azucarados con los aparatos llamados sacarímetros, como la cantidad de azúcar que contiene la orina en la enfermedad llamada diabetes sacarina.

437. Polarización cromática. -Si la luz polarizada atraviesa por medios birrefringentes presenta el fenómeno de los anillos o bandas coloreadas y oscuras; este efecto se llama polarización cromática.

El aparato para estudiar este fenómeno se denomina pinzas de turmalina, formadas de dos plaquitas de turmalina talladas paralelamente al eje y colocadas en los extremos de un alambre de cobre plateado en forma de pinza (fig. 251). Si el cristal cuya polarización se quiere examinar es de un eje, como el espato de Islandia, colocado entre la dos turmalinas, y mirando al través de ellas la luz del cielo, se percibirán brillantes anillos coloreados con una cruz negra en el centro si los ejes de las turmalinas son perpendiculares, (fig. 252) y si son paralelos, los anillos tienen colores complementarios de los anteriores con una cruz blanca (fig. 253). En los cristales de dos ejes, se producen otros anillos de forma diferente y más complicados.

438. Manantiales de luz. -Como el calor, la esencia de la luz nos es desconocida, por más que producido el primer impulso que la origina podamos ya explicar sus fenómenos. En cambio conocemos sus manantiales u orígenes que son:

A. El sol y las estrellas. -La causa de su luz no es desconocida, si bien muchos físicos la atribuyen a una materia gaseosa inflamada que rodea el astro, porque su luz como la de los gases inflamados no da polarización alguna.

B. El calor. -Cuando los cuerpos se calientan hasta la temperatura de 500 a 600° se hacen luminosos, aumentando desde este punto, la intensidad lumínica con la temperatura.

C. La electricidad. -Foco intenso de luz como veremos.

D. Las acciones químicas, -y muy principalmente la combustión.

E. La fosforescencia. -Propiedad que presentan algunos cuerpos de hacerse luminosos en la oscuridad. Ciertos animales, como el gusano de luz y algunos zoófitos de los mares intertropicales, la poseen naturalmente; en determinados cuerpos es necesario elevar su temperatura para que puestos en la oscuridad produzcan luz como el espato flúor; en otros se desarrolla por una acción mecánica como la exfoliación que hace luminosa la mica; por la insolación del sol, como en el fósforo de Bolonia (sulfuro de bario) etc.

Libro sexto

Magnetismo

Capítulo I

Generalidades sobre los imanes. -magnetismo terrestre.

LECCIÓN 68. Magnetismo. -Imanes naturales y artificiales. -Elementos de todo imán. -Acción mutua de los polos. -Ley de las atracciones y repulsiones magnéticas. -Hipótesis acerca de los fluidos magnéticos. -Imantación por influencia. -Fuerza coercitiva. -Rotura de los imanes. -Acción de los imanes sobre los cuerpos. Diamagnetismo.

439. Magnetismo. -Hasta hace poco tiempo se consideró el Magnetismo como un fluido particular causa de todos los fenómenos llamados magnéticos o producidos por los imanes. En el día se admite que el magnetismo no es más que una manera especial de determinados efectos eléctricos, conservándose sin embargo esta denominación para expresar todo lo relativo a los fenómenos de los imanes y su teoría física. La palabra magnetismo viene del griego magnes que significa piedra imán, por que en la villa de Magnesia, en la Lydia, se dice que fue donde se encontró por primera vez.

440. Imanes naturales y artificiales. -Llámanse imanes los cuerpos que tienen la propiedad de atraer el hierro y a otros metales como el níquel, cromo, cobalto y manganeso, obrando también sobre algunos por repulsión. Pueden ser naturales y artificiales. Llámanse imán natural o piedra imán el que se halla en las minas de hierro y artificiales los trozos de hierro dulce o de acero en los cuales se desarrolla la propiedad magnética por diversos procedimientos. En general estos imanes tienen la forma de barras, de agujas o de herradura y son los únicos que se usan en Física, porque su acción magnética es mucho mayor que en los naturales. Los efectos magnéticos se extienden a todas las distancias y a través de todos los cuerpos: si se coloca una aguja imantada móvil sobre un eje, sobre una mesa y por la parte inferior y opuesta de la tabla se pasa un imán, la aguja se mueve siguiendo al imán en sus direcciones.

441. Polos y línea media. -En todo imán natural o artificial existen tres elementos principales, dos polos y una línea media o neutra. Llámanse polos los extremos del imán donde reside la mayor fuerza magnética y línea neutra la parte media de la superficie del imán que no ejerce, acción magnética ninguna. A veces poseen las barras o agujas imantadas unos polos intermedios entre los extremos y la línea media que se han denominado puntos consecuentes. Pónese de manifiesto la existencia de los polos colocando encima de limaduras de hierro extendidas sobre un papel una barra imantada y retirándola al poco tiempo, se verá que se han adherido a sus extremos penachos de limaduras, que van decreciendo hacia la parte media donde es nula la adherencia (fig. 254).

Los polos de un imán se designan respectivamente con los nombres de polo norte o boreal y polo sud o austral; nombres tomados de los polos geográficos de la tierra por la acción que, como veremos, ejerce esta sobre las agujas magnéticas. Para distinguir desde

luego en las barras los dos polos, se señalan en sus extremos respectivamente las letras N y S, y en las agujas más o menos finas, su mitad correspondiente al polo austral de la aguja o norte de la tierra, está empavonada de azul y la otra mitad con el color propio del acero.

442. Acción mutua de los polos. -Aún cuando los dos polos magnéticos parecen en un todo semejantes, ejercen entre sí acciones muy diferentes, pues cada uno de ellos obra por repulsión sobre sí mismo y por atracción sobre el de nombre contrario. En efecto, si se suspende una aguja imantada por su centro de un hilo fino o se la apoya sobre una punta de acero de modo que pueda girar (fig. 255) y se aproxima a ella otra aguja o una barra, se verá que cuando el polo boreal o norte n de la barra se halla próximo al S de la aguja, hay atracción y por el contrario si volviendo la barra se presenta el austral o S de ésta, al austral S de la aguja, hay repulsión y viceversa entre el S de la aguja y el n de la barra. De aquí la ley sencilla relativa a esas acciones que dice: los polos del mismo nombre se repelen y los de nombre contrario se atraen.

443. Ley de las atracciones y repulsiones magnéticas. -Coulomb fue el primero que demostró la ley: las atracciones y repulsiones magnéticas están en razón inversa del cuadrado de la distancia. Dos procedimientos siguió para conseguirlo que exigen mucho tiempo y por grande que sea el esmero con que se proceda, siempre resultan errores más o menos grandes. De uno de esos métodos, el de la balanza de torsión, que también se emplea, con las consiguientes modificaciones, para demostrar la misma ley en las atracciones y repulsiones eléctricas, hablaremos al ocuparnos de estos últimos fenómenos.

444. Hipótesis acerca de los fluidos magnéticos. -La naturaleza del magnetismo nos es desconocida; pero sus fenómenos ya hemos dicho que no son más que modificaciones eléctricas; sin embargo por su sencillez para explicar los fenómenos magnéticos aún continúan los físicos admitiendo la hipótesis de los dos fluidos, si bien los hechos todos confirman la naturaleza eléctrica de estos fenómenos y por consecuencia la teoría de Ampere sobre el magnetismo.

Dícese en aquella, hipótesis que todas las sustancias en que puede desarrollarse el magnetismo, tienen este en estado natural o neutro formado por dos fluidos que se hallan combinados o neutralizados al rededor de cada molécula y por lo tanto no dan señales de acción magnética ninguna, pero cuando por el frotamiento con otro imán o por otra causa, se rompe el equilibrio de los dos fluidos, entonces se orientan o separan y repeliéndose cada uno a sí mismo, se van alejando hasta situarse en los extremos del cuerpo, constituyendo los polos.

445. Imantación por influencia. -Llámase así el estado magnético que adquiere el hierro y otros cuerpos cuando se hallan en presencia de un imán y dentro de la esfera de acción de éste y también se considera imantación por influencia la que se desarrolla en el mismo cuerpo por su contacto con un imán. Tal sucede cuando al polo de un imán se aproxima un trozo de hierro dulce, que inmediatamente es atraído y si el imán es fuerte o pequeño el pedazo de hierro, persiste en contacto con el polo del imán. La causa de este fenómeno no tiene explicación plausible en la hipótesis de los dos fluidos magnéticos que acabamos de indicar y sólo admitiendo la hipótesis de vibraciones magnéticas o eléctricas del éter es como puede comprenderse. Una vez imantado el trozo de hierro y convertido en un imán con sus dos polos y línea media, puede a su vez imantar a otro y éste a otro, y así sucesivamente adherirse al primero otros varios.

446. Fuerza coercitiva. -Es una fuerza que se supone existe, en las sustancias magnéticas que se opone a que los dos fluidos se separen, pero que una vez separados, hace, que no se recompongan. Esta fuerza es débil en el hierro y por eso se imanta con gran facilidad, pero con la misma pierde su magnetismo; en cambio es muy enérgica en el acero, aumentando con el mayor temple. Por eso en la experiencia anterior si se separa el primer trozo de hierro del polo del imán, todos los demás lo verifican lo mismo, desapareciendo en el acto o a los pocos momentos su magnetismo.

447. Rotura de los imanes. -Parece a primera vista que si se rompe un imán por la línea media, cada parte debe llevar el correspondiente fluido magnético, y sin embargo no sucede así, pues cada uno de los trozos se convierte en un verdadero imán con sus dos polos y su línea media; y si del mismo modo se rompe uno de estos trozos, cada parte de él queda convertido en otro imán y así sucesivamente. Demuéstrase con una aguja fina y larga de acero que se ha imantado por medio de fricciones con el polo de un fuerte imán; si se rompe por la línea media con unos alicates, se podrá comprobar, aproximando uno de los pedazos a una aguja imantada móvil, que tiene los dos polos y en consecuencia por un extremo produce atracción y por el otro repulsión.

448. Acción de los imanes sobre todos los cuerpos. -Diamagnetismo. -Hemos dicho (440) que los efectos magnéticos se extienden a todas las sustancias, y en efecto, ya a principios de este siglo, Coulomb había observado que los imanes obran sobre todos los cuerpos, aunque con diferente energía y lo comprobó observando las oscilaciones de atracción y repulsión que producen barritas de diferentes sustancias suspendidas de un hilo

fino y colocadas entre los polos opuestos de dos imanes poderosos. Hubo duda sin embargo si estos efectos serían debidos a cortísimas cantidades de sustancias ferruginosas que pudieran tener los cuerpos sometidos a las experiencias, pero Lebaillif y sobre todo los Sres. Becquerel padre e hijo demostraron concluyentemente que los imanes ejercen acción sobre todos los cuerpos, cuya acción unas veces es atractiva y otras repulsiva; denominando sustancias magnéticas o paramagnéticas a las que son atraídas (el hierro, el acero) y diamagnéticas a las que son repelidas (plomo, azufre etc.) más tarde Faraday, el año de 1847, comprobó que los imanes de muy grande energía, ejercen asimismo acción sobre los líquidos y los gases y aún en las llamas o en los gases que en ellas arden: y Edmundo Becquerel demostró que de todos los gases el oxígeno tiene una gran acción magnética, pues un metro cúbico de este gas condensado, sería capaz de obrar sobre la aguja imantada como 5, gr. 5 de hierro.

Entre las diversas explicaciones que se han dado de este fenómeno, la de Becquerel dice que no hay dos clases de acciones entre los cuerpos y los imanes, sino que las sustancias diamagnéticas, si son repelidas, es porque se hallan envueltas por un medio más magnético que ellas.

LECCIÓN 69. -Magnetismo terrestre. -Par magnético. Declinación. -Variaciones de la declinación. -Brújula de declinación. -Íd. marina. -Inclinación. -Brújula de inclinación.

449. Magnetismo terrestre. -Toda aguja imantada apoyada sobre una punta o suspendida de un hilo de modo que pueda girar fácilmente, se sitúa siempre en una dirección constante, que es próximamente la de Norte o Sud, en el meridiano geográfico de la tierra: de modo que si se saca de su posición de equilibrio y se la abandona a sí misma, después de varias oscilaciones, se detiene constantemente en la citada dirección de N. a S. Es evidente que la tierra ejerce una acción determinada, pero no es ni atractiva ni repulsiva para toda la aguja, sino de atracción sobre uno de sus extremos o polos y de repulsión sobre el otro lo que ha de dar necesariamente un estado de equilibrio, en el que la aguja suspendida del hilo, ni avanza hacia el Norte, ni hacia el Sud. Esta acción pues que la tierra ejerce sobre la aguja imantada es puramente directriz. Para explicarla se ha comparado la tierra a un grande imán, cuyos polos magnéticos están próximamente cerca de los geográficos y la línea neutra en el ecuador. ¿Cuál es la causa del magnetismo terrestre? Son varias las que contribuyen a su desarrollo que se relacionan o mejor, tienen su origen en efectos eléctricos, como veremos más adelante.

450. Par magnético. -La influencia, magnética directriz de la tierra es resultado de la acción de dos fuerzas iguales contrarias y paralelas y por consecuencia de un par de fuerzas. En efecto, sea la aguja imantada n s (fig. 256) que haremos se coloque en la dirección Este a Oeste: en este estado se halla solicitada por dos fuerzas, que dada la pequeñez de la aguja y su distancia a los polos de la tierra, pueden considerarse como

paralelas: la del polo magnético Sud de la tierra, obra por atracción sobre el polo n, Norte de la aguja, en la dirección n m y por repulsión sobre el polo s, o Sud, hacia s r: de la misma manera, el polo magnético Norte de la tierra, obra atrayendo el fluido s, Sud de la aguja, en la dirección s r y repeliendo el n o Norte; estas dos fuerzas n m y s r, son un par de fuerzas, que imprimen a la aguja un movimiento de rotación, hasta colocarla en la posición s' n', es decir de Norte a Sud de la tierra.

451. Meridiano magnético. Declinación. -Se entiende por meridiano geográfico o astronómico de un lugar cualquiera de la tierra, el círculo máximo que pasando por el cenit de dicho lugar, pasa por los polos del mundo y cuya intersección con la superficie del globo forma la meridiana, que indica la hora de las doce o el mediodía cuando el sol la atraviesa de Este a Oeste; pues por analogía se llama meridiano magnético de un lugar, el plano vertical que pasa por el cenit de aquél y por los polos de una aguja imantada en equilibrio y por lo mismo por los polos magnéticos de la tierra. Como estos no coinciden con los geográficos, tampoco pueden coincidir los dos meridianos, sino que forman entre sí un ángulo, cuyo vértice corresponde al cenit del lugar donde se halla la aguja; ángulo formado por la meridiana N S (fig. 257) y la aguja imantada a n: este ángulo se llama de declinación y puede ser oriental u occidental. Llamase oriental cuando el polo austral de la aguja se dirige hacia el E o el oriente y occidental cuando hacia el O o el occidente, como en nuestra figura.

452. Variaciones de la declinación. -La declinación de la aguja varía en los diversos puntos de la tierra y aún para un mismo lugar, por diferentes causas: estas variaciones son seculares, anuales, diurnas y accidentales.

A. Variaciones seculares. -Se llaman así porque se verifican en el trascurso de los siglos. Cristóbal Colón fue el primero que observó estas variaciones, pues en su época (año 1492) la declinación era en España oriental, la cual fue disminuyendo hasta hacerse nula (1664) es decir hasta, confundirse la dirección de la aguja con la meridiana y no formar por consecuencia ángulo alguno; sucesivamente pasó a ser occidental (1740), luego otra vez nula, más tarde oriental y últimamente occidental, como lo es en la actualidad en Europa y África y oriental en Asia y en América. Si se reúnen por medio de trazos todos los puntos de la tierra en que la declinación sea la misma, resultan líneas irregulares llamadas isógonas (del griego isos igual y gonos ángulo), las cuales concurren hacia dos puntos, en ambos hemisferios, situados cerca de los geográficos y constituyen los polos magnéticos. El norte se halla en la América septentrional, cerca de la isla de Melville, hacia los 74° latitud y el sud en la Oceanía, en una isla, a los 79° de latitud. Algunos físicos admiten cuatro polos magnéticos. Respecto al meridiano magnético sin declinación, pasa por los límites orientales de la Rusia europea, la Siberia y el Japón, desde cuyos puntos la declinación es occidental hacia el occidente y oriental, hacia el Asia; y en el mar de las Antillas terminan

las declinaciones occidentales y es nula la declinación para volver a presentarse en diversos puntos.

B. Variaciones anuales. -No están bien determinadas ni al parecer son constantes, dependiendo de la situación del sol en las diversas épocas del año, dirigiéndose la aguja lentamente hacia el Este durante la Primavera y hacia el Oeste en los otros nueve meses. La máxima declinación que por esta causa toma la aguja no pasa de 20° .

C. Variaciones diurnas. -Se verifican todos los días y parece dependen de la presencia del sol sobre el horizonte; pues el polo norte de la aguja todos los días, apenas sale el sol, se dirige hacia el oeste, hasta dos o tres horas después de haber pasado por el meridiano, desde cuyo momento empieza a retroceder hasta llegar a su posición anterior a las diez de la noche: durante este periodo la aguja no sufre variaciones. Estas oscilaciones son también muy pequeñas, no pasando a veces de 5° y llegando hasta 25° . Sólo pueden observarse con agujas largas y finas o instrumentos delicados.

D. Variaciones accidentales. -También se llaman perturbaciones, por que sólo ocurren por algún accidente o causa especial, como las auroras polares las tempestades eléctricas, las erupciones volcánicas y los terremotos. El más notable es el efecto que causan las auroras, que dejan sentir su influencia sobre la aguja, a veces a grandes distancias. Asimismo estas variaciones son poco sensibles, no pasando lo más de 20° .

453. Brújula de declinación. -Aparato que sirve para medir la declinación magnética de un lugar cualquiera de la tierra; cosa fácil cuando se conoce el meridiano astronómico de dicho lugar.

Consiste el aparato (fig. 258) en una caja de cobre A B, en cuyo fondo lleva un círculo, graduado sobre el cual puede correr una aguja imantada fina y prolongada. En dos lados opuestos del círculo hay dos pies que sostienen un eje que puede inclinarse más o menos, cuya inclinación se mide por el arco graduado a. Este anteojo que se halla en el mismo plano que la línea N S trazada en el círculo de la caja, puede girar con ésta sobre otro círculo exterior graduado m, midiéndose el número de grados que ha corrido por medio del nonius n. Toda vez conocido el meridiano astronómico se pone la brújula perfectamente horizontal por medio de los tornillos de los pies y el nivel p, y se hace girar la caja hasta que el anteojo se encuentre en el plano del meridiano astronómico, se mira entonces el ángulo que forma la aguja imantada con la línea N S que coincidirá como el anteojo en el meridiano geográfico y el número de grados representa la declinación. De no ser conocido el meridiano astronómico del lugar, se puede determinar con el mismo aparato, haciendo uso del anteojo y del círculo exterior llamado azimutal, observando un astro antes y después de su paso por el meridiano con las reglas que da la Cosmografía. Si la aguja, como sucede con alguna frecuencia, no está imantada con regularidad, es decir, si el eje magnético o línea que pasa por los polos no coincide con el eje de figura, entonces el resultado de la observación que acabamos de indicar no es exacto; pero se logra que lo sea por el método llamado de inversión, es decir, invirtiendo la aguja, de modo que su cara

inferior se convierta en superior; haciendo entonces una nueva observación, si el ángulo obtenido ahora es igual al anterior, la declinación es exacta; pero si se obtuvieran ángulos diferentes, se toma el término medio del valor de los dos hallados en una y otra observación y se tendrá la declinación verdadera.

Este instrumento ha recibido importantes aplicaciones con el nombre de brújula, en todos aquellos casos en que es preciso determinar la situación de los puntos cardinales de la tierra; para precisar la posición de los edificios con relación a un punto del horizonte, la dirección de los filones metálicos, en el levantamiento de planos y mapas y sobre todo, con el nombre de brújula marina o aguja de marear para la derrota de los buques en la navegación de altura.

454. Brújula marina. -Llamada también compás de variación, y compás de mar, la brújula de declinación que por señalar dos puntos constantes, próximamente, los norte y sud de la tierra, se usa por los marinos para señalar la situación y dirección de las naves. Antes del descubrimiento de la brújula marina la navegación se hacía guiándose por el sol o la estrella polar, por lo cual procuraban apartarse poco de las costas para no perder el rumbo en los días o noches cubiertas; esta navegación, como la que hoy se hace por cerca de los cabos, se llama de cabotaje y cuando auxiliados por la brújula y la altura de los astros navegan en medio de los mares, se denomina navegación de altura. Consiste la brújula marina (fig. 259) en una caja cilíndrica de cobre o latón sostenida por dos ejes con suspensión de Cardan, ya explicada al hablar del barómetro a fin de que se mantenga en posición horizontal, cualquiera que sean los movimientos de la nave; en el fondo y centro de la caja está una punta donde se apoya la aguja magnética que va pegada a un disco de cartón o de talco en el cual está trazada una estrella o rosa náutica de 32 radios que representan los 32 vientos, llamados rumbos, semirumbos y cuartos; el radio que corresponde al polo norte lleva una flor de lis o una ancla u otra figura y señala el norte magnético y por consecuencia en su posición de equilibrio señala la aguja el meridiano magnético. Exige además el uso de la brújula hacer ciertas correcciones y observaciones astronómicas para fijar exactamente la posición y derrotero del buque. La brújula va colocada a popa del buque y cuando éste es de vapor o lleva por blindaje planchas de hierro, como este metal ejerce acción sobre la aguja, se coloca otra brújula en la parte media del buque, es decir, a igual distancia de los puntos de influencia y en sitio algo elevado, encima generalmente de una columna de madera.

En principio el manejo de la brújula se hace del modo siguiente: reconocido en la carta marina el derrotero o el camino que ha de seguir el buque para dirigirse a un punto dado, se hace girar la caña del timón hasta que el rumbo que ha de llevar la nave señalado en la rosa náutica, coincida con una línea llamada de fe a trazada en la caja de la brújula en el mismo sentido del eje de la quilla: si pues la línea de fe forma con la aguja un ángulo de 40 grados, para una dirección dada, no debe el buque apartarse mucho de ese ángulo, pues sino el rumbo deriva.

No se sabe a punto fijo quién fue el primero que hizo aplicación de la aguja imantada a la navegación.

455. Brújula de inclinación. -Con el nombre de inclinación magnética se conoce el ángulo que forma la aguja con el horizonte cuando el plano vertical en que se halla la aguja coincide con el meridiano, magnético. De aquí se deduce que puesta la aguja en un eje horizontal, que pase por el centro de figura, no permanece en la perpendicular, sino que su polo austral, en nuestro hemisferio, se inclina hacia el norte de la tierra y al contrario en el hemisferio austral que se inclina al boreal de la aguja. Otro tanto se observa si la aguja se halla en posición horizontal, pues la horizontalidad no es perfecta, sino que la aguja se halla algo inclinada o buza hacia el polo boreal de la tierra. La inclinación varía en los diferentes puntos del globo, existiendo lugares en el ecuador y cerca de él, donde la inclinación es nula, es decir, que la aguja coincide con la vertical, lo que constituye el ecuador magnético o línea acclínica. Unidos entre sí los puntos donde la inclinación es la misma, constituyen las líneas isoclinas (de isos igual y clinoos inclinación.) El ecuador magnético corta al terrestre en dos puntos opuestos, uno en el grande Occéano y, otro en el Atlántico. La inclinación magnética se aprecia por medio de la brújula de inclinación (fig. 260) formada por una aguja colocada en el centro de un círculo vertical C graduado, sostenido entre dos columnas que se apoyan en una plancha P, donde se halla un nivel n; debajo de ésta se halla otro círculo horizontal graduado m. Para apreciar la inclinación, se halla primeramente el meridiano magnético, para lo que se hace girar la plancha y con ella el círculo superior hasta que la aguja quede en posición vertical, en cuyo caso es perpendicular al referido meridiano; si ahora la plancha P gira 90° queda el plano del círculo vertical C en el meridiano magnético y leyendo el número de grados del ángulo, a d b que la aguja forma con el diámetro horizontal, ese es el de inclinación.

Capítulo II

Métodos de imantación

LECCIÓN 70. Manantiales de imantación. -Método de la fricción. -Saturación magnética. -Imantación por la tierra. -Agujas astáticas. -Armaduras de los imanes.

456. Manantiales de imantación. -Tres son los manantiales de imantación; la acción de la electricidad, la influencia de la tierra y la de fuertes imanes. Del primero se hablará más adelante. En el procedimiento de imantación por los imanes, se pueden seguir tres métodos, el de simple contacto, el de contacto separado y el de doble con tacto.

A. Método del simple contacto. -Redúcese este método a producir fricciones con uno de los polos de un fuerte imán desde un extremo a otro de la barra y por ambas caras, siempre en el mismo sentido. El extremo de la barra en que termina la fricción, adquiere un

polo magnético contrario al del imán con que se frota. Este procedimiento da una imantación débil y suele presentar la barra, así imantada, puntos consecuentes (441).

B. Método del contacto separado. -Este método fue ideado por Knight en Inglaterra el año de 1745 y perfeccionado más tarde por Duhamel. Tal como se usa hoy, consiste en colocar la aguja o barra que se quiere imantar sobre los polos opuestos de dos imanes dispuestos sobre una mesa y producir fricciones con otros dos imanes con sus polos también contrarios y que puestos sobre el centro de la barra formen un ángulo de unos 20° . Se les hace resbalar a lo largo de la barra dirigiendo cada uno hacia un extremo, se levantan, se vuelven a poner en el centro y se repite la fricción y así sucesivamente durante algún tiempo, sobre una y otra cara de la barra. La imantación por este medio es uniforme y de bastante fuerza.

C. Método del doble contacto. -Debido a Mitchell, pero perfeccionado por Æpinus consiste en colocar también la barra sobre los polos contrarios de dos imanes y producir las fricciones con otros dos inclinados unos 16° y separados sus polos opuestos por una pequeña piececita de madera, haciéndolos resbalar juntos desde el centro a uno de los extremos, desde éste al centro y al otro extremo y así sucesivamente. Por este medio se obtiene una fuerte imantación, pero muchas veces con puntos consecuentes.

457. Saturación magnética. -Sea cual fuere el procedimiento que se emplee, la imantación que adquieren las barras tiene un límite que depende de varias causas; entre otras del temple del acero que forma la barra y de la energía de los imanes que producen las fricciones, ese límite constituye la saturación magnética de la barra; desde cuyo punto, aunque se le frote de nuevo con imanes más poderosos que los que sirvieron para imantarla, no adquiere más magnetismo. Cuando un imán está, saturado, su fuerza es proporcional a la raíz cúbica, del cuadrado de su peso.

458. Imantación de la tierra. -Puesto que la tierra es un imán, naturalmente ha de ejercer influencia sobre el hierro y el acero, muy particularmente sobre el primero, cuya fuerza coercitiva es débil, y por lo mismo se imanta fácilmente, aunque con la misma facilidad pierde el magnetismo. No obstante, si una barra de hierro dulce colocada en el meridiano magnético, paralela a la inclinación se la somete a la acción del martillo, se imanta por la influencia de la tierra y conserva durante algún tiempo el magnetismo. Esta acción magnética terrestre obrando de un modo continuo, es causa de la imantación que adquieren muchos objetos de hierro y acero, que por largos años han estado expuestos a la influencia de la tierra en la dirección de su meridiano magnético.

459. Agujas astáticas. -No siempre conviene que las agujas imantadas experimenten la influencia magnética de la tierra, por lo cual se disponen un modo astático. Llámense, pues agujas astáticas, las que sobre ellas no ejerce acción el magnetismo terrestre. Se forman con dos agujas de igual intensidad magnética unidas paralelamente a corta distancia con los polos opuestos en frente (fig. 261). En esta disposición el fluido magnético norte de la aguja, superior neutraliza el sud de la inferior y la influencia respectivamente de los polos boreal y austral de la tierra, no ejercen acción sobre los extremos de las agujas, cuyo magnetismo se halla equilibrado; de manera que en cualquier posición que se las coloque en ella permanecen, mas si pueden obrar sobre estas agujas, las corrientes eléctricas y la influencia de fuertes imanes. Ya veremos aplicaciones importantes del sistema astático.

460. Armaduras de los imanes. -Son las armaduras de los imanes, unas piezas de hierro dulce que se aplican a los polos para conservar su magnetismo y hasta aumentarle. En el imán natural o piedra imán, la armadura más sencilla consiste en recubrirle con limaduras de hierro; pero si además se quiere conocer si la fuerza del imán disminuye con el tiempo, ya por la acción de la tierra por no hallarse en el plano del meridiano magnético, ya por la influencia de las sustancias magnéticas, entonces se coloca la piedra imán entre dos láminas de hierro dulce más o menos gruesas según el peso del imán que terminan en su parte inferior en dos toques y unidas por dos travesaños también de hierro: a los toques se aplica un prisma de hierro dulce que termina en gancho del cual se suspende un platillo o vaso de metal en el que se colocan pesos hasta que no resistiendo más, se desprende el prisma llamado portapesos; entonces se quita el último peso que determinó la separación y se vuelve a unir el prisma a los polos. De esta manera imantándose por influencia los trozos de hierro dulce, obran sus polos sobre los contrarios del imán y retiene su fluido magnético.

Los imanes artificiales pueden tener la forma de herradura o de barras. En el primer caso, (fig. 262) reunidas varias barras formando un haz magnético, de modo que las centrales sean un poco mayores que las exteriores se aplica también el portapesos que sostiene un vaso con pesos que suelen ser perdigón o balas de plomo. Si son barras y no forman haz, se disponen paralelas (fig. 263) con sus polos contrarios enfrente y a ellos se aplican dos prismas de hierro dulce, que imantándose por influencia, cierran el circuito y retienen el magnetismo de las barras. En este estado se colocan en una caja de madera del mismo tamaño que las barras armadas.

En cuanto a las agujas que se hallan suspendidas o apoyadas sobre un eje, como giran y se colocan siempre en el plano del meridiano magnético, los polos de la tierra hacen de armaduras y el magnetismo se conserva.

Libro sétimo

Electricidad

Título I

Electricidad estática

Capítulo I

Generalidades e hipótesis acerca de la electricidad

LECCIÓN 71. Electricidad. -Hipótesis acerca de la electricidad. -Electricidad estática y dinámica. -Medios de desarrollarla. -Electricidad por frotamiento. -Péndulo eléctrico. -Conductibilidad eléctrica. -Cuerpos aisladores. -Acción mutua de los cuerpos electrizados.

461. Electricidad. -Es el agente más enérgico en su modo de obrar sobre los cuerpos y se manifiesta por atracciones y repulsiones, por fenómenos de calor y de luz de una intensidad extraordinaria y por conmociones violentas en los seres dotados de sensibilidad. Limitados eran los conocimientos de los antiguos acerca de este agente; sólo sospecharon su existencia al frotar un trozo de succino o ámbar amarillo, a quien los griegos llamaban electron, por lo que, al fluido articular desarrollado en el ámbar se le dio el nombre de electricidad o fluido eléctrico. Tal fue lo que observó en la antigüedad el filósofo y físico, Thales el escaso conocimiento que en su época se tenía del fluido eléctrico. Y lo mismo sucedió en tiempos posteriores hasta que a fines del siglo XVI Gilbert hizo variadas experiencias sobre las propiedades atractivas del ámbar y de otras sustancias, haciendo con esto que se fijase la atención de los físicos; y en efecto, desde entonces esta rama de la ciencia adelantó de una manera prodigiosa, con los descubrimientos de gran número de sabios, que se dedicaron muy especialmente a esta clase de estudios, quizás los más importantes de la Física y a los que deben su origen aparatos tan interesantes como el telégrafo eléctrico.

462. Hipótesis acerca de la electricidad. -Como acontece con el calor, la luz y el magnetismo, se desconoce completamente la naturaleza o esencia de la electricidad; más los físicos en su deseo de explicar de algún modo la causa de los fenómenos eléctricos, han ideado hipótesis en mayor número que las relativas al calor y a la luz. Entre ellas citaremos como más importantes, la de Newton, Dufay, Symmer y Francklin y la moderna teoría.

A. Hipótesis de Newton. -Este sabio que explicaba los fenómenos del calor y de la luz, según la hipótesis de las emanaciones (231) creía que la electricidad era resultado del movimiento vibratorio rapidísimo de las moléculas de los cuerpos transmitido a la materia etérea; presentando caracteres diferentes según la rapidez del movimiento; en este supuesto los fenómenos eléctricos reconocen la misma causa que los de la luz y el calor.

B. Hipótesis de Dufay. -Habiéndose observado que las sustancias electricidades obran ya atrayendo, ya repeliendo a otros cuerpos, admitió Dufay en 1734, la existencia de dos electricidades de naturaleza diferente; una semejante a la que se desarrolla por

frotamiento en el vidrio y recibió el nombre de electricidad vítrea, y otra que aparece en las mismas condiciones en el lacre y sustancias resinosas y se denomina electricidad resinosa. Esta idea sirvió de fundamento para la hipótesis de Symmer que completa la teoría llamada de los dos fluidos eléctricos.

C. Hipótesis de Francklin. -Para Francklin no existe más que un sólo fluido eléctrico, que obra por repulsión sobre sí mismo y por atracción sobre las moléculas de la materia. Ese fluido puede hallarse en los cuerpos en exceso o en cantidad positiva, en cuyo caso presenta los caracteres de la electricidad vítrea, o en disminución o cantidad negativa, apareciendo como electricidad. Estas denominaciones de electricidad positiva y negativa se representan en la escritura con los signos + y y puesto que +e y e dan cero, si a un cuerpo que posea: fluido positivo se le añade una cantidad igual de fluido negativo resulta el estado natural o neutro, es decir, cero de electricidad, hipótesis fue admitida como cierta durante mucho tiempo.

D. Hipótesis de Symmer. -La teoría de Francklin a pesar de su sencillez, fue combatida por muchos físicos, no por que se rechazara la posibilidad de un solo fluido, que, aún hoy se admite, sino por la manera de explicar los fenómenos eléctricos por ese agente único. Entre los que se, opusieron esa hipótesis y presentó nuevamente la de los dos fluidos, pero dándole un carácter más científico, fue Symmer, físico inglés, que florecía en el último tercio del siglo XVIII, quien dice que todos los cuerpos de la naturaleza tienen el electricidad formada por dos fluidos que se hallan neutralizados o equilibrados el uno por el otro alrededor de cada, molécula, constituyendo el fluido eléctrico natural o neutro, en cuyo estado los cuerpos no dan señales de electricidad; pero cuando por el frotamiento o por otra causa, se rompa ese equilibrio, los dos fluidos, se separan y obrando cada uno por repulsión sobre sí mismo se sitúan en puntos distantes del cuerpo, si éste está aislado, es decir, si sólo, comunica con la tierra por medio de un cuerpo mal conductor de la electricidad, o queda en el cuerpo uno de los dos fluidos, yendo el otro a la tierra, apareciendo entonces los fenómenos eléctricos de uno solo o de los dos fluidos. Pero estos mismos, obrando además por atracción el uno sobre el otro, tienen gran tendencia a recomponerse o neutralizarse. Symmer llamó también a esos dos fluidos vítreo y resinoso. Esta teoría prevaleció sobre la de Francklin y sólo se reemplazaron las palabras electricidad vítrea y resinosa por las de positiva (+) y negativa (-) que son más genéricas. Llamándose en este concepto electricidad positiva la que se desarrolla en los cuerpos que se parece a la producida en el vidrio, y negativa la que presentan los cuerpos semejante a la que se desarrolla en el lacre. Cada una de estas electricidades se manifiesta negativamente con caracteres distintos en sus efectos, coloración, etc., pero ya veremos que no consiste en que existan dos, sino en la velocidad diferente que toma el agente o fluido único.

463. Teoría moderna. -La opinión de los físicos modernos, expuesta por primera vez por el sabio P. Sechi acerca de la causa de la electricidad, no se funda en hechos completamente nuevos, ni sus fundamentos son exclusivamente de actualidad. Ya Newton emitió la idea de las vibraciones del éter de naturaleza eléctrica y el físico Nollet al examinar los efectos

caloríficos y lumínicos que produce la electricidad, la consideró como una modificación de la luz y del calor.

La ciencia moderna no admite un fluido especial como Francklin, ni mucho menos dos, de naturaleza diferente, como Symmer, sino que la causa, de la electricidad, como la de la luz y el calor, es debida al movimiento de la materia etérea; según eso, si el equilibrio en que se halle el éter que inunda toda la sustancia de los cuerpos, con el éter que los rodea y constituye su estado neutro, se rompe por una causa cualquiera, brota la electricidad; positiva si el éter se ha condensado, y negativa si se ha enrarecido; de modo que en esta teoría la electricidad se manifiesta de dos maneras, según, no sólo la rapidez del movimiento etéreo, sino la amplitud de las vibraciones. Mas como uno de los puntos más difíciles de explicar es el que se refiera a las atracciones y repulsiones eléctricas, y en esta hipótesis se intenta demostrar que dependen de presiones que el éter que rodea los cuerpos ejerce sobre el que baña su superficie; cuya demostración corresponde a la Mecánica y en ella, no es posible que entremos nosotros, sólo diremos, que si bien no hay dos fluidos eléctricos distintos, para expresar que el éter eléctrico se halla condensado o enrarecido y poseen electricidades contrarias si en uno está condensado, y en otro enrarecido; y por fin un cuerpo se halla en estado neutro cuando la tensión de su fluido etéreo es la misma, que la del éter que le rodea.

464. Electricidad estática y dinámica. -El estudio de la electricidad se considera dividido en dos secciones; la relativa, a la electricidad Estática o sea en equilibrio o en estado quiescente en la superficie de los cuerpos; y la Dinámica cuando se mueve a través de los cuerpos. En general la electricidad estática se desarrolla por el frotamiento y la dinámica por las reacciones químicas; pero existen otros medios de producir la electricidad, cuales son el calor, la presión y el magnetismo. Un cuerpo está electrizado cuando atrae los cuerpos ligeros o produce chispas o causa conmociones en el organismo de los animales.

465. Electrización por frotamiento. -Todos los cuerpos desarrollan electricidad en mayor o menor cantidad, por el frotamiento. Unos como el ámbar amarillo, la resina, el lacre, el vidrio, etc. la producen tan pronto como se los frota con un paño o una piel de gato; los líquidos cuando rozan contra un cuerpo sólido también se electrizan, como sucede con el mercurio en la cámara barométrica, cuyo movimiento electriza el vidrio, produciendo en la oscuridad una ligera ráfaga luminosa. Otro tanto sucede a los gases en su frotamiento con los sólidos. Los metales son los que parecen que no se electrizan por el frote, pues una barra metálica frotada no da indicios de electricidad; pero ya veremos como toman también el estado eléctrico por el frote, si se hallan en condiciones a propósito.

Wollaston atribuyó el desarrollo de la electricidad por el frote a la acción del aire; pero está demostrado que de la misma manera se produce en el vacío. Conocida la teoría

moderna de las vibraciones del éter, se comprende bien el por qué se desarrolla la electricidad en el momento del frotamiento que conmueve las moléculas y éstas al éter.

466. Péndulo eléctrico. -Fácilmente se puede reconocer si un cuerpo está electrizado por medio de aparatos que estudiaremos oportunamente llamados electróscopos (de electricidad y escopeo observar.) Sólo hablaremos aquí del más sencillo que es el péndulo eléctrico (fig. 264). Consiste en una esferita de médula de saúco a suspendida de una hebra de seda por una columna de vidrio. Aproximando el cuerpo b cuyo estado eléctrico se quiere conocer, si la atrae primero y después la repele, es que se halla electrizado.

467. Cuerpos buenos y malos conductores. -Lo mismo que con el calor no todos los cuerpos conducen con igual facilidad la electricidad; unos la dejan pasar muy fácilmente a través de su masa y se llaman buenos conductores y otros ofrecen cierta resistencia a su propagación y se denominan malos conductores. Figuran entre los primeros, los metales, el carbón calcinado, el agua, los ácidos, el cuerpo humano y los animales; y entre los segundos el ámbar amarillo, las resinas, el vidrio, el azufre, la gutapercha, la seda, la lana, etc. Por regla general, entre los cuerpos sólidos, son buenos conductores de la electricidad los que propagan bien el calor.

El grado de conductibilidad varía por diferentes causas, siendo la principal, la temperatura; así el vidrio puede convertirse en buen conductor, calentándolo hasta el rojo; y el agua se hace mala conductora cuando se halla en estado de hielo muy seco.

468. Depósito común. Cuerpos aisladores. -Llámase depósito común a la tierra. Por eso se observa que cuando un cuerpo buen conductor cogido directamente con la mano, se frota, la electricidad que en él se desarrolla atraviesa el cuerpo de la persona y se dirige hacia la tierra, por cuya razón no da señales de electricidad. He aquí porque los metales no presentan indicios de electricidad cuando se les frota, pues a medida que se electrizan, pasa su electricidad a la tierra o depósito común; pero si el cuerpo se halla unido a otro mal conductor y por lo mismo aislado del suelo, entonces no pudiendo la electricidad pasar a la tierra permanece en la superficie del cuerpo frotado. Dícese, pues, que un cuerpo está aislado cuando se halla interrumpida su comunicación con la tierra, por medio de un cuerpo mal conductor. Son cuerpos aisladores todos los malos conductores principalmente el vidrio, la resina, la seda, etc.

Antiguamente se dio el nombre de cuerpos idioeléctricos (propios o especiales para la electricidad) a los cuerpos aisladores o malos conductores, únicos que se creía eran a propósito para desarrollar la electricidad y an-eléctricos (sin electricidad) a los buenos

conductores que no retienen la electricidad. Tales denominaciones son hoy inútiles, puesto que todos los cuerpos se electrizan por el frotamiento.

469. Acción mutua de los cuerpos electrizados. -Dos cuerpos electrizados obran entre sí de la misma manera que los imanes, es decir, que si tienen la misma clase de electricidad, se repelen y si poseen electricidades de nombre contrario, se atraen: hecho sencillo, que es la base de la explicación de todos los fenómenos de la electricidad estática y que bajo la forma de ley, se enuncia; cuerpos cargados con electricidad del mismo nombre se repelen y de nombre contrario se atraen. Demuéstrase aproximando al péndulo eléctrico un cuerpo electrizado positivamente por ejemplo, y en el momento en que la esfera se electriza, es rechazada; si en ese estado eléctrico se acerca un cuerpo con electricidad negativa, será rápidamente atraída.

Cuando un cuerpo se frota, tanto él como el frotante se electrizan en igual cantidad, el uno positivamente y el otro negativamente: pasa demostrarlo se toman dos discos de vidrio y de madera forrado este de paño, provistos de mangos de vidrio: si se frotan y se separan rápidamente, aproximándolos sucesivamente a la esferita del péndulo, el uno la atrae y el otro la repele, lo cual prueba que tienen distintas electricidades. Y que poseen la misma cantidad de electricidad lo confirma, el que acercando los dos a la misma distancia y puntos opuestos del péndulo, éste permanece en equilibrio, igualmente atraído por uno y otro disco.

LECCIÓN 72. Leyes de la las atracciones y repulsiones eléctricas. -Acumulación de la electricidad en la superficie de los cuerpos. -Influencia de la forma de los cuerpos en la distribución de la electricidad. -Facultad de las puntas. -Distribución de la electricidad en los cuerpos en contacto. -Pérdida de la electricidad en el aire.

470. Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas. -Estas leyes son:

1.^a Las atracciones y repulsiones eléctricas están en razón inversa del cuadrado de la distancia.

2.^a Las atracciones y repulsiones eléctricas son proporcionales a la cantidad de electricidad que tengan los cuerpos.

Estas leyes fueron demostradas por Coulomb, valiéndose de la balanza de su nombre o de balanza de torsión (fig. 265) que consiste en una caja cilíndrica de vidrio C, que en su parte media, lleva una cinta de papel dividida en 360°. Un disco, también de vidrio, tapa el cilindro de su centro arranca otro cilindro T de menor diámetro que en un disco graduado en 360°, en cuyo centro hay una aguja que por medio del botón B puede girar sobre el plano circular graduado: esta pieza recibe el nombre de micrómetro. Un hilo fino de plata sin

torsión se halla fijo en una pinza en que termina, dentro del tubo, el botón B y por lo tanto al hacer girar a éste y la aguja, el hilo se tuerce o destuerce. Por la parte inferior el hilo sostiene una pequeña, aguja de goma laca que termina por un extremo en un pequeño disco de pan de oro n, a la altura de la banda graduada; por fin una esfera de latón m aislada por un mango de vidrio puede introducirse por un orificio de la tapa del cilindro, sosteniéndose por medio de un tope de madera o, hallándose también a la misma altura que la aguja de goma laca y la escala circular graduada.

A. 1.^a ley. -Para demostrar la primera ley por lo que toca a las repulsiones eléctricas, se empieza por secar bien el interior del aparato y colocadas la esfera de metal y se la electriza poniéndola en contacto con un foco eléctrico y rápidamente se introduce en la caja de vidrio; entonces el disco de pan de oro es atraído en el primer momento, se electriza y cargándose de la misma electricidad es repelido, corriendo la aguja de goma, laca un arco mayor o menor por lo cual el hilo se ha torcido; y como el ángulo de torsión es proporcional a la fuerza de torsión (26 -2.^a) el arco de círculo recorrido por la aguja representa la fuerza de repulsión eléctrica. Supongamos que el valor del arco es de 24°; para conocer esa fuerza a la mitad de la distancia o sea 12° habrá que torcer el hilo en sentido contrario, para lo cual se hace girar el botón B de modo que la aguja del micrómetro corra en el plano graduado en el sentido de la graduación, en cuyo caso el hilo se torcerá por la parte superior y a su vez por la inferior hasta que el disco de pan de oro venga a situarse en el grado 12; mirando ahora el número de grados que recorrió la aguja en el micrómetro se verá que es de 84° que con los 12° que se torció por la parte inferior hacen 96°, cuatro veces mayor que 24°. Si se quiere comprobar la ley para una distancia tres veces más pequeña o sea 8, la aguja del micrómetro correría 210° y por consecuencia el hilo se torcería por la parte superior 210 y 6 por la inferior, no hacen 216°, nueve veces mayor que 24; de donde, siendo las distancias

las repulsiones son 24, 94, 216.

Del mismo modo se demuestra la ley de las atracciones, dando electricidades contrarias a la esfera metálica y al disco de la aguja de laca y colocando ésta en un grado dado.

B. 2.^a ley. -Se comprueba la segunda ley electrizando la esfera y viendo la repulsión que produce en la aguja supongamos que es de 20°; se saca la esfera y se pone en contacto con otra del mismo volumen en estado natural, la electricidad se repartirá por igual entre las dos, perdiendo aquella la mitad de la electricidad y se introduce de nuevo, en la balanza y sólo repelerá la aguja hasta la mitad que anteriormente sea a 10°; si otra vez se pone en contacto de la esfera en estado neutro, perdiendo otra mitad de su electricidad, ya no repelerá la aguja más que hasta el grado 5.

471. Acumulación de la electricidad en la superficie de los cuerpos. -Beccaria fue el primero que observó que la electricidad sólo se acumula en la superficie de los cuerpos. Coulomb lo demostró concluyentemente. Valiose para ello (fig. 266) de una esfera hueca

de latón E aislada con una abertura, en su parte superior: se electriza, y tocando en su superficie con un plano de prueba, que se llama así un ligero disco metálico unido a un mango de vidrio, se observa que da señales de electricidad; pero no si se pone en contacto con el interior de la esfera.

Demuestrase también por medio de la experiencia de Faraday que consiste en una manga cónica de lino (fig. 267) unida a un aro metálico y aislada, y que lleva en el vértice del cono exterior e interiormente dos cordones de seda a y b. Electrizada se toca con el plano de prueba y sólo da indicios de electricidad en la balanza de Coulomb o en el péndulo eléctrico cuando; el contacto se verifica en el exterior; si ahora, se tira del cordón interior y se vuelve, lo mismo da señales eléctricas en lo que ahora es exterior y no en el interior; luego la electricidad ha cambiado de posición, viniendo siempre a colocarse en la superficie exterior, como haciendo un esfuerzo para escaparse.

Esa tendencia de la electricidad a abandonar el cuerpo se llama tensión eléctrica.

En vista de estos hechos se admitían que la electricidad residía en la superficie de los cuerpos bajo la forma de una capa muy tenue, consecuencia, de la repulsión que constantemente ejerce, sobre sí misma; más Faraday intenta al parecer demostrar que la electricidad reside en toda la masa del cuerpo electrizado; que la acumulación en la superficie es sólo aparente y que si el cuerpo en el interior no da señales de electricidad es a causa de las acciones iguales, pero opuestas, que por influencia ejercen sobre el plano de prueba las partes interiores del cuerpo.

472. Influencia de la forma de los cuerpos en la distribución de la electricidad. -La cantidad y tensión eléctrica en la superficie de los cuerpos depende de la forma de estos. En una esfera se distribuye por igual, lo que es natural pues la repulsión parte del centro y éste equidista de los puntos de la superficie se comprueba tocando en cualquier punto de una esfera electrizada con el plano de prueba y en la balanza de Coulomb indicará que en todos recoge la misma cantidad. En un cilindro se distribuye aumentando desde el centro a las bases, siendo en éstas doble la cantidad. En un elipsóide la carga eléctrica, se halla en el extremo del eje mayor más lejano del centro. En un disco en sus bordes.

473. Facultad de las puntas. -Llámase así la propiedad que tienen los cuerpos electrizados terminados en punta de dejar escapar la electricidad. Esta propiedad fue descubierta por Franklin. El fenómeno se explica por la distribución de la electricidad en la superficie de los cuerpos; pues acumulándose las partes más lejanas del centro y en superficies, muy reducidas como son las puntas, la tensión aumenta y siendo mayor que la resistencia que puede ofrecer el aire, se escapa. Se demuestra atornillando al conductor de una máquina eléctrica una punta, y acercando la mano se siente un ligero soplo debido a la repulsión del aire producida por la electricidad que se escapa; si se aproxima una vela

encendida, la llama oscila en sentido contrario a la punta, y si la experiencia se hace de noche, se ve en la punta un penacho luminoso.

Los pararrayos, de que hablaremos en Meteorología, están fundados en esta propiedad; por esta razón todos los cuerpos en que ha de acumularse la electricidad terminan, en formas redondeadas para que la electricidad no se escape.

474. Distribución de la electricidad en los cuerpos en contacto. -Dos cuerpos buenos conductores puestos en contacto, de los cuales uno está electrizado, se distribuye la electricidad entre los dos proporcionalmente a sus diámetros; si estos son iguales la tensión es nula en el punto de contacto, aumentando con rapidez desde los 20° hasta los 60° , pero lentamente de 60 a 90° y permanece casi constante hasta los 180° .

475. Pérdida de la electricidad. -Por bien aislados que estén los cuerpos, pueden perder su electricidad, no sólo por el aire, sino por los mismos cuerpos aisladores. Por el aire varía la cantidad de electricidad que pierden los cuerpos, con la tensión eléctrica, el estado de humedad del aire y la renovación de éste. Siendo el aire húmedo, buen conductor, Coulomb demostró que cuando el aire se encuentra en calma y en un estado de humedad constante, la pérdida de la electricidad en un tiempo muy corto es proporcional a la tensión. Si el aire o los gases están perfectamente secos, en igualdad de temperatura y de presión, la pérdida es la misma en el aire, el hidrógeno y el ácido carbónico. Si los cuerpos están muy electrizados, la pérdida es mayor cuando su electricidad es negativa que cuando es positiva. El aire agitado aumenta las pérdidas de la electricidad.

Los cuerpos aisladores no lo son perfectamente y así dejan pasar cierta cantidad de electricidad a la tierra. La goma laca aísla casi completamente, pero no aísla del mismo modo el vidrio que siempre retiene en su superficie algo de humedad; se evita en lo posible esta pérdida barnizándole con una disolución de goma laca.

De todo lo dicho anteriormente parece deducirse que si la electricidad se mantiene en la superficie de los cuerpos es por la presión del aire, y con efecto, así sucede; pero si la tensión eléctrica es muy débil, aún en el vacío conservan los cuerpos su electricidad, aunque no indefinidamente, pues obrando la repulsión continuamente, llega un momento en que la electricidad abandona el cuerpo y se difunde en el espacio.

Capítulo II

Electrización por influencia. -Máquinas eléctricas.

LECCIÓN 73. -Electrización por influencia o por inducción. -Límite de la electrización por influencia. -Explicación en la nueva teoría física. -Comunicación de la electricidad a distancia. -Chispa eléctrica. -Movimientos de los cuerpos electrizados. -Electrómetros.

476. Electrización por influencia. -Llámase así y también electricidad por inducción, el estado eléctrico que adquiere un cuerpo cuando se halla en presencia de otro electrizado. El espacio hasta donde ejerce su acción el cuerpo electrizado se llama su esfera de acción o de actividad. El cuerpo que produce la electrización se llama inductor y el que se electriza inducido. Demuéstrase esta electrización por medio, de un cilindro hueco, de latón aislado, debido a *Æpinus* (fig. 268) terminado en sus bases en dos casquetes esféricos y armado en sus extremos de dos pequeños péndulos de médula de saúco. Colocado a cierta distancia de un foco eléctrico, la máquina eléctrica, por ejemplo, se observa que en el acto los péndulos divergen, lo cual prueba que se han electrizado. En efecto la electricidad positiva de la máquina obra a distancia o por influencia sobre el fluido natural o neutro del cilindro, lo descompone, atrae el de nombre contrario y repele el del mismo nombre, cuyos fluidos se acumulan en los extremos del cilindro. Luego veremos como modernamente se explica esta electrización. Un cuerpo electrizado por influencia puede a su vez electrizar a otro como se demuestra, aproximando un nuevo cilindro, en su estado neutro, al ya electrizado, produciéndose los mismos fenómenos. Este método de demostración pudiera no parecer exacto, por haber duda si el péndulo inmediato al foco eléctrico diverge porque se haya realmente electrizado o es debido a la atracción de la máquina: evitase esta sospecha con el aparato de Reiss (fig. 269) que consiste en un cilindro de cobre provisto de varios péndulos y aislado por un mango de vidrio, que se coge con la mano y se aproxima en posición vertical a una torta de resina R electrizada negativamente: los péndulos divergen pero la divergencia del inferior no es debida a la atracción eléctrica de la torta, por que en ese caso estaría vertical.

Dos fenómenos se observan en todo cuerpo inducido: 1.º tan pronto como cesa la inducción, se recomponen las dos electricidades y el cuerpo vuelve al estado neutro; tal se observa en el momento en que el cilindro inducido se aleja de la esfera de acción del cuerpo inductor; los péndulos caen. 2.º si se toca al cuerpo electrizado en cualquier punto de su superficie con uno buen conductor, marcha a la tierra la electricidad del mismo nombre que la del foco inductor, quedando en el inducido la de nombre contrario.

Estos efectos se verifican sólo en los cuerpos buenos conductores, pues en los malos la influencia es casi nula.

477. Límite de la electrización por influencia. -Por enérgica que sea la acción del cuerpo inductor, la electrización del inducido tiene un límite, que se verifica cuando las fuerzas eléctricas que actúan en los extremos del cilindro (fig. 268) llegan a ser iguales a la fuerza, del foco.

478. Explicación de la inducción en la nueva teoría física. -Lo que acabamos de decir de la electrización a distancia, bajo la influencia de un foco eléctrico, es tal como se explica en la hipótesis de Symmer; mas Faraday no admitiendo tal efecto, explica estos fenómenos por la acción continua de un medio o materia que trasmite la electricidad; llamando este físico poder inductor a la propiedad de los cuerpos de transmitir a través de su masa la influencia eléctrica. No todos los cuerpos aisladores poseen igual poder inductor. La intervención de una materia en estos fenómenos; sólo puede admitirse en el caso de que esa materia sea el éter. Ciertamente es necesario una materia intermedia que pueda transmitir las acciones eléctricas, como cualquier otro fenómeno de naturaleza diferente, a no ser que se atribuyan a una influencia misteriosa, hoy inadmisibles; pero si se supone la acción de la materia etérea, cuyas ondas emitidas por el cuerpo inductor llegan a la superficie del cuerpo inducido conmueven su éter, haciéndole vibrar como el impulso recibido, es decir, produciendo condensaciones y expansiones en las ondas que darán por resultado atracciones en las ondas dilatadas y repulsiones en las condensadas, es como puede explicarse la inducción sin necesidad de apelar a hechos incomprensibles. No es en unos sencillos elementos de Física, donde pueden ni deben explicarse en esta clase de teorías: el profesor podrá admitirlas y desarrollarlas o rechazarlas, según su criterio.

479. Comunicación de la electricidad a distancia. -Chispa eléctrica. -Si la tensión de las dos electricidades acumuladas en dos cuerpos es grande y su distancia proporcional, venciendo la resistencia del aire, abandonan los cuerpos y se recomponen en el espacio produciendo la chispa eléctrica, que no es más que la recomposición de las dos electricidades, acompañada de una luz viva y un chasquido o ruido seco. La duración de la chispa eléctrica es solo, según Tyndall, de una fracción infinitamente pequeña de segundo de tiempo. Una bala de cañón a quien ilumine en el espacio la luz del relámpago, parece que está inmóvil durante un décimo de segundo que es lo que dura la impresión en la retina.

La distancia a que se verifica la combinación de las dos electricidades varía con la tensión eléctrica, la forma de los cuerpos, su conductibilidad y la resistencia que ofrezcan los medios. No siempre la descarga de un cuerpo electrizado se verifica apareciendo la chispa; pues no se observa fenómeno ninguno visible si la recomposición se efectúa entre el cuerpo electrizado y la tierra por el intermedio de un cuerpo conductor.

480. Movimientos de los cuerpos electrizados. -Fácil es explicar los movimientos atractivos y repulsivos que ofrecen entre sí los cuerpos electrizados una vez conocida la electrización por influencia. En efecto, un cuerpo que puede moverse por hallarse suspendido de un hilo de seda, en presencia de otro electrizado, ya se encuentre el cuerpo móvil en el estado neutro o esté electrizado siendo buen conductor o ya sea mal conductor, en todos estos casos habrá movimiento; puesto que al obrar la electricidad sobre el cuerpo

en estado neutro repelerá la electricidad del mismo signo y atraerá la de signo contrario y como ésta es la más cercana al foco eléctrico, en virtud de la 1.^a ley de las atracciones y repulsiones, el cuerpo será atraído. Si el móvil está electrizado con electricidad contraria es indudable que también será atraído y si tiene electricidad del mismo nombre, todavía habrá atracción, pues bajo la influencia del cuerpo electrizado, descompondrá otra parte de la electricidad neutra, hallándose entonces en el caso primero y si es mal conductor será atraído o repelido, pero en todo caso habrá movimiento, según que tenga o no la misma electricidad que el cuerpo fijo.

481. Electrómetros. -Son aparatos destinados a conocer si un cuerpo está electrizado y que clase de electricidad tiene. Y si además aprecian la cantidad de electricidad, reciben el nombre de electrómetros. Son varios los electrómetros que se conocen; el más sencillo es el péndulo eléctrico ya descrito (466). Daremos ahora a conocer, los más usados, el electrómetro de panes de oro y el electrómetro de cuadrante.

A. Electrómetro de panes de oro. -Este electrómetro debido a Benet (fig. 270) consiste en una campana de cristal apoyada en un platillo de latón, que se halla atravesada en su cuello por una varilla metálica fija y aislada por medio de lacre, la cual, termina en el exterior en esfera A y en el interior de la campana en dos hojuelas de pan de oro: dos varillas verticales terminadas en esferas m y n aumentan la sensibilidad del aparato, pues se cargan por influencia de electricidad contraria o la que tienen las hojuelas.

Su manejo es fácil: el cuerpo cuyo estado eléctrico se desea conocer se aproxima lentamente a la esfera de la varilla, tocándola al mismo tiempo con un dedo retirado el cuerpo y el dedo las hojuelas divergen, si el cuerpo está electrizado: en efecto, obrando por influencia sobre la electricidad neutra de la varilla, la descompone, atrae la de nombre contrario que por el dedo y el cuerpo de la persona pasa a la tierra y repele la del mismo nombre que se aleja hacia las hojuelas, las que cargadas con la misma electricidad, se repelen. Si ahora se desea conocer qué clase de electricidad tienen, se toma un cuerpo cuya electricidad nos sea conocida, una barra de lacre por ejemplo, y frotada se acerca al electrómetro como en el caso anterior el cuerpo; si entonces las hojuelas divergen más, es prueba que reciben ahora una cantidad de electricidad del mismo signo que la que tenían, la que reciben es negativa, luego negativa es la de las hojuelas, comunicada por el cuerpo; y si al contrario disminuye la divergencia, es que tienen electricidad contraria (positiva) a la que les da ahora el lacre (negativa).

B. Electrómetro de cuadrante. -Este electrómetro construido por Henley, consiste en un péndulo eléctrico (fig. 271) formado por una aguja, de barba de ballena que por un extremo puede girar en el centro de un semicírculo graduado, de marfil y por el otro extremo termina en una esfera a de médula de saúco. Si se pone en contacto con el foco eléctrico cuya carga se quiere averiguar, el péndulo electrizado de la misma manera es repelido y va recorriendo la graduación del semicírculo, quedando estacionario cuando tiene la máxima tensión. Separado del foco eléctrico vuelve al estado neutro y cesa la divergencia.

LECCIÓN 74. Máquinas eléctricas. -Máquina eléctrica de disco. -Tensión máxima. -Electróforo. -Máquina eléctrica de Nairne. -Íd. de Van-Marum. -Íd. de Holtz. -Íd. de Bertsch y de Carré.

482. Máquinas eléctricas. -Se llaman máquinas eléctricas todos los aparatos que desarrollan y acumulan electricidad estática. Las usadas hasta el día están basadas en el principio de la producción de la electricidad por el frote y en la electrización por influencia. Se conocen varias muy diferentes: hablaremos de las principales.

483. Máquina eléctrica de disco. -La primera máquina eléctrica fue inventada por el ya citado Otto de Guericke y consistía en un principio en una esfera de azufre, que atravesada por un eje se hacía girar frotándola contra la mano; modificada sucesivamente, sustituyendo la esfera de azufre, ya por un cilindro de resina, ya de vidrio, que también se frotaban con la mano se hizo uso más tarde de una almohadilla de crin cubierta de seda que hacía de frotador; hasta que en 1766 empleó Ramsden, en Londres, un disco de vidrio, frotado contra cuatro almohadillas, que es como se construye hoy. Consta esta máquina (fig. 272) de un disco de vidrio D atravesado en su centro por un eje alrededor del cual gira entre dos montantes de madera y es frotado por la parte superior e inferior y por ambas caras por cuatro almohadillas de badana rellenas de crin. Delante del disco y a la altura de su diámetro horizontal y, abrazándole, pero sin tocarle, hay dos arcos metálicos con puntas en los lados que miran al disco: estos arcos llamados pesines por las puntas de que están armados, se hallan unidos a dos gruesos cilindros de latón, huecos, c c' llamados conductores, enlazados por otro de menor diámetro y aislados por cuatro columnas de vidrio. Una cadenilla metálica pone en comunicación las almohadillas con el suelo por medio de una tira metálica incrustada en la parte interior de los montantes.

La teoría de la máquina eléctrica es muy sencilla: frotado el disco contra las almohadillas se electriza positivamente y éstas con electricidad negativa, la que por la cadena metálica pasa a la tierra; la electricidad positiva del disco obra por influencia sobre la natural o neutra de los conductores, la que descompone, repeliendo la del mismo nombre hacia el extremo más lejano y atrayendo la de nombre contrario que escapándose por las puntas va a neutralizar la positiva del disco; pero como éste continúa girando, una nueva cantidad de electricidad positiva se desenvuelve en el disco que reproduce los mismos fenómenos referidos.

Varias circunstancias hay que tener presentes para que esta máquina funcione bien: 1.º es necesario secar bien los conductores y los pies de vidrio que los sostienen. 2.º Las almohadillas han de frotarse con una sustancia, pulverulenta, suave al tacto, dándose la preferencia para este objeto al oro musivo o bisulfuro de estaño. 3.º para que el disco no pierda en el aire su electricidad, se fijan en los montantes de madera dos cuadrantes de

tafetán engomado, uno en la parte superior y otro en la inferior a lados opuestos, que a manera de funda envuelven sin tocar, al disco.

484. Tensión máxima. -A pesar de todas estas precauciones, la máquina eléctrica, por rápido que sea el movimiento del disco y fuerte su roce, tiene un límite en su carga: límite que depende de la pérdida de la electricidad por el aire y su humedad; por la que originan los conductores y en fin por la recomposición de parte de las dos electricidades del disco y de las almohadillas, que se verifica cuando la tensión eléctrica supera a la resistencia de la mala conductibilidad del vidrio.

485. Electrógrafo. -El electrógrafo (del griego electron electricidad y foreo llevar) es la máquina eléctrica más sencilla, inventada por Volta. Se compone (fig. 273) de una torta de resina T colocada en una caja de madera y de un disco D metálico o de madera forrado de papel de estaño, pues acumulándose la electricidad en la superficie, es indiferente el estado del interior, provisto de un mango de vidrio a. Frotada la torta con una piel de gato bien curtida, se electriza negativamente; colocando en seguida el disco encima, la electricidad de la torta descompone por influencia la natural del disco; atrae la negativa hacia la cara inferior y repele la positiva a la parte superior, que al tocar con el dedo se marcha hacia la tierra, quedando sólo en el disco la electricidad positiva. Si se alza separándole de la torta y se aproxima el nudillo al contorno del disco, salta una chispa.

Últimamente ha sido modificado el electrógrafo empleando en lugar de la torta de resina una de caucho de muy poco espesor (4 milímetros) colocada sobre una hoja de zinc que para que comunique bien con el suelo se le une o suelda un alambre de cobre; así la carga que adquiere es mucho mayor.

Esta sencilla máquina es de un uso frecuente en Química para verificar diversas combinaciones entre los gases, por medio de las chispas eléctricas que fácilmente se excitan en este aparato.

486. Máquina eléctrica de Nairne. - La máquina eléctrica de disco sólo produce, en condiciones normales, electricidad positiva, pero puede hacerse que la dé.

QUÍMICA

Libro primero

Nociones preliminares

Capítulo I

Generalidades. -Afinidad. -Cristalografía

LECCIÓN 1. Química. -Diferencia entre la Física y la Química. Moléculas. -Átomos. -Combinación. Mezcla. -Afinidad. -Causas que la modifican. -Cristalografía. -Isomorfismo. Dimorfismo. Alotropía. Isometría. Análisis y Síntesis.

- I -

1. Química. -Es la Química la ciencia que tiene por objeto el estudio de la constitución íntima de los cuerpos simples, de las combinaciones a que dan origen y las leyes que presiden a éstas. Se divide generalmente en Inorgánica y Orgánica. La Química inorgánica estudia todos los productos de origen inorgánico o mineral y la orgánica, los de origen orgánico animal o vegetal: división no muy natural, y que debiera desaparecer, a lo menos para ciertos productos.

2. Historia. -Los principios y fundamentos de la Química actual, sólo datan de fines del siglo pasado. En tiempos anteriores, esta ciencia, llamada más particularmente alquimia (del árabe al aumentativo y quimia química alta-química) era tan solo un conjunto de hechos aislados, sin enlace filosófico. Los alquimistas daban a sus estudios una gran importancia y procuraban rodear del misterio todos sus trabajos y hasta el lenguaje que empleaban para representar los cuerpos y sus combinaciones era puramente simbólico. Aún así la ciencia moderna debe mucho a la incansable laboriosidad de los alquimistas de la edad media, que, ya fuera debido a la casualidad o a otras causas, descubrieron muchos cuerpos. Por eso los nombres de Raimundo Lulio, Basilio Valentino, Brand y otros, se recuerdan hoy con respeto por los beneficios que prestaron a la ciencia. La idea de hallar una sustancia (piedra filosofal) que pudiera convertir los metales llamados innobles, en metales preciosos, como el oro y la plata, lo cual era un verdadero delirio, no era sólo el objeto exclusivo que se proponían los alquimistas en sus investigaciones.

Pero los grandes adelantos de la Química y el admirable desarrollo que ha alcanzado en breve tiempo, son de época moderna, como veremos al ocuparnos de las Teorías de la Química.

3. Diferencia entre la Física y la Química. -Hemos visto que la Física no estudia en rigor los cuerpos, sino las propiedades generales y los fenómenos que en ellos producen ciertos

agentes, como el calor, la luz y la electricidad; la Química por el contrario estudia los cuerpos individualmente procurando, averiguar la constitución o naturaleza de cada uno. La Física al estudiar un fenómeno no se cuida de conocer el cuerpo que le origina; no así la Química que estudia cada cuerpo en todos sus detalles. Ejemplo: el físico al estudiar la caída de los cuerpos o la refracción de la luz, no le interesa conocer la naturaleza del cuerpo que cae o hace cambiar la luz de dirección, ya sea vidrio, cristal de roca, azufre etc.; no así el químico que necesita ante todo conocer la constitución del cuerpo que produce el fenómeno: en fin, casi podríamos decir, que la Física estudia los fenómenos independientemente de los cuerpos y la Química estudia los cuerpos más particularmente que los fenómenos que producen: la Física generaliza en sus estudios, la Química individualiza en sus procedimientos.

4. Moléculas. Átomos. -Hemos visto en Física que los cuerpos son simples y compuestos; que unos y otros están formados por moléculas y átomos, y que estas dos palabras suelen tomarse como sinónimas. La palabra átomo no tiene sin embargo, bien determinada su significación; pues a juzgar por su etimología (del griego *atomos*, tomos sección o fracción) designa la última porción de la materia que no se puede dividir o fraccionar lo cual más que un hecho físico, es una concepción abstracta, pues si los átomos se penetran para combinarse o unirse químicamente, es evidente que pueden separarse. Las moléculas pueden ser todas homogéneas y se hallan integrantes; o diferentes y heterogéneas y se denominan constituyentes: las primeras son propias de los cuerpos simples y compuestos; las segundas solo de los compuestos. Así las moléculas del hierro, cuerpo simple, son todas de la misma naturaleza o integrantes y también lo son las de la cal o del agua, cuerpos compuestos; pero cada molécula integrante de un cuerpo compuesto está formada por otras diferentes o constituyentes; así la molécula de agua la forman dos constituyentes oxígeno e hidrógeno.

La fuerza atractiva que une y mantiene unidas moléculas integrantes se llama cohesión y, la que determina la unión de las constituyentes se llama afinidad o fuerza de combinación.

5. Combinación. Mezcla. -Se llama combinación la de dos o más cuerpos, en proporciones definidas y en la que desaparecen las propiedades de los componentes. Toda combinación química va acompañada siempre de desprendimiento de electricidad y de calor y a veces de luz. La mezcla es la reunión de varios cuerpos en la que no desaparecen las propiedades particulares de los componentes y no va acompañada de los fenómenos que caracterizan la combinación. Los elementos combinados no pueden separarse por los medios mecánicos, ni por la disolución, ni percibirse con el microscopio; al contrario, en la mezcla, por íntima que sea, que por la disolución o por un medio mecánico se aíslan los cuerpos que la forman, pudiendo distinguirse, si los cuerpos mezclados son sólidos, con el auxilio del microscopio. El agua es una combinación; el aire o la pólvora una mezcla. Si la

combinación es de dos cuerpos simples o elementos se llama binaria, si de tres ternaria, si de cuatro cuaternaria, etc.

6. Afinidad. -Dejamos dicho que afinidad es la fuerza que determina la unión de los átomos diferentes que constituyen los cuerpos compuestos. En unos cuerpos esta fuerza, especie de simpatía, es muy enérgica y se necesita emplear procedimientos especiales para separar sus elementos: en otros es muy débil y con la mayor facilidad se descomponen en sus elementos constitutivos, cual si existiera en ellos una verdadera antipatía; tal sucede los fulminantes y materias explosivas.

Cuando la afinidad es enérgica, el desarrollo de calor es considerable; tal se observa al poner en contacto un trozo de fósforo y un poco de yodo, que inmediatamente se combinan con gran desprendimiento de calor y luz; o bien dejando caer un pedazo del metal potasio en el agua, que se inflama y arde con llama purpúrea; pues dada su afinidad con el oxígeno, descompone el agua y se combina con aquel elemento.

7. Causas que modifican la afinidad. -Cuando decimos que dos o más cuerpos se combinan, entiéndese que han de hallarse en condiciones especiales, pues hay varias causas modificantes de la afinidad, que en unos casos la favorecen y en otros la perjudican oponiéndose a que los cuerpos se combinen: estas causas son:

1.^a La masa o sea la cantidad de los elementos que van a combinarse. Una sola proporción de ácido nítrico puesta en contacto con el sulfato de barita, no produce acción química ninguna, pero si se ponen tres o más proporciones, la afinidad se desarrolla, el ácido nítrico se combina con la barita y forma nitrato de barita.

2.^a La cohesión. Para que una combinación se verifique es necesario que las moléculas de los componentes, se hallen en el mayor contacto, lo cual no se logra, mientras predomine la cohesión, perjudicando pues esta fuerza a la afinidad, pero si la cohesión desaparece, bien porque el cuerpo se funda o gasifique o bien porque se halle en disolución, la combinación se verifica fácilmente. La influencia del agua como disolvente es muy notable y de aquí el aforismo de los antiguos químicos (alquimistas) que decía corpora non agunt nisi soluta.

3.^a El calor. En general el calor favorece las combinaciones pero en ocasiones las perjudica; el mercurio a los 340° se combina con el oxígeno, pero a una temperatura superior se separan estos dos elementos. El calor obra dilatando las moléculas de modo que puedan fácilmente penetrarse: así los cuerpos fundidos se combinan mejor que en el estado sólido; la mayor parte de las combinaciones se auxilian por el calor, que se emplea en los laboratorios de Química, desde el producido por una simple lámpara de espíritu de vino, hasta el desarrollado en hornos especiales. Los alquimistas que conocían bien la eficacia del

calor en la afinidad dijeron, en otro aforismo, sine igne nihil operamur. Pero también en muchos casos el calor se opone a la afinidad o la destruye, descomponiendo los cuerpos; así los llamados nitratos como el salitre, y muchos carbonatos se descomponen por la elevación de temperatura.

4.º La luz. También obra como causa modificante, la luz, favoreciendo o perjudicando la afinidad, primer caso: si se pone en un frasco una mezcla de cloro e hidrógeno en volúmenes iguales y se guarda en la oscuridad, se conserva sin combinarse; pero si se expone a la acción directa de la luz del sol, inmediatamente se combinan con explosión. Segundo caso. El nitrato de plata y otros compuestos y muchas materias colorantes, se alteran o descomponen por acción de la luz, por lo cual hay que guardarlos en frascos de vidrio oscuro o cubiertos de papel negro: la clorofila o materia colorante verde de las vegetales sólo se forma por la acción de la luz.

5.º Electricidad. -Es un poderoso agente así en las combinaciones como en las descomposiciones, el paso de una chispa eléctrica por una mezcla de oxígeno e hidrógeno, determina en el acto su combinación; pero en cambio no hay compuesto alguno que resista, sin descomponerse, a la acción de una corriente eléctrica. Además, si los cuerpos tienen electricidades diferentes su afinidad es grande y las combinaciones que resultan son muy estables; pero si poseen la misma electricidad difícilmente se combinan. Por razón del estado eléctrico de los cuerpos, se han hecho dos grandes divisiones, electropositivos y electronegativos, que lo son entre sí de una manera relativa como veremos más adelante.

6.º La presión. El oxígeno y el hidrógeno que son tan afines, pueden permanecer mezclados sin combinarse, pero si lo verifican sometidos a una fuerte presión. Si en un tubo de hierro fuerte y resistente, se coloca caliza o carbonato de cal y se cierra herméticamente y se expone a una elevada temperatura, una pequeña parte se descompone y el gas ácido carbónico ejerce tal presión sobre la caliza, que antes se funde, que descomponerse y dejándola enfriar, al solidificarse cristaliza, no en romboedros como lo hace generalmente la caliza, sino en prismas rectangulares.

7.º La presencia de ciertos cuerpos. -La experiencia nos dice que algunos cuerpos, que no se combinan hallándose en condiciones normales, lo verifican tan pronto como se pone en contacto de ellos un tercer cuerpo que con sólo su presencia, pero sin intervenir químicamente, determina la combinación. Si en una mezcla de oxígeno e hidrógeno se introduce un poco de musgo o esponja de platino, bien pronto se pone el metal rojo de fuego, por la gran cantidad de calor que se desarrolla al condensarse los dos gases y particularmente el hidrógeno, en la asa de la esponja de platino, combinándose aquellos con detonación para formar el agua. Un poco de bioxido de manganeso mezclado con el clorato potásico en caliente, produce muy pronto la descomposición de este cuerpo, que calentado sólo, necesitaría muy alta temperatura para descomponerse. En uno y otro caso, ni el platino ni el bioxido de manganeso han sufrido transformación ninguna; su sola presencia produjo la acción química. Esta acción de presencia, cuya causa se ignora, se ha atribuido a una fuerza desconocida que se denomina Catalítica (del griego katalitikos que destruye o descompone.)

- II -

8. Cristalografía. -Sabemos por Física lo que se entiende por cristalización, es decir la forma regular o geométrica que afectan muchos cuerpos simples o compuestos al pasar del estado gaseoso o líquido al sólido. El estudio de todo cuanto se refiere a esas formas o cristales, constituye la cristalografía, ciencia propia del mineralogista, pero que interesa igualmente al químico, por las muchas sustancias que éste prepara y cristalizan. Tanto en la naturaleza, como en los laboratorios, los cuerpos pueden cristalizar por dos medios; el calor (vía seca) y la disolución (vía húmeda.) Los que no cristalizan de ningún modo se llaman amorfos.

A. Vía seca. -Fundido el cuerpo se le deja enfriar y cuando se ha solidificado la superficie en contacto del aire y la porción inmediata a las paredes de la vasija, se taladra la costa fría y se derrama la parte que se conserva líquida, apareciendo el fondo y las paredes tapizadas de cristales. Así pueden cristalizar muchos metales, el azufre, etc.

Si el cuerpo es susceptible de volatilizarse, se recibe el vapor en una parte fría donde se condensa y cristaliza: esta cristalización se llama por sublimación. El yodo, arsénico, azufre y muchos compuestos que conoceremos cristalizan por este medio.

B. Vía húmeda. -Si el cuerpo es más soluble en un líquido caliente que en frío; una vez disuelto, se le abandona a sí mismo y el exceso, no soluble al enfriarse, se deposita y cristaliza. Pero lo general es disolver el cuerpo y dejar que se evapore el líquido lentamente; o producir la evaporación rápida por la un foco directo de calor y la sustancia se solidifica cristalizando a medida que desaparece el disolvente. El líquido que generalmente se emplea como disolvente es el agua; pero también se usa el sulfuro de carbono y algunos otros.

Sea cual fuere el procedimiento por el cual cristalicen los cuerpos, las formas que pueden afectar son numerosas, pero todas ellas pueden reducirse a grupos determinados que reciben el nombre de sistemas cristalinos. Dentro de cada sistema hay una forma típica o primitiva de la cual se derivan obras que se llaman derivadas o secundarias. El tránsito de unas formas a otras, se verifica por truncamientos en los ángulos sólidos; biselamientos en las aristas o apuntamientos en las caras del cristal, bajo la ley llamada de simetría que dice: siempre que se modifica una parte de un cristal se modifican todas sus semejantes y, del mismo modo entendiéndose por partes semejantes las que tienen las mismas condiciones geométricas.

El número de sistemas cristalinos varía según los autores, pero lo más común es admitir con Dufrénoy, geólogo y mineralogista francés, seis tres que se consideran prismas rectos y tres oblicuos, dependientes de la inclinación y longitud de los tres ejes que se admiten en las formas típicas.

Iguales 1.º Sistema cúbico

Tres ejes rectangulares Dos iguales 2.º Prismático recto de base cuadrada

Desiguales 3.º Prismático recto de base rectangular

Iguales 4.º Sistema romboédrico

Tres ejes rectangulares Dos iguales 5.º Prismático oblicuo de base romboidal

Desiguales 6.º Prismático oblicuo de base paralelográmica oblicuángula

9. Isomorfismo. Dimorfismo. -Cuando dos sustancias diferentes, pero de composición química análoga, cristalizan en la misma forma, se dice que son isomorfas (del griego isos igual y morfes forma). Si se pone un cristal de alumbre de cromo en una disolución saturada de alumbre común continúa aumentando de volumen, cubriéndose el cristal morado de cromo, de la materia incolora del alumbre ordinario: estas dos materias son isomorfas,

Si un mismo cuerpo, simple o compuesto, cristaliza en condiciones diferentes, puede afectar dos formas distintas; la sustancia se dice que es dimorfa y el fenómeno se llama dimorfismo. El azufre fundido cristaliza en prismas oblicuos y disuelto en el sulfuro de carbono, lo hace en octaedros. La caliza, por disolución en el agua, a expensas de un exceso de ácido carbónico, cristaliza en romboedros (espató de Islandia) y por la elevación de temperatura y la presión, fundiéndose, en prismas rectos de base rectangular (aragonito).

10. Alotropía. Isomería. -Un mismo cuerpo simple puede presentar propiedades físicas y químicas diferentes dando lugar a estados que se llaman alotrópicos y el fenómeno alotropía (del griego allotropos diferente). Los estados alotrópicos pueden ser dos o más: la mayor parte de los metaloides presentan esos estados, siendo notables en el fósforo. Un mismo cuerpo compuesto puede ofrecer caracteres físicos y químicos diferentes, constituyendo diversos estados isoméricos y el fenómeno isomería (del griego isomeres partes iguales). El sulfuro de mercurio sin variar de composición ni naturaleza, se presenta unas veces rojo (bermellón) y otras negro (etiope mineral). La alotropía es la isomería de los cuerpos simples y la isomería la alotropía de los cuerpos compuestos.

11. Análisis. Síntesis. -Llámase análisis química el procedimiento empleado para reconocer la naturaleza de un cuerpo o los elementos que le constituyen. El análisis puede ser cualitativo y cuantitativo: por la primera sólo se aprecia la cualidad o naturaleza de los elementos que forman el compuesto; por la segunda determinamos la cantidad en que entran a constituirle. La síntesis es el procedimiento inverso, que consiste en reunir los elementos para formar el cuerpo compuesto. Por el análisis el cuerpo se descompone, separándose sus elementos, siendo así más fácil estudiarle para conocer su naturaleza; por la síntesis se reúnen esos elementos debiendo formar de nuevo el mismo cuerpo compuesto.

Capítulo II

Nomenclatura química

LECCIÓN 2.^a -Nomenclatura química. -Nomenclatura francesa. -Íd. de los cuerpos simples. -Íd. de los compuestos. -Íd. de Berzelius. -Íd. moderna. -Nomenclatura escrita. - Fórmulas y ecuaciones químicas.

12. Nomenclatura química. -Se llama nomenclatura química el lenguaje de la Química; es decir, el conjunto de reglas para dar nombres adecuados a todos los cuerpos simples y compuestos que estudia esta ciencia. Puede ser oral o hablada y escrita o simbólica.

Hasta fines del siglo pasado en que aparece la nomenclatura, el lenguaje de la Química era un conjunto de nombres arbitrarios y caprichosos que nada representaban; lo cual era resultado de que se desconocía la naturaleza y composición de los cuerpos así simples como compuestos, viéndose precisados a dar nombres que recordaban alguna de sus propiedades físicas o la de cuerpos con quienes presentaban alguna semejanza exterior. Los primeros fundamentos de la nomenclatura fueron expuestos por Guyton de Morveau por cuya razón recibió el nombre de francesa o Guytoniana, y desarrollada por Lavoisier, Berthollet y Fourcroy. Nos ocuparemos primero de la nomenclatura hablada y después de la escrita.

13. Nomenclatura francesa. -Dos reglas principales se establecieron para dar nombres a los cuerpos, una relativa a los simples y otra a los compuestos. El de los simples deberá estar formado por una sola palabra que recuerde su propiedad más característica. El nombre de los compuestos consta de dos palabras que indican no sólo la naturaleza de los elementos que lo forman, sino las cantidades en que entran.

14. Nomenclatura de los cuerpos simples. -En la antigüedad los cuerpos simples metálicos tenían el nombre de alguno de los dioses del gentilismo; nombres que desaparecieron al establecerse la nueva nomenclatura: sin embargo el nombre antiguo del Mercurio ha prevalecido sobre el moderno Azogue.

Nombres antiguos

Nombres modernos

Apolo Oro
Diana Plata
Mercurio Azogue
Venus Cobre

Júpiter Estaño
Saturno Plomo
Marte Hierro

En el día en el estudio de la nomenclatura en general figura mucho el estado eléctrico que ofrecen los cuerpos simples que como ya hemos indicado sólo es relativo; es decir, tal simple puede ser electro-positivo con relación a uno y electro-negativo respecto a otro, así el plomo es electro-negativo con relación al hierro y electro-positivo respecto al azufre. El oxígeno siempre es electro-negativo y el potasio siempre electro-positivo. Se ha formado pues una tabla, según el estado eléctrico, que principia con el oxígeno, el más negativo y termina con el potasio, el más positivo. El número de los cuerpos simples no puede fijarse exactamente, pues hay dudas acerca de la simplicidad de algunos: se admiten 67 que nos parecen muchos.

15. Nomenclatura de los cuerpos compuestos. -En la nomenclatura francesa se admiten dos grandes grupos de combinaciones; compuestos oxigenados y no oxigenados, resultando en definitiva tres clases de combinaciones químicas; ácidos, óxidos y sales.

1.º Compuestos oxigenados binarios.

a. Ácidos. -Se llama ácido toda combinación binaria de un cuerpo simple con el oxígeno, que presenta los caracteres de tener sabor agrio o picante, enrojecer las tinturas azules de los vegetales, como la de tornasol y en sus combinaciones con los óxidos son electro-negativos. Estos ácidos se llaman oxácidos para distinguirlos de los ácidos de hidrógeno (compuestos binarios no oxigenados) que se llaman hidrácidos.

Consta su nombre de dos palabras, una genérica ácido y otra específica formada por el cuerpo simple o radical. Si en cada orden de combinación no hubiera más que un compuesto, la nomenclatura sería muy sencilla empleando la palabra ácido seguida del cuerpo con quien está combinado, terminado en ico. Así la combinación del oxígeno con el boro, se llama ácido bórico: pero como existen más, ha habido necesidad de dar nombres para distinguirlos. Al efecto se añade a la raíz del cuerpo que se combina con el oxígeno la terminación ico si tiene la mayor cantidad de oxígeno y oso si contiene la menor. Esto fue suficiente en un principio, pero cuando se descubrieron más ácidos de una misma serie de combinaciones, se antepusieron al nombre específico las preposiciones griegas hipo (debajo) cuando el ácido tiene menos oxígeno que el terminado en ico o en oso y la per o hiper (sobre) para el más oxigenado de todos. Así los compuestos del cloro con el oxígeno son

ácido hipocloroso
ácido cloroso
ácido hipoclorórico
ácido clórico
ácido perclórico.

Creemos inútil advertir que no todos los cuerpos forman con el oxígeno el mismo número de ácidos.

Estos ácidos que carecen absolutamente de agua se llaman anhídros (del griego a sin e hidros agua) y los que la tienen hidratados. La nomenclatura de estos es la misma, anteponiendo la palabra mono-hidratado o bi-hidratado, etc. según el número de moléculas de agua que contengan.

b. Óxidos. -Se llaman óxidos o bases las combinaciones de un metal con el oxígeno: a veces, aunque raras también, los simples, que no son metales, forman óxidos (óxido de carbono). Son sus caracteres, sabor de jabón o alcalino o cáustico, enverdecen las tinturas azules y devuelven el calor azul al tornasol enrojado por un ácido; son electro-positivos con relación a los ácidos y combinados con estos forman sales. No todos los óxidos participan de estas propiedades, pues los hay neutros o indiferentes, el citado óxido de carbono que no se combina ni con los ácidos, ni con las bases.

Consta también su nombre de dos palabras, una genérica óxido y otra específica con el nombre del simple precedido de la preposición de, si fuese uno sola; así el oxígeno combinado con el carbono forma el óxido de carbono. Pero cuando se forma más de un óxido, se antepone al nombre genérico los numerales griegos proto (primero), sesqui (vez y media), bi o deuto (segundo) y per para la mayor cantidad de oxígeno: ejemplo

Protóxido de hierro
Sesquióxido de hierro
Bióxido de hierro
Peróxido de hierro

Si aún se formase un compuesto menos oxigenado que el protóxido, se antepone la sílaba sub, como en el sub-óxido de plata. También los óxidos, como los ácidos, pueden ser anhídros o hidratados. En la práctica muchas veces se prescinde del nombre químico de muchos óxidos y se designan con los vulgares y antiguos; así al protóxido de potasio se le llama simplemente potasa, al de calcio cal, al de magnesio, magnesia, al de aluminio, alúmina.

2.º Compuesto oxigenados ternarios.

a. Sales. -Figuran entre los compuestos oxigenados ternarios como más importantes las sales o combinaciones de un ácido, oxácido, con un óxido por lo que se llaman oxisales. En esta nomenclatura el género le constituye el ácido o elemento electro-negativo y la especie el positivo o sea el óxido o base. Como el ácido que forme la sal puede ser el terminado en ico o en oso, en el primer caso la terminación se cambia en ato y en el segundo la oso en ito. Ejemplo:

ácido nítrico con protóxido de potasio; nitrato de protóxido de potasio

ácido nitroso con protóxido de bario; nitrito de protóxido de bario.

Es común para abreviar suprimir la palabra óxido, diciendo solamente sulfato de potasio, nitrato de plata.

Las sales pueden ser neutras si el ácido y la base entran en iguales proporciones; ácidas si predomina el ácido y básicas si domina la base. En el primer caso su nomenclatura es la indicada; pero si la sal es ácida, se antepone al nombre genérico la palabra sobre o se pospone el nombre ácido; como sobresulfato de potasio o sulfato ácido de potasio; y para indicar las proporciones en que entra el ácido con relación a la sal neutra se antepone la palabra sesqui, bi, etc.: ejemplo; sesqui-carbonato de potasio, bi-carbonato de sodio. Si la sal es básica se precede o sigue al nombre genérico, sub o básico; como sub-sulfato de hierro o sulfato básico de hierro; y la proporción en que entra la base se indica anteponiendo a la palabra básico, sesqui, bi, etc.: ejemplo fosfato sesqui-básico de calcio.

Si son dos óxidos los que se combinan dan también origen a una oxisal en que el óxido más oxigenado hace el papel de ácido y el menos el de base; ejemplo, óxido de aluminio con óxido de cobalto, aluminato de óxido de cobalto. También pueden combinarse dos sales y dan origen a las sales dobles, ejemplo, sulfato de alúmina con sulfato de potasio forma el sulfato doble de alúmina y potasa.

3.º Compuestos no oxigenados binarios.

-Pueden ser ácidos o neutros.

a. Ácidos. -Están formados por el hidrógeno y un simple no metal o por dos cuerpos simples. En el primer caso el nombre genérico es también la palabra ácido y el específico termina en hídrico; ejemplo ácido clorhídrico. En el segundo caso, termina en ico, como ácido fluo-bórico.

b. Compuestos neutros. -Están formados por un cuerpo simple electronegativo y un metal o por dos cuerpos simples. Se designan terminando el nombre genérico, que lo forma el cuerpo más electronegativo, en uro; así se dice fósforo de hidrógeno, cloruro de azufre, yoduro de plata. Si hay varios de una misma combinación, se distinguen anteponiendo las palabras proto, sesqui, bi etc. protocloruro de hierro, sesquicloruro de hierro, percloruro de hierro.

Si los compuestos son gaseosos, es más común anteponer el nombre del hidrógeno al cuerpo simple que se termina en ado; hidrógeno carbonado. El nitruro de hidrógeno conserva su nombre vulgar de amoníaco y el nitruro de carbono se llama simplemente cianógeno.

4.º Compuestos no oxigenados ternarios. -Son resultado de la combinación de dos binarios, uno de ellos hidrácido, que tienen un elemento común, formando una verdadera sal, por cuya razón se designan como las oxisales, terminándolas en ato; ejemplo sulfhidrato de sulfuro de potasio.

5.º Aleaciones. -Se llaman aleaciones o ligas las combinaciones de dos o más metales; se designan nombrando los metales empezando por los más negativos o indicando las proporciones en que entran; ejemplo, dos partes de estaño y una de plomo. Si uno de los metales que entran en la combinación es el mercurio, el compuesto se llama amalgama y se cita solo el metal o metales que le acompañan; amalgama, de estaño.

16. Nomenclatura de Berzelius. -Este ilustre químico admitiendo muchos de los fundamentos de la nomenclatura francesa, la modificó sin embargo, poniéndola más en armonía con los nuevos descubrimientos hechos hasta su época. Empezó por dividir los cuerpos simples, en metaloides y metales y estos en electro-positivos y electro-negativos. Son metaloides los cuerpos simples sin brillo, ni aspecto metálico, electro-negativos con relación a los metales y al combinarse con el oxígeno dan por punto general ácidos. Muchos son sólidos y otros gaseosos a la temperatura y presión ordinaria y uno solo líquido el bromo. Los metales son cuerpos de brillo y aspecto metálico, buenos conductores del calor y la electricidad, electropositivos con relación a los metaloides, y al unirse al oxígeno forman por lo general óxidos o bases. Todos son sólidos a la temperatura ordinaria, excepto el mercurio. A pesar de caracteres tan opuestos, no están de acuerdo los autores sobre la colocación de algunos cuerpos, como el arsénico y el antimonio, que unos ponen entre los metaloides y otros entre los metales: por su brillo, su pesantez, su modo de alearse con otros metales, en una palabra por sus propiedades físicas son metales, pero por sus combinaciones con el oxígeno, hidrógeno y otros cuerpos, es decir por sus propiedades químicas son verdaderos metaloides.

Los químicos modernos prescinden de esta clasificación. Admite Berzelius las tres clases de compuestos, ácidos, óxidos y sales. La nomenclatura de los ácidos es idéntica a la francesa: la de los óxidos la hace bajo las mismas reglas que la de los ácidos, es decir terminando el nombre específico en oso o en ico y para compuestos de un mismo orden en que las proporciones sean mayores o menores, antepone al nombre genérico la palabra sobre o sub; así para el cobre si existiesen todos los compuestos que se pueden designar, serían

Sub-óxido cuproso,
óxido cuproso.
Sub-óxido cúprico,
óxido cúprico.
Sobre-óxido cúprico.

Respecto de las sales las divide en alógenas o aloideas y ánfidas o anfígenas. Las primeras están formadas por un metaloide cuerpo alógeno y un metal y terminan en uro; pero para distinguir los diferentes compuestos de una misma combinación, siguiendo el sistema establecido para los ácidos y los óxidos, termina también estas sales en oso y en ico y usa también las palabras sub y sobre; ejemplo

Sub-cloruro ferroso,

cloruro ferroso,
Sub-cloruro férrico,
cloruro férrico,
Sobre-cloruro ferrico.

Las sales ánfidas están formadas por un ácido y un óxido y su nomenclatura es la ya indicada respecto las oxisales; con la sola excepción que en las básicas, va precedido el nombre genérico de la palabra sub y el específico de las sesqui, bi etc., ejemplo. sub-nitrato triplúmbico, y en cuanto a las sales neutras se adjetiva el nombre específico terminándole en ico; sulfato alumínico, nitrato potásico.

17. Nomenclatura moderna. -En esta nomenclatura, arreglada a la teoría unitaria, de que hablaremos en la lección inmediata, a los ácidos se les denomina anhídridos, si se producen haciendo perder el agua a los ácidos oxigenados, ternarios ejemplo anhídrido sulfúrico, anhídrido nítrico. En cuanto a las sales ternarias se las termina también en ato o ito, pero agregando sólo el metal, que en esta teoría se supone reemplaza al hidrógeno que entra a formar el ácido, así el ácido sulfúrico, constituido por hidrógeno, azufre y oxígeno, se combina con el potasio y forma sulfato de potasio, formado de potasio, azufre y oxígeno.

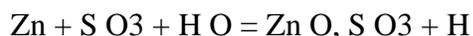
18. Nomenclatura escrita. -Tiene por objeto representar de una manera abreviada los cuerpos simples y compuestos y las reacciones químicas que producen al obrar unos sobre otros. Para representar los cuerpos simples, se emplea la letra inicial del nombre tomado del latín, lo cual constituye su signo, o símbolo químico; y si hubiera dos o más que empezasen con la misma letra se conserva esta para el conocido de más antiguo y, para los demás, se une a la inicial la segunda o la tercera; ejemplo, el carbono, cloro, calcio, cromo, cobre, serán sus símbolos C -Cl -Ca -Cr -Co.

19. Fórmulas y ecuaciones químicas. -La fórmula de los cuerpos compuestos se representa con los símbolos de los simples que les forman. Si el compuesto, es una sal, según la antigua nomenclatura (teoría dualística) se escribe primero el elemento positivo (el óxido) y después el negativo (el ácido) separados por una coma y en la teoría moderna (unitaria) se escribe primero el signo del metal (siempre el elemento positivo, al revés de como se pronuncia) y después el ácido, figurando el último el oxígeno; y las cantidades en que entran los elementos, por medio de un número a manera de exponente, aunque en la moderna formulación se coloca en la parte inferior.

Si de un mismo cuerpo compuesto entran dos o más átomos, se indican por un número en forma de coeficiente

3 K O, N O5

Una reacción química, se representa por medio de una ecuación, en cuyo primer miembro figuran los cuerpos que reaccionan, ligados por el signo +; y en el segundo el resultado de la reacción



Capítulo III

Teorías químicas y leyes de las combinaciones.

LECCIÓN 3.^a Teorías químicas. -Teoría del flogisto. -Teoría de los equivalentes o ley de Wenzel. -Hipótesis de Proust. -Ley de Dalton o de las proporciones múltiples. -Teoría atómica. -Teoría termo-química. -Teoría dualística. -Teoría electro-química. -Teoría unitaria. -Teoría sobre la materia.

20. Teorías químicas y leyes que presiden a las combinaciones. -Grandes esfuerzos han hecho los químicos de todos tiempos para poder explicar la constitución y naturaleza de los cuerpos compuestos y qué fuerza o qué causa es la que obliga a las moléculas a penetrarse para dar origen a las combinaciones; y las leyes bajo las cuales éstas se verifican. Desde la antigua teoría del flogisto hasta la moderna teoría unitaria, han sido muy diversas las hipótesis propuestas para explicar la fuerza de combinación y variadas las leyes que acerca de ella han sido halladas hasta el día. Vamos, pues, dentro de los límites que permiten unas sencillas nociones de Química, a dar una ligera idea de las principales teorías, cuyo desarrollo corresponde a los estudios de la ampliación de esta ciencia.

21. Teoría del flogisto. -Débese a Sthal a fines del siglo XVII, la primera teoría química que con algún fundamento racional dominó durante largo tiempo en esta ciencia, no menos que en la Medicina. Teoría que fue recibida con entusiasmo y de tal modo aceptada por todos los hombres de ciencia de aquella época, que evidenciados sus errores, fue preciso todo el peso de la autoridad de los sabios más eminentes de fines del siglo XVIII, para olvidarla.

El flogisto era algo que salía de los cuerpos en sus combinaciones, particularmente en la combustión; era por lo tanto el calor. Así se decía que el flogisto (del griego phlegoo quemar) o el fuego o el calor asociado a ciertos cuerpos producía determinadas combinaciones. Se admitía que existían cuerpos muy ricos en flogisto, como el carbón, el azufre, el fósforo y que por esta razón ardían muy fácilmente.

Los metales se les creía formados por cal y flogisto, de modo que al colocar un metal en una elevada temperatura, al arder o quemarse, su flogisto se convertía en calor y luz y desaparecía quedando sólo la cal; es decir, que el metal, por la combustión, se convertía en una cal. Hoy se dice que un metal al quemarse se combina con el oxígeno del aire y se convierte en un óxido, cal de los antiguos. Y por el contrario, cuando una cal según esta teoría, se combinaba con el flogisto, formaba el metal: hoy se dice que cuando una cal (óxido) se somete a la acción del fuego (flogisto) ya directamente, ya mezclado con una sustancia que le prive de su oxígeno, como el carbón, se reduce al estado metálico, porque pierde su oxígeno y se convierte en metal.

Desde luego se echa de ver el débil fundamento de esta teoría, al considerar que los metales al arder en contacto del aire, en vez de perder flogisto y disminuir de peso, por el contrario adquieren algo (oxígeno) que les hace aumentar de densidad. La gloria de haber desecho todo el artificio de esta teoría, que no se apoya en análisis bien probados, pertenece al ilustre Lavoisier que demostró concluyentemente que el oxígeno es quien se combina con los metales formando óxidos o cales, los que sometidos a una alta temperatura, en presencia de un cuerpo desoxidante éste se apodera del oxígeno y deja en libertad el metal.

22. Teoría de los equivalentes. -Ley de Wenzel. -A mediados del siglo XVII, Glauber dio a conocer diferentes hechos que fueron como bases ciertas en que más tarde se apoyaron teorías de la importancia de la de los equivalentes y que iniciaron los fundamentos científicos de la Química moderna. Observó aquel químico, que el ácido sulfúrico sustituía al ácido nítrico en sus combinaciones en cantidades determinadas y que dos sales después de descomponerse mutuamente, conservan el estado neutro en los nuevos compuestos que resultan. Estos y otros hechos sirvieron a Wenzel para establecer la ley que lleva su nombre y que puede enunciarse, las cantidades de muchos ácidos que neutralizan un peso dado de una base, son proporcionales a las cantidades que se necesitan de los mismos ácidos para neutralizar un peso determinado de otra base. Es decir que si se tienen varios pesos B -B' - B'' -B'''... de otras tantas bases, que pueden ser neutralizadas por un

un peso A de un ácido; si A' -A'' -A'''... son los pesos de varios ácidos que neutralizan un peso de base B; las cantidades de los ácidos A' -A'' -A'''... neutralizarán igualmente las proporciones de las bases B' - B'' -B'''... He aquí la razón del nombre equivalentes: porque siempre que ciertas cantidades en peso de materia, sustituyen a otras en sus combinaciones, se dice que son equivalentes a ellas. Llámase, pues, equivalente químico, la cantidad en peso que se necesita de un cuerpo para que reemplace o sustituya a otro en las combinaciones. Ejemplo: si sobre una cantidad de agua compuesta de 8 gr. de oxígeno y 1 de hidrógeno, se hace obrar el metal potasio, la experiencia demuestra que se necesitarán 39

gr. del metal para desalojar el 1 de hidrógeno y combinarse con los 8 de oxígeno, dando origen a 47 de óxido de potasio (potasa). Si queremos convertir aquel compuesto en óxido de sodio (soda), necesitaríamos 25 de sodio que desalojarán al 1 de hidrógeno, combinándose con los 8 gr. de oxígeno, resultando 31 de óxido de sodio; y si deseáramos transformar éste en óxido de hierro, sería necesario emplear 28 gr. de este último metal: estas cantidades en peso,

1 -39 -25 -28

son, pues, los equivalentes de los cuerpos

hidrógeno -potasio -sodio -hierro.

Estos números han recibido también el nombre de números proporcionales, es decir, números que representan los pesos de los cuerpos que entran en las combinaciones y que guardan una proporción constante en los diferentes pesos de un mismo compuesto.

No siendo el equivalente de un cuerpo una cantidad absoluta, ha sido preciso tomar otro cuerpo que sirva de unidad: en un principio se tomó el oxígeno como tipo y su equivalente se supuso igual a 100; en el día la mayor parte de los químicos toman como unidad el hidrógeno, cuyo equivalente hacen igual a 1. En cuyo caso el equivalente del oxígeno comparado con el del hidrógeno es 8; luego será equivalente de un cuerpo simple la cantidad en peso de dicho cuerpo que se combina con 8 de oxígeno para formar el primer compuesto oxidado. El equivalente de un cuerpo simple se puede determinar procediendo al análisis o del primer compuesto oxidado para conocer su composición en peso, averiguado lo cual es fácil hallar el equivalente. Sean por ejemplo 100 de óxido de plata que se descomponen por la acción del calor, quedando 93'1 de plata, desapareciendo 6'9 que eran de oxígeno que se ha separado y siendo el equivalente de este cuerpo 8 y x el del cuerpo que se desea conocer, tendremos

equivalente de la plata.

El equivalente de los cuerpos compuestos es igual a la suma de los equivalentes de los simples que entran a formar el compuesto; así los equivalentes del agua y del ácido clorhídrico, serán respectivamente

23. Hipótesis de Proust. -El Doctor inglés Proust admite que el equivalente de todo cuerpo simple es múltiplo del equivalente del hidrógeno o de un medio o un cuarto del mismo. Esta ley sin embargo parece que no es rigurosamente exacta.

24. Ley de Dalton o de las proporciones múltiples. -La teoría que Dalton expuso el año de 1807 en su obra Nuevo sistema de filosofía química, se conoce hoy con el nombre de ley de las proporciones múltiples y se expresa, cuando dos cuerpos se combinan para formar diferentes compuestos, mientras la cantidad de uno de ellos permanece constante, las proporciones del otro son siempre el producto de la multiplicación por 1, por 2, 3, 4 etc. del primero.

Ejemplo. Los cinco compuestos de nitrógeno y oxígeno, están en las proporciones siguientes:

14 de nitrógeno con 8 de oxígeno = 1 x 8
14 de nitrógeno con 16 de oxígeno = 2 x 8
14 de nitrógeno con 24 de oxígeno = 3 x 8
14 de nitrógeno con 32 de oxígeno = 4 x 8
14 de nitrógeno con 40 de oxígeno = 5 x 8

25. Teoría atómica. -Parte, como toda teoría, de varias hipótesis: 1.^a Los cuerpos están formados de átomos. 2.^a Los átomos de un mismo cuerpo tienen igual peso, invariable y 3.^a la combinación de los cuerpos resalta de la yuxtaposición de los átomos.

Las dos primeras hipótesis las admite la Física y con ellas se explican muchos hechos o fenómenos; la 3.^a la demuestra la Química. Esta teoría explica el porqué de las combinaciones según los equivalentes, pues los pesos de los átomos de los cuerpos simples, son en general como sus equivalentes. Varias leyes confirman, esta teoría, principalmente la ley de Ampere y la de Gay-Lussac. La primera relativa a las combinaciones de los gases dice que a igualdad de volúmenes, de presión y de temperaturas todos los gases encierran el mismo número de átomos, luego todos los átomos de un mismo gas, tienen igual peso. La ley de Gay-Lussac dice que cuando dos gases se combinan, sus volúmenes guardan una relación muy sencilla entre sí y con el volumen del compuesto resultante, hallándose a la misma presión y temperatura. Esta ley se llama también de los volúmenes. Como consecuencia de ella hay que agregar. 1.^o que nunca el volumen del gas vapor formado es mayor que la suma de los volúmenes de los gases componentes. 2.^o que cuando los gases se combinan en volúmenes iguales, el que resalta es igual a la suma de los volúmenes de los gases simples que forman el compuesto y 3.^o si se combinan en volúmenes desiguales, el volumen que resulta es menor; es decir, que hay contracción. Ejemplo:

Esta teoría ha sido sostenida por el célebre Berzelius. Gerhardt la modificó, asignando tan sólo a los pesos atómicos de los metales, la mitad de lo propuesto por Berzelius y admitió no sólo el átomo, sino la molécula que supone formada por dos átomos. Además que los cuerpos compuestos no tienen peso atómico por ser su parte más pequeña la molécula; entonces se toma el peso de ésta o sea el peso molecular, que se obtiene en cualquier cuerpo que sea gaseoso, multiplicando su densidad con relación al aire, por 28'88, número que es dos veces la relación entre la densidad del aire y la del hidrógeno.

Si se considera como equivalente de un cuerpo, su peso atómico, entonces aparece la ley de Dulong y Petit que dice que el peso atómico de un cuerpo multiplicado por su calor específico, es igual a una cantidad constante, llamada calor atómico y vale 6'4: multiplicando, pues, este número por el calor específico de los cuerpos, se obtiene su peso atómico. Y así como el hidrógeno se ha tomado como unidad de comparación para los equivalentes, también lo es para los pesos atómicos. Esta unidad de peso se refiere al litro de hidrógeno que pesa 0'0896 gramos, unos 9 centigramos y se ha llamado kritha (gramo); un libro, pues, de hidrógeno pesa una kritha y una de sus moléculas, puesto que son dos átomos, dos krithas.

26. Teoría termo-química. -La constituyen varias leyes, deducidas de los calores específicos aplicados a las combinaciones químicas. Estas leyes son:

a. De Dulong y Petit. -Todos los átomos de los cuerpos simples tienen el mismo calor específico.

b. De Regnault. -En los cuerpos compuestos de igual constitución atómica y química, los calores específicos están en razón inversa de sus pesos moleculares.

c. De Neumann y Kopp. -El calor molecular de un cuerpo compuesto, es igual a la suma de los calores atómicos de sus elementos constitutivos.

27. Teoría dualística. -Puede considerarse como la primera teoría científica que intentó explicar el modo cómo se hallan agrupadas las moléculas que constituyen los cuerpos compuestos. Establecida por Guyton de Morveau y Lavoisier, al fundar la nomenclatura que pretendían estuviese basada sobre la constitución de los cuerpos, fue desde luego admitida por todos los químicos y brillantemente sostenida por Berzelius, por más que en el modo de formular, como hemos visto, no estuviese conforme el ilustre químico alemán, con los franceses. En esta teoría los cuerpos compuestos o son binarios, ternarios o cuaternarios. Los binarios están formados de dos elementos, como el

oxígeno

óxido de sodio
sodio

Los ternarios de dos binarios, en los cuales entra un elemento común

oxígeno

ácido sulfúrico azufre
Sulfato potásico
Óxido de potasio oxígeno

potasio

Los cuaternarios de dos ternarios en que hay dos elementos comunes

ácido carbónico oxígeno

Carbonato potásico carbono
óxido potásico oxígeno
Carbonato sódico potásico potasio
ácido carbónico oxígeno
Carbonato sódico carbono
óxido sódico oxígeno
sodio

Hay, pues, en toda combinación, según esta teoría, dos elementos o mejor dos fuerzas que determinan la unión de los cuerpos que, dos a dos, forman los compuestos. Por eso ha recibido el nombre de teoría dualística.

28. Teoría electro-química. -Esta teoría ha venido a confirmar la dualística. Aunque se conocen varias teorías electro-químicas, todas ellas intentan explicar la afinidad o fuerza de combinación por el estado eléctrico de los cuerpos o que la electricidad es la causa de todos los fenómenos químicos. Tres son las teorías electro-químicas que se conocen, la de Davy, la de Ampere y la de Berzelius, siendo esta última la que mejor explica los fenómenos químicos. Berzelius parte, para establecer su teoría, de los fenómenos que se observan en la electrización de varios cuerpos principalmente la turmalina, que ya sabemos por Física que se electriza por el calor y adquiere las dos electricidades que se acumulan en los extremos del cuerpo formando como sus polos; pues una electrización y polaridad semejante supone Berzelius que tienen los átomos de los cuerpos; admitiendo 1.º que los átomos de que están, constituidos los cuerpos tienen la misma propiedad que la turmalina, un polo positivo y otro negativo; 2.º los polos de los átomos pueden tener distinta intensidad eléctrica. Según esto un cuerpo puede ser electro-positivo o electro-negativo, según la intensidad eléctrica de sus polos; más no será siempre, como ya hemos dicho (14) electro-positivo o electro-negativo, sino relativamente y según el cuerpo con quien se combine.

Resumiendo ahora cuanto dejamos expuesto acerca de los cuerpos simples, sus símbolos, equivalentes, y estado eléctrico, lo indicamos en el cuadro adjunto.

CUADRO DE LOS CUERPOS SIMPLES

Número de orden Nombres de los cuerpos simples

Signos

Equivalentes Hidróg.^o = 1

Clasificación electro-química

1	Aluminio Al. 13'7 O.
2	Antimonio Sb. 122'6 Fl.
3	Arsénico As. 75 Cl.
4	Azufre S. 16 Br.
5	Bario Ba. 68'5 I.
6	Bismuto Bi. 212 S.
7	Boro Bo. 10'8 Se.
8	Bromo Br. 80 Ph.
9	Cadmio Cd. 55'7 N.
10	Calcio Ca. 20 C.
11	Carbono C. 6 Bo.
12	Cerio Ce. 47'2 Si.
13	Cesio Cs. 133'4 As.
14	Cloro Cl. 35'4 Cr.
15	Cobalto Co. 29'4 Va.
16	Cobre Cu. 31'6 Mo.
17	Cromo Cr. 26'2 W.
18	Didimio Di. 49'6 Sb.
19	Donario Do. 49'6 Te.
20	Erbio Er. 49'6 Pp.
21	Estaño Sn. 58'8 Il.
22	Estroncio Sr. 43'8 Nb.
23	Flúor Fl. 19'1 In.
24	Fósforo Ph. 31 Ta.
25	Glucinio Gl. 7 Au.
26	Hidrógeno H. 1 H.
27	Hierro Fe. 28 Os.
28	Ilmenio Il. 60'2 Ru.
29	Indio In. 36 Ir.
30	Iodo I. 127 Pt.
31	Iridio Ir. 98'5 Rh
32	Lantano La. 48 Pd.
33	Litio Li. 7 Ag.
34	Magnesio Mg. 12 Hg.
35	Manganeso Mn. 27'5 U.
36	Mercurio Hg. 100 Cu.
37	Molibdeno Mo. 48 Bi.
38	Niobio Nb. 49 Sn.
39	Níquel Ni. 29'5 Pb.
40	Nitrógeno N. 14 Cd.
41	Oro Au. 98'2 Zn.

42	Osmio Os. 99'4 Ni.
43	Oxígeno O. 8 Co.
44	Paladio Pd. 53'2 Fe.
45	Pelopio Pp. 53'2 Mn.
46	Plata Ag. 108 Ce.
47	Platino Pt. 98'5 La.
48	Plomo Pb. 103'5 Di.
49	Potasio K. 39'1 Er.
50	Rodio Rh. 52'1 Tr.
51	Rubidio Rb. 85'3 Do.
52	Rutenio Ru. 51'6 Th.
53	Selenio Se. 59'6 Zr.
54	Silicio Si. 28'3 Yt.
55	Sodio Na. 23 Gl.
56	Talio Tl. 204 Al.
57	Tántalo Ta. 92 Mg.
58	Teluro Te. 64 GA.
59	Terbio Tr. 64 Ca.
60	Titano Ti. 25'1 Sr.
61	Torinio Th. 59'5 Ba.
62	Tungsteno W. 92 Li.
63	Urano U. 60 Tl.
64	Vanadio Va. 68'4 Cs.
65	Ytrio Yt. 32'2 Rb.
66	Zinc Zn. 33 Na.
67	Zirconio Zr. 33'6 K.

29. Teoría unitaria. Teoría sobre la materia. -La teoría unitaria o moderna, antítesis de la dualística se halla enlazada con la teoría acerca de la constitución de la materia, de que ya hemos hecho una indicación en el tratado del calor. Según ella no existe más que una sola clase de materia o la materia es una, la que más o menos condensada o según la colocación que tomen sus moléculas, así origina los diferentes estados de los cuerpos y hace que estos tengan muy diversas propiedades y caracteres físicos y químicos. Confirman esta teoría multitud de hechos, entre los que citaremos 1.º la sencillez con que en todas sus creaciones procede la naturaleza, dando origen con sólo escasos elementos o cuerpos simples a gran número de variados cuerpos: 2.º la ley de la gravedad que es igual para todos los cuerpos: 3.º que la mayor parte de los cuerpos simples tienen un mismo peso atómico o sus pesos atómicos son múltiplos entre sí. Partiendo del movimiento vibratorio de las moléculas de los cuerpos, sostienen los partidarios de la unidad de la materia que las diferentes propiedades que presentan los cuerpos son debidas a la mayor o menor rapidez o velocidad de las vibraciones de que están animadas las moléculas o partes infinitamente pequeñas que forman los átomos, partes a que Graun llama ultimatós.

La teoría unitaria considera a los cuerpos en dos grandes categorías; los que entran en las combinaciones en un solo átomo, a que se da el nombre de Mónadas y los que figuran por átomos dobles Díadas.

Oxígeno... Carbono

Azufre... Silicio.
MÓNADAS Selenio
Teluro

Hidrógeno... Nitrógeno
Cloro... Fósforo
DÍADAS Bromo... Antimonio
Yodo... Arsénico
Flúor... Boro
Los metales

En esta teoría, no sólo los fundamentos en que descansa, sino hasta la formulación y el lenguaje se apartan y son opuestos a los de la teoría dualística, como hemos tenido ocasión de ver.(17-19) Y así como en aquella se atribuye al oxígeno un gran papel en las combinaciones, así en la nueva teoría es el hidrógeno, a quien se considera como un metal, el que juega principalmente en las reacciones químicas. Así un ácido en esta teoría es un compuesto hidrogenado que tratado por el hidrato de potasio, produce agua y un compuesto análogo al ácido, sólo que en vez de hidrógeno tiene potasio,

Y una sal es un ácido en que el hidrógeno ha sido sustituido por un metal.

Además en la teoría unitaria las fórmulas de los cuerpos compuestos se refieren a los volúmenes: de modo que en la dualística la fórmula del hidrato de óxido de potasio es $K_2O \cdot H_2O$ y en la unitaria KOH: el agua, pues desaparece aquí y no hay tales hidratos, porque para formar la molécula agua se necesitan dos átomos de hidrógeno.

Han venido a apoyar la teoría unitaria, la de los tipos y la de la atomicidad. Llámase atomicidad la fuerza de combinación de los átomos. Si es un átomo el que se combina el cuerpo se llama monoatómico (cloro) si dos, diatómico (oxígeno) si tres triatómico (nitrógeno). Sin embargo no expresando estas palabras claramente la fuerza de combinación, se ha sustituido por la cuantivalencia o dinamicidad: el cloro es monovalente o monodinamo: el oxígeno divalente o didinamo y el nitrógeno trivalente o tridinamo.

La cuantivalencia se representa en la formulación por apóstrofes " ' " y si pasan de tres por números romanos: Ph.v

Libro segundo

Metaloides

Oxígeno

LECCIÓN 4.^a -Oxígeno. -Propiedades. -Obtención. -Ozono. -Combustión. -Llama. -Soplete. -Acción del oxígeno sobre la vida animal y vegetal.

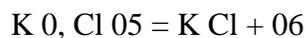
30. Oxígeno. -Fue descubierto por Priestley en 1774 según unos y por Scheele según otros; pero quien le estudió detenidamente y dio a conocer su naturaleza fue Lavoisier. En un principio se le llamó aire deflogisticado, pero en la nueva nomenclatura se le dio el de oxígeno (engendrador de ácidos) en la creencia de que él sólo formaba estos compuestos. Se presenta en dos estados alotrópicos distintos; oxígeno normal u ordinario y oxígeno electrizado u ozono.

A. Propiedades. -El oxígeno normal es gaseoso a la temperatura y presión ordinarias pero a una presión de 470 atmósferas y temperatura de 100° bajo cero, ha conseguido recientemente liquidarlo, Roul Pictet, de Ginebra. Es inodoro e insípido; más pesado que el aire; su densidad es de 1'1056; su equivalente 6. El agua disuelve

de su volumen de este gas. Se combina con más o menos energía con todos los cuerpos simples: no arde pero activa de un modo notable la combustión; no es pues combustible, pero sí comburente. Si en una campana que contenga oxígeno se introduce una cerilla que, recién apagada, conserve un punto en ignición vuelve a arder con llama más brillante. Esta combustión se hace aún más notable con el carbono, el fósforo, el hierro y otros cuerpos, que arden en el oxígeno produciendo luz viva e intensa. La combustión del hierro en el oxígeno puro es una de las más curiosas experiencias químicas. En un frasco que contenga oxígeno se introduce un espiral de hierro que en su extremo tenga un poco de yesca encendida, inmediatamente la combustión se comunica al hierro, produciendo una iluminación brillantísima. El oxígeno que se halla en el aire, es el elemento indispensable para la respiración, y por lo mismo para la vida. Este gas abunda extraordinariamente en la naturaleza, forma parte del agua, del aire y de numerosas combinaciones.

B. Obtención. -Muchos procedimientos se conocen para obtener el oxígeno, pero en lo general en las cátedras de Química elemental, se extrae del clorato de protóxido de potasio, al que se agrega una cortísima cantidad de bióxido de manganeso, que por una acción de presencia acelera la descomposición del clorato. Se pone la mezcla en una retorta de vidrio poco fusible (fig. 1.^a) y en su cuello se adapta por medio de un tapón de corcho o de catchú un tubo llarnado abductor (del latín ab hacia y ducere conducir) que sirve para conducir el gas a una cuba de agua llamada hidro-neumática, que puede ser de vidrio o de porcelana, pero, que en general es de madera forrada de zinc y lleva en su parte superior, pero cubierta por el agua una tabla con varios agujeros, llamada puente sobre el que se colocan las campanas o frascos, llenos también de agua, que han de recoger el gas. En un punto del tubo abductor hay el de seguridad, tubo encorvado que contiene unas gotas de mercurio y en su parte media lleva una bola que termina en un embudo. Tiene por objeto

este tubo dar seguridad al aparato, para evitar la rotura cuando terminada la operación y disminuyendo la presión interior del aparato, la presión atmosférica obliga al mercurio a bajar a la bola, pudiendo entonces penetrar el aire, evitándose así que lo haga el agua fría de la cuba. Calentada la sal con una lámpara de alcohol, empieza por licuarse en su agua de cristalización (fusión acuosa), luego se funde (fusión ígnea) y por último se descompone, desprendiéndose el oxígeno. No deben recogerse las primeras porciones del gas porque vienen mezcladas con el aire de interior del aparato. La reacción que se ha verificado es la siguiente:



31. Ozono. -Es un gas incoloro, de olor parecido al del fósforo o al que se nota en el aire en el paso de una chispa eléctrica, debido precisamente a que el oxígeno del aire se electriza y se convierte en ozono; de aquí su nombre (del griego ozoo tengo olor). Su densidad es igual a 4: ataca a la plata, lo que no hace el oxígeno normal y desaloja al yodo de sus combinaciones; de manera que si se tiene engrudo de almidón con yoduro potásico en presencia del ozono, inmediatamente se colora de azul, lo que prueba que el yoduro se ha descompuesto, apoderándose el ozono del metal y combinándose el yodo con el almidón, dando origen a un compuesto azul que algunos llaman yoduro de almidón. Se obtiene por varios medios; uno de ellos por la acción del ácido sulfúrico en frío sobre el bióxido de bario.

32. Combustión. -Diose el nombre de combustión en la época de Lavoisier, a la combinación del oxígeno con un cuerpo cualquiera, con desprendimiento de calor y luz: pero como hay combustiones en que no entra el oxígeno, en el día se llama combustión a toda combinación en que se desarrolla calor y luz. Sin embargo en la mayor parte de los casos, con raras excepciones, es el oxígeno del aire el elemento comburente de las combustiones.

33. Llama. -Es toda materia gaseosa calentada hasta el punto de hacerse luminosa. De donde se deduce que los cuerpos en combustión que no producen gases, no dan llama; tal sucede al hierro por enrojado de fuego que se encuentre y la mayor parte de las piedras. El poder iluminante de la llama depende del producto de la combustión: si este es volátil o gaseoso la llama es débil y pálida, como en la combustión del hidrógeno, cuyo producto es agua en vapor; si el producto es fijo o sólido la llama es viva y brillante, tal sucede en el gas del alumbrado y el petróleo, cuyo producto de la combustión es el carbono. En la llama hay que considerar cuatro partes; 1.^a la porción inferior azulada que la forma el óxido de carbono que se quema, 2.^a la parte oscura interior que es el depósito de los gases que todavía no se han quemado y permanece fría, o sin calor ni luz, 3.^a la parte exterior brillante que es la verdadera llama y 4.^a otra porción luminosa sumamente tenue y apenas perceptible que envuelve toda la llama. Que la parte oscura de la llama está fría, se

demuestra poniendo en el extremo de una varilla mala conductora del calor y que no arda, la cabeza de una cerilla fosfórica e introduciéndola en esa porción oscura de la llama, allí permanece bastante tiempo sin arder.

Además si se corta la llama por esa parte oscura con una tela metálica, los gases pasarán sin quemarse a través de la malla de la tela; pero sí se les podrá inflamar por la parte exterior de la misma, aproximando una bujía encendida. En este sencillo hecho estriba una de las aplicaciones más importantes ideada por Davy, en la llamada lámpara de seguridad o de mineros o lámpara de Davy, con la cual se hace difícil la inflamación de los gases que se desprenden en el interior de las minas de carbón.

34. Soplete. -Como el calor desarrollado en la combustión depende, no de la cantidad de combustible o cuerpo que se quema, sino de la cantidad de comburente o sea del oxígeno, puede aumentarse de un modo extraordinario la temperatura, lanzando una corriente rápida y continua de aire sobre el cuerpo que se quema; lógicamente esto, entre otros medios, con el soplete, aparato sencillo formado por un tubo metálico doblado en ángulo recto, de ramas desiguales; en el vértice del ángulo hay un depósito cilíndrico destinado a retener la saliva que se arrastra al soplar: la rama larga que se aplica a la boca termina en una boquilla de marfil. Este instrumento de gran utilidad en Química, lo es aún más en Mineralogía, a cuya ciencia corresponde más particularmente su descripción y manejo. Con un soplete formado por una corriente de gas del alumbrado alimentada por otra de oxígeno se puede producir una combustión con la cual se ha conseguido fundir el platino.

35. Acción del oxígeno sobre la vida animal y vegetal. -Hemos dicho que el oxígeno es necesario para la vida y en efecto penetrando en el aparato respiratorio (pulmones) produce según la opinión de Lavoisier una verdadera combustión quemando o combinándose con el carbono e hidrógeno excedentes de la sangre venosa o impura convirtiéndola en arterial o sangre vital; de modo que se forma ácido carbónico y agua. Los autores modernos no admiten estas transformaciones, sino que suponen que el ácido carbónico y el agua se hallan formados en la sangre venosa y que el oxígeno no hace más que reemplazarlos, no sólo en el aparato respiratorio, sino en todos los órganos. Sea de ello lo que quiera, es lo cierto que penetrando en el acto de la inspiración aire (oxígeno y nitrógeno) salen en la espiración ácido carbónico y agua en vapor. Demuéstrase la salida del ácido carbónico soplando por medio de un tubo en una disolución de cal en el agua y se ve al líquido de claro y cristalino ponerse turbio y depositarse un polvo de carbonato de cal.

Los animales acuáticos, como los peces, respiran el oxígeno que el agua tiene en disolución, el cual extraen por medio de su aparato respiratorio llamado branquias.

También los vegetales necesitan respirar: sus partes verdes como las hojas, durante el día absorben el ácido carbónico del aire y le descomponen, apropiándose el carbono y

dejando en libertad el oxígeno que vuelve a enriquecer la atmósfera que lo había perdido por la respiración de los animales; durante la noche absorben oxígeno y exhalan ácido carbónico: otro tanto hacen las partes coloreadas, así de día como de noche.

Lo particular en estos fenómenos es que siendo mucho mayor la cantidad de nitrógeno que hay en el aire que la de oxígeno, no se conozca aún el papel que aquel representa en el aire y por consecuencia qué acción ejerce en la respiración, pues indudablemente ejerce alguno.

Hidrógeno. Agua.

LECCIÓN 5.^a Hidrógeno. -Propiedades. -Obtención. -Aplicaciones. -Agua. -Propiedades. -Destilación. -Análisis y síntesis del agua. -Agua oxigenada.

- I -

36. Hidrógeno. H. -Dícese que la existencia de este cuerpo fue sospechada por Paracelso a principios del siglo XVI; pero quien le dio a conocer y estudió sus propiedades fue Cavendish en 1777. Se llamó en un principio aire inflamable; pero en la nueva nomenclatura se lo dio el nombre de hidrógeno (del griego *idoo* agua y *ginomai* engendrar)

A. Propiedades. -Es gaseoso a la temperatura y presión ordinarias, pero el mismo Pictes que liquidó el oxígeno, logró, bajo una presión de 650 atmósferas y temperatura de 140 liquidar y solidificar el hidrógeno. Es incoloro, inodoro e insípido; es el cuerpo más ligero de todos, pues pesa 14'44 veces menos que el aire, siendo su densidad comparada con la de este fluido, de 0'0692. Es muy poco soluble en el agua; este líquido sólo disuelve

de su volumen de hidrógeno; conduce muy bien el calor y la electricidad. No sirve para la combustión, pero él arde; es decir, que es combustible, pero no comburente; una cerilla encendida que se introduzca en una campana que contenga hidrógeno, el gas arde, pero la cerilla se apaga, la que debe sacarse rápidamente de la campana, pues de lo contrario la llama, del gas vuelve a encenderlo. El producto de la combustión del hidrógeno es agua; para demostrarlo, se inflama el hidrógeno que se desprenda por el extremo de un tubo cubierto con una campana y se verá llenarse sus paredes de gotas de agua. No sirve para la respiración, pero no porque sea deletéreo o venenoso, sino porque no puede convertir la sangre venosa en arterial: los animales que le respiran mueren por asfixia (del griego *a sin y sfixis* pulso).

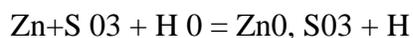
Mezclando un volumen de hidrógeno y 5 de aire e inflamada la mezcla, se produce una explosión, rompiendo la vasija; si la mezcla detonante se hace con dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, colocados en una vejiga con llave y mechero de latón y se

comprime la vejiga haciendo caer el chorro en una disolución de jabón, pues en un mortero o almirez de hierro, aproximando una cerilla encendida a las burbujas que se forman, arden con violenta detonación. Si el dardo de un soplete de gas oxígeno e hidrógeno se dirige sobre un trozo de magnesia, le calienta hasta el rojo blanco, produciendo una luz brillantísima, llamada luz de Drumond; y en fin, si se inflama el hidrógeno que se desprende por un tubo vertical terminado en punta y se cubre con otro de cristal abierto por ambos extremos, la llama se alarga hasta hallarse más alta que el orificio de salida del gas y se oye una serie de sonidos graves o agudos, resultado de las vibraciones de la llama y el aire, según sea el diámetro del tubo y que se baje o suba más o menos: esta experiencia se llama armónica química.

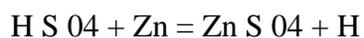
Las propiedades químicas que posee este gas, algunas de ellas muy singulares, han sido causa de la gran importancia que en la Química actual se concede al hidrógeno. Una de las propiedades más notables de este cuerpo, es la facilidad con que penetra en el interior de los metales fijándose en ellos. Graham, químico inglés dice que el paladio absorbe 982 veces su volumen de gas hidrógeno y considera este compuesto como una verdadera aleación, por esta y otras razones, se considera al hidrógeno como un metal.

Hállase el hidrógeno profusamente esparcido en la naturaleza: entra en la composición del agua formando las dos terceras partes de su volumen, se halla en los carburos de hidrógeno muy abundantes y en todas las sustancias orgánicas.

B. Obtención. -Se extrae el hidrógeno del agua, por la acción que tienen ciertos metales de descomponerla, ya en frío, ya al calor rojo, apoderándose del oxígeno y dejando en libertad el hidrógeno. El procedimiento más fácil y breve para obtenerlo, consiste en poner en un frasco bitubulado (fig. 3) granalla de zinc, en una de las bocas un tubo recto, terminado en embudo, por donde se ha de verter agua acidulada con ácido sulfúrico o bien se coloca antes el agua y se vierte poco a poco el ácido por el tubo que sirve al mismo tiempo de tubo de seguridad; y en la otra boca se fija un tubo abductor que conducirá el gas a una campana colocada en la cuba hidroneumática. Tan pronto como el ácido y el agua se hallan en contacto del zinc, comienza la reacción que según la teoría dualística, el agua se descompone, su oxígeno se combina con el zinc y forma óxido de zinc, que con el ácido sulfúrico, sulfato de zinc y el hidrógeno se desprende.



Según la teoría unitaria, siendo el ácido sulfúrico un compuesto de hidrógeno azufre y oxígeno, el zinc reemplaza al hidrógeno, formándose como en el caso anterior, sulfato de zinc e hidrógeno libre



El hidrógeno así obtenido no es puro, porque no lo es el zinc del comercio que se emplea para este objeto, pues contiene carbono, azufre, arsénico y fósforo, cuyos cuerpos con el hidrógeno forman compuestos gaseosos pero se purifica haciendo pasar el gas por tubos en forma de U, que contengan potasa, cloruro mercúrico, nitrato de plata y acetato de

plomo. Es preferible y así se hace cuando hay que obtenerlo muy puro para ciertos análisis, emplear el zinc purificado y el agua y ácido sulfúrico químicamente puros.

C. Aplicaciones. -Son muchos e importantes: para obtener los globos acroestáticos, para obtener la luz de Drumond. y reducir los óxidos.

El hidrógeno se combina con el oxígeno y da origen a dos compuestos, el protóxido de hidrógeno o agua común y el bióxido de hidrógeno o agua oxigenada.

- II -

37. Agua.-H₂O. -En tres estados se presenta en la naturaleza sólida formando la nieve, el hielo, granizo y escarcha; líquida en los mares, ríos, etc. y en el estado de vapor en la atmósfera.

A. Propiedades. -En el estado líquido es incolora, inodora e insípida; se solidifica a 0° y hierve a 100. Colocada en una elevada temperatura se descompone, así como también por la electricidad y la acción de muchos cuerpos simples como el carbón, el hierro etc. que se combinan con el oxígeno, excepto el cloro y algún otro, que al descomponer el agua, en condiciones dadas, se apodera del hidrógeno. Es curioso lo experimentado por Grove que descompuso el agua haciendo pasar su vapor por un tubo de platino incandescente; y Saint Claire Deville (Enrique) la descompuso en parte haciendo pasar el vapor de agua por un tubo de porcelana calentado hasta 1300 grados.

El agua no se encuentra pura en la naturaleza; la que más se aproxima a la pureza es la de lluvia, recogiéndola directamente de las nubes y algún tiempo después que está lloviendo, porque las primeras porciones arrastran muchas impurezas de la atmósfera. Según las sustancias que contienen y que sirvan o no para los usos de la vida, se dividen las aguas en dulces o potables y crudas o no potables. Es dulce o potable un agua cuando es limpia, diáfana, inodora e insípida, disuelve el jabón sin producir grumos y cuece bien las legumbres. Es cruda o no potable si corta el jabón sin disolverle y no cuece las legumbres; lo cual proviene de que las materias calizas y magnésicas que estas aguas contienen se depositan al evaporarse el agua, en el tejido de la legumbre y combinándose con un principio llamado legumina forma un compuesto insoluble: El agua sin embargo no será potable porque sea muy pura y pues es preciso que contenga aire y alguno corta cantidad de sustancias salinas en la proporción de unos 5 centígr. por litro.

Si la materia que predomina en las aguas es el yeso (sulfato de calcio) se llaman selenitosas y si bicarbonato de calcio, calizas.

Si las aguas contienen principios que ejerzan una acción benéfica en el organismo, pudiendo emplearse en la curación o alivio de determinadas dolencias, entonces reciben el nombre de medicinales o minerales, que según los principios que en ellas dominan o las

mineralizan, así se llaman sulfurosas, carbónicas, salinas, ferruginosas, siendo unas y otras termales o calientes y frías.

38. Destilación. -El agua es de un uso frecuentísimo en Química, pero es preciso usarla casi siempre pura y no hallándose en ese estado en la naturaleza, se la purifica por medio de la operación llamada destilación y los aparatos en que se verifica se conocen con el nombre de alambiques o alquitaras. Consta un alambique (fig. 4) 1.º de una caldera A de cobre estañado en su interior llamada cucúrbita colocada en un hornillo, en la que se pone el agua; 2.º de una cubierta C, denominada capitel que lleva un tubo lateral que comunica con otro R en forma de espiral, llamado serpentín o refrigerante que se halla dentro de un baño de agua fría. Calentada el agua hasta la ebullición, los vapores pasan al serpentín donde se condensan y en el estado líquido sale por el extremo inferior del tubo. Las primeras porciones no se aprovechan porque arrastran las sustancias volátiles que pudiera contener el agua; ni debe apurarse demasiado la destilación, porque descomponiéndose al final de la operación las sustancias fijas, irían sus productos con el vapor de agua.

Suele acompañar al alambique una pequeña caldera llamada baño de maría que se introduce en la cucúrbita, que tiene agua, quedando suspendida en su cuello y sirve para las sustancias que no han de sufrir más temperatura que 100º, es decir la del punto de ebullición del agua de la cucúrbita. Conócese que el agua es destilada, cuando además de no presentar carácter ninguno con los reactivos de que hablaremos, evaporada una porción en una hoja de platino, no deja en ella huella ni sombra alguna de materia extraña, permaneciendo limpia y brillante como antes.

Otros aparatos destilatorios se emplean según los líquidos que se quieren purificar o separar de otros y, cuyo punto de ebullición sea muy diferente; tal es el alambique de Salleron para destilar el alcohol y conocer así su riqueza alcohólica.

Reconócese la presencia en el agua de algunas de las sustancias extrañas más importantes, del modo siguiente. 1.º el ácido carbónico con el agua de cal o de barita: 2.º los cloruros con el nitrato de plata: 3.º las sales de calcio con el oxalato amónico: 4.º las sales metálicas con el sulfhidrato amónico y las sustancias orgánicas con el bicloruro de mercurio.

39. Análisis y síntesis del agua. -Este líquido fue considerado como un elemento o sustancia simple desde la época de Aristóteles hasta fines del siglo XVIII, en que se conoció su naturaleza formada por dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno.

Por los dos procedimientos, el analítico y el sintético, se confirma la composición del agua.

A. Análisis. -Son varios los métodos analíticos: citaremos tan solo dos.

1.º Por la electricidad. Haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua en el aparato conocido ya por Física, llamado Voltámetro.

2.º Por la acción del hierro. Haciendo penetrar una corriente de vapor de una cantidad dada de agua por el extremo de un tubo de porcelana que en su interior tiene hierro metálico que se calienta hasta el rojo en un hornillo rectangular: el hierro fija el oxígeno y el hidrógeno sale por el otro extremo y se recoge en una campana. Pesado el hierro antes y después de la operación y lo mismo el hidrógeno recogido, se tiene el peso de los gases que forman una cantidad determinada de agua.

B. Síntesis. -Haremos mención de otros dos métodos sintéticos.

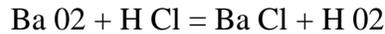
1.º Por la acción del hierro. Se hace pasar una corriente de hidrógeno, puro y seco al través del óxido de hierro colocado en un tubo de vidrio poco fusible y calentado: el hidrógeno se apodera del oxígeno y forma agua que en vapor sale por el extremo opuesto, del tubo, se condensa, recoge y pesa; pesando del mismo modo el hierro que queda, se deduce el del oxígeno que se combinó con el hidrógeno y de la diferencia entre el peso del agua recogida y el del oxígeno se deduce el del hidrógeno.

2.º Por el eudiómetro. El usado, generalmente consiste en un cilindro grueso de vidrio C (fig. 5) provisto en sus bases de guarniciones metálicas con dos llaves L L'. En m lleva una esferita de latón con una varilla colocada en frente de otra en el interior y entre las que ha de saltar la chispa eléctrica que va, a determinar la combinación: en la parte superior se atornilla un tubo T graduado: por fin hay otro tubo más pequeño llamado medidor M. Lleno el cilindro y el tubo T de agua y colocado sobre el puente de la cuba hidroneumática, se abre la llave inferior L y se hace pasar por la base B por medio del medidor abriendo la corredera metálica C que lleva en la boca, 100 volúmenes de hidrógeno y luego otros 100 de oxígeno; haciendo saltar la chispa sobre la esfera m, se produce la combinación acompañada de una ligera sacudida y una luz en el interior, desapareciendo 150 volúmenes que se convirtieron en agua, pues si se abre la llave superior L', el agua del tubo T desciende y pasan a él 50 volúmenes de un gas que analizado resultará que es oxígeno; luego el agua está formada por 50 volúmenes de oxígeno y 100 de hidrógeno o 1 y 2.

Ahora fácil es determinar el peso de los gases que forman el agua, toda vez que se conocen sus densidades, pues la relación entre éstas es igual a la de los pesos

C. Aplicaciones. -Quizás no haya un cuerpo que ofrezca más usos y aplicaciones que el agua; es casi tan indispensable para la vida como el aire y sus aplicaciones en el estado sólido como en el de líquido y vapor, a la industria, a las artes, a la agricultura y a las ciencias en general, son numerosísimas y de la mayor importancia.

40. Bióxido de hidrógeno. H O₂. -Se halla formado por 1 átomo de hidrógeno y 2 de oxígeno, por cuya razón se llama agua oxigenada. Es líquido, incoloro e inodoro, de un sabor picante algo metálico, consistencia de jarabe; su densidad es 1452. Es un cuerpo poco estable, pues a los 20° se descompone; es muy oxidante. Se prepara tratando el bióxido de bario por el ácido clorhídrico, con ciertas precauciones.



Una aplicación importante se ha hecho del agua oxigenada, para restaurar los cuadros antiguos al óleo, cuando se han ennegrecido por las emanaciones sulfhídricas, que obrando sobre el albayalde (carbonato de plomo) forma un sulfuro de plomo negro; tratado por el agua oxigenada el sulfuro se trasforma en sulfato de plomo, blanco.

Nitrógeno. -Aire

LECCIÓN 6.^a -Nitrógeno. -Propiedades. -Obtención. -Aire. -Propiedades. -Análisis del aire. -El aire es una mezcla. -Combinaciones del nitrógeno con el oxígeno. -Protóxido y bióxido de nitrógeno. -Ácido hiponítrico.

- I -

41. Nitrógeno. N. -Descubierto por Rutheford, en 1772, y estudiado por Lavoisier en 1775. Se llamó en un principio mofela atmosférica y en la nomenclatura francesa azoe (del griego a y zoos viviente) por que no sirve para la vida: denominación impropia porque hay otros gases que tienen la misma propiedad. Hoy casi todos los químicos le llaman nitrógeno (engendrador del nitro.)

A. Propiedades. -Es gaseoso, incoloro, inodoro e insípido: densidad 0'972: el agua disuelve 0'16 de su volumen de nitrógeno. No sirve para la combustión ni para la respiración. No se combina directamente con el oxígeno, pero si los dos gases están húmedos, una serie de chispas eléctricas puede determinar su combinación; tal es el origen del ácido nítrico que se forma en las tempestad y que acompaña a las primeras gotas de lluvia que caen de las nubes eléctricas.

No existe puro en la naturaleza, pero sí abundante mezclado con el oxígeno, formando las

partes del aire; en todos los nitratos y en muchas sustancias orgánicas.

B. Obtención. -Se prepara calentando en una retorta de vidrio el nitrito de amoniaco.



42. Aire atmosférico. -Sospechada por Juan Rey en 1630 la composición del aire, fue comprobada por Lavoisier en 1774, dejando desde entonces de ser considerado como un elemento.

A. Propiedades. -Es gaseoso, sin olor ni sabor y sin color en pequeñas masas: su densidad es 1'0; muy mal conductor del calor y la electricidad. Hállase formado por la mezcla de varios gases constantes y diversas sustancias accidentales o en cantidades diferentes: los gases que constantemente forman el aire son el oxígeno y el nitrógeno, en cantidades fijas; contiene además de 4 a 10 milésimas de ácido carbónico y cantidades variables de vapor de agua: las sustancias accidentales son el ozono, ácido nítrico, carbonato de amoníaco etcétera, y gérmenes de animales y vegetales microscópicos.

43. Análisis del aire. -Desde las experiencias de Lavoisier para conocer la naturaleza del aire, se han ideado diversos procedimientos para determinar su composición. Citaremos los dos más conocidos.

1. Análisis eudiométrico. -Puede usarse el endiómetro empleado para el análisis del agua (fig. 5), poniendo en él 100 volúmenes de aire puro, es decir, privado de ácido carbónico y agua y 100 de hidrógeno; se hace saltar la chispa eléctrica; entonces abriendo la llave superior, el resto de los gases, no combinados, pasará al tubo graduado y se verá que son 137, habiendo desaparecido 63 volúmenes que se convirtieron en agua y como ésta se halla formada por dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, de los 63, corresponden 42 al hidrógeno y 21 al oxígeno; y puesto que de los 100 volúmenes de aire colocados en el endiómetro, ha desaparecido todo el oxígeno, el resto, o sea 79, son de nitrógeno.

2. Análisis por el cobre. -Débese este método a Dumas y Boussingault y está fundado en la fijación del oxígeno por el cobre enrojecido. El aparato usado a este efecto consiste (fig. 6) en un globo de vidrio A con llave B, en el cual se ha hecho el vacío y pesado, y está unido por un pequeño tubo con llave C a otro de mayor diámetro poco fusible T que en su interior lleva torneaduras de cobre y se halla colocado sobre un hornillo de palastro de hierro cuyo tubo previamente se ha pesado también; éste a su vez está enlazado a otro con llave D y a continuación dos tubos E F en forma de U, que contienen amianto o piedra pómez empapada de ácido sulfúrico; luego un aparato L de bolas de Liebig que contienen potasa cáustica y por fin otros tres tubos O, P, R también de forma de U, con piedra pómez y ácido sulfúrico, el último de los cuales se pone en comunicación con el depósito de aire que se va a ensayar. Dispuesto todo, se enrojece el tubo y las torneaduras de cobre y se abre poco a poco la llave del tubo, entonces el aire por su expansibilidad pasa por los tubos R, P, D, donde deja el agua que absorbe el ácido sulfúrico, atraviesa por el aparato de las bolas donde deposita el ácido carbónico y pasa por los tubos F E en los cuales se despoja del agua

que pudo haber tomado de la potasa, penetrando seco y sin ácido carbónico en el tubo de porcelana, donde el cobre se apodera del oxígeno, pasando al globo de vidrio el nitrógeno. Terminada la operación, se pesa el tubo y la diferencia de peso dará el del oxígeno que se unió al cobre; pesado asimismo el globo, la diferencia también entre el globo vacío y lleno del gas, indicará el del nitrógeno. Repetida la experiencia ha dado por resultado, que 100 partes de aire contienen.

Si se quisiera determinar la cantidad de ácido carbónico vapor de agua contenidos en un volumen de un aire determinado, se hallaría, habiendo pesado antes los tubos y aparato de bolas y pesándolos después; con estos datos y teniendo en cuenta la temperatura, la tensión del vapor y la presión, se encontrarían las cantidades de ácido carbónico y agua.

44. El aire es una mezcla. -Varios hechos demuestran que el aire no es una combinación, sino una mezcla; 1.º que toda combinación de gases, se verifica siempre en proporciones sencillas (24) y siendo las cantidades desiguales, hay contracción en el compuesto que resulta (25); lo cual no sucede en el aire. 2.º En toda combinación química hay siempre producción de calor y electricidad, lo que no se observa, al formarse el aire artificialmente. 3.º El agua disuelve mayor cantidad de oxígeno del aire que de nitrógeno; si fuera una combinación, el agua disolvería aire, y por consecuencia los dos gases en las proporciones en que, estuvieran combinados. 4.º El poder refringente de un cuerpo compuesto gaseoso es siempre mayor o menor que el de la suma de los elementos que le forman; en el aire es igual y 5.º Si fuera una combinación no será posible que tan fácilmente se separase el oxígeno en el acto de penetrar en los pulmones para la respiración.

- II -

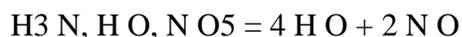
45. Combinaciones del nitrógeno con el oxígeno. -Se combinan estos dos gases dando origen a cinco compuestos, dos óxidos el protóxido y el bióxido de nitrógeno y tres ácidos el nitroso, el hiponítrico y el nítrico.

46. Protóxido de nitrógeno. -N O. -Descubierto por Priestley en 1776.

A. Propiedades. -Es un gas a la temperatura y presión ordinaria, incoloro, inodoro y de un sabor ligeramente azucarado. A 0º y 30 atmósferas de presión se liquida y al evaporarse, tomando calor de su misma masa, que hace latente, produce, un frío que le solidifica en una masa cristalina. Es comburente; una cerilla con un punto en ignición arde

con luz viva en una atmósfera de este gas; obra sobre el sistema nervioso produciendo la insensibilidad, causando antes, según algunos autores una especie de risa convulsiva, por lo cual se ha llamado este cuerpo gas hilarante.

B. Obtención. -Obtiene calentando en una retorta de vidrio el nitrato de amoníaco:



C. Aplicaciones. -Alguna vez se usa, por los dentistas como anestésico.

47. Bióxido de nitrógeno. - N O_2 . -Descubierto por Hales en 1760.

A. Propiedades. -Es gaseoso e incoloro: otras de sus propiedades no ha sido posible apreciarlas, por que tan pronto como se pone en contacto del aire absorbe oxígeno y se trasforma en el ácido en ácido nitroso según unos, y en ácido hiponítrico según otros, dando vapores rojos: es absorbido las disoluciones de las sales ferrosas.

B. Otención. -En el frasco bitubulado de la fig. 3, se ponen torneaduras de cobre y un poco de agua y vertiendo ácido nítrico por el embudo, inmediatamente empieza la reacción y el bióxido de nitrógeno que se produce en contacto del oxígeno del aire del frasco se trasforma en vapores nitrosos rojos, hasta que consumido el oxígeno aparece el gas incoloro.



48. Ácido hiponítrico N O_5 . -Descubierto cuando el ácido nítrico, pero no conocida su naturaleza hasta la época de Gay Lusac.

A. Propiedades. -Líquido a la temperatura ordinaria, de color amarillo rojizo: hierve a 22° ; su densidad es de 1'45. En contacto del aire da vapores pardo-anaranjados,

B. Obtención. -Descomponiendo por la acción del fuego el nitrato de protóxido de plomo bien seco, en una retorta de vidrio enlodada, con un recipiente rodeado de una mezcla frigorífica:



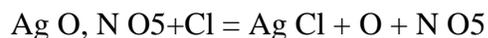
LECCIÓN 7.^a Ácido nítrico. -Propiedades. -Preparación. -Aplicaciones. Compuestos de nitrógeno e hidrógeno. -Amoniacó. -Propiedades. -Preparación. -Aplicaciones.

49. Ácido nítrico. -Fue descubierto este ácido por Raimundo Lulio calentando una mezcla de nitro y arcilla y recibió el nombre de espíritu de nitro y más tarde en el comercio el de agua fuerte. Estudiadas y conocidas sus propiedades y composición por Cavendish, Gay Lussac y otros sabios, se lo llamó en la nueva nomenclatura ácido nítrico. Se presenta en dos estados, sólido o anhidro y líquido o hidratado.

1.º Acido nítrico anhidro. N O₅. Fue descubierto por E. Saint Clair Deville.

a. Propiedades. -Es sólido, cristalizado en largos prismas romboidales incoloros; se funde a 30° y hierve a 50° y a una temperatura más elevada se descompone en O + NO₄. No puede conservarse aún en un tubo cerrado y en baja temperatura, porque se descompone rompiendo la vasija.

b. Obtención. -Se prepara haciendo pasar una corriente de gas cloro seco por el nitrato de plata, también desecado, puesto en un tubo en forma de U rodeado de una mezcla frigorífica



2º Acido nítrico hidratado. N O₅ H O. -Este ácido en su mayor grado de concentración contiene un equivalente de agua y es por lo mismo monohidratado.

a. Propiedades. -Cuando puro es líquido, incoloro, de olor característico nitroso y de un sabor acre y corrosivo; es fumante, es decir, da humos en contacto del aire, porque absorbe el vapor de agua con quien tiene gran afinidad y se combina con ella: densidad 1'43; hierve a 86° y a los 50, bajo cero toma la consistencia de manteca. El calor le descompone y también la luz, coloreándose de amarillo por disolverse en él el ácido nitroso, producto de la descomposición: con ese color figura en el comercio. Enrojece fuertemente la tintura azul de tornasol y destruye la piel tiñéndola de amarillo que no desaparece hasta que se renueva la piel.

Es un oxidante sumamente enérgico: ataca a muchos metales en frío, como la plata y el cobre y le descomponen apoderándose de parte de su oxígeno algunos metaloides. El algodón sumergido en este ácido durante algunos minutos y luego bien lavado con agua destilada, se convierte en una materia muy inflamable llamada algodón, pólvora o piroxila, que tratado por el éter sulfúrico, da una sustancia de aspecto gelatinoso llamado colodión usado en la fotografía.

Puede adquirir mayor cantidad de agua, en cuyo caso sus propiedades varían algún tanto. Es un veneno muy activo.

Hállase abundante en la naturaleza en estado de combinación, formando nitratos.

B. Obtención. -Se extrae del nitrato de potasio o salitre que con ácido sulfúrico, en pesos iguales, se coloca en una retorta de vidrio (fig. 7) en la que se acomoda, un matraz de cuello largo sin tapón ninguno que sería destruido por los vapores nítricos: este matraz se pone en un baño de agua cubierto con una tela a quien refresca un chorro de agua fría. Calentada la mezcla, empieza la reacción, que da por resultado ácido nítrico que pasa, a condensarse al matraz.



En la industria se obtiene en grandes cantidades, porque su consumo es considerable, sustituyendo al nitrato de potasio el de sodio, colocado en cilindros o calderas de hierro, que comunican con vasijas de barro llamadas bombones o damas-juanas. Así obtenido no es puro, pues contiene ácido nitroso y algo de ácido sulfúrico; pero se purifica, destilándole en aparatos de vidrio con nitrato de plata, que convierte el ácido nitroso en nítrico; y nitrato de plata que forma con el sulfúrico, sulfato de bario.

C. Aplicaciones -Son muchas e interesantes. Se emplea para teñir la seda de amarillo; para el grabado en cobre o al agua fuerte, arte que se dice inventó el famoso grabador alemán Alberto Dürero, que floreció a fines del siglo XV; para preparar el ácido sulfúrico y en los ensayos y análisis

[Facilitado por la Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes](#)

Súmesese como **[voluntario](#)** o **[donante](#)**, para promover el crecimiento y la difusión de la **[Biblioteca Virtual Universal](#)**.

Si se advierte algún tipo de error, o desea realizar alguna sugerencia le solicitamos visite el siguiente **[enlace](#)**.

