



Rafael Blanco Juste

Elementos de física y nociones de meteorología

2003 - Reservados todos los derechos

Permitido el uso sin fines comerciales

Rafael Blanco Juste

Elementos de física y nociones de meteorología

Nociones preliminares

1. Ciencias cosmológicas: Ciencias Físico-naturales. -Con la denominación de Ciencias cosmológicas se comprenden todas las ciencias que estudian el Cosmos o Universo; pero lo vasto de este estudio ha hecho que se dividan en dos grandes ramas fundamentales:

CIENCIAS ASTRONÓMICAS, que comprenden el estudio de los astros principalmente en su forma, dimensiones, posición relativa, movimiento y sus efectos; y

CIENCIAS FÍSICO-NATURALES, que, aunque en su concepto amplio investigan la naturaleza y constitución de todos los seres del Universo, en lo general limitan su estudio a nuestro planeta, a los seres que le pueblan y a las modificaciones más o menos profundas que en ellos se verifican; tales modificaciones se llaman fenómenos.

Ambos grupos de ciencias se subdividen en otras varias ramas o ciencias distintas.

2. Cosmos o Universo. -Es el espacio infinito y el conjunto de seres en él existentes; en el lenguaje corriente se llama también Mundo y Naturaleza, si bien la palabra Naturaleza se emplea frecuentemente para designar la causa creadora de todo lo existente, y aun es común usarla en sentidos más restringidos (lugar de nacimiento, constitución de los seres naturales...).

3. Materia. -La materia es un algo que forma los cuerpos, y de la que el hombre tiene una idea innata; se suele definir como todo lo que llena el espacio e impresiona, directa o indirectamente nuestros sentidos.

4. Cuerpo. -Es toda porción limitada de materia: el aire, el agua, una piedra..., y, en general, todos los objetos. Los cuerpos tienen como límites las superficies, y éstas a su vez están limitadas por las líneas.

El conjunto de cuerpos que afectan a nuestros sentidos constituye el mundo material, y la cantidad de materia contenida en cada cuerpo forma su masa.

5. Fenómenos; división. -Se dicen fenómenos a los cambios o modificaciones que experimentan los cuerpos.

Los fenómenos pueden ser: FÍSICOS, cuando afectan solamente al modo de presentarse el cuerpo, siendo sus efectos, por lo general, pasajeros (fusión del hielo, caída de un cuerpo...); y QUÍMICOS, si producen alteración en la manera de ser o naturaleza del cuerpo, persistiendo generalmente sus efectos (combustión del carbón, alteración del hierro en el aire húmedo, combustión del azufre...).

Los fenómenos, ya físicos, ya químicos, cuya causa ocasional es la vida, se llaman FENÓMENOS BIOLÓGICOS (movimientos propios de los seres vivos, actos químicos de la digestión...) y se manifiestan en todos los seres vivos.

6. Éter físico. -Admitese actualmente por los físicos, además de la materia propia que constituye la esencia de los cuerpos, y que necesariamente ha de ser pesada y extensa, por lo que se llama también materia ponderable y coercible, otra especie de materia perfectamente elástica y en extremo sutil, no susceptible de pesarse, y que existe de una manera continua en el espacio, repartida entre todos los cuerpos y aun en los espacios vacíos.

Este medio continuo, imponderable y eminentemente elástico forma la materia imponderable e incoercible, denominada éter físico, cuya existencia es hoy universalmente admitida, como medio racional para la explicación de gran número de hechos de la ciencia física.

7. Agentes naturales.- Son las causas naturales productoras de los fenómenos; y aunque se admite hoy que estas causas quedan reducidas a una sola, llamada energía, o aptitud inherente de la materia para determinar un efecto, y que por sí motiva todas las transformaciones de los cuerpos, esta causa única puede presentarse bajo formas distintas, denominadas formas de la energía, equivalentes a los llamados agentes naturales.

Estos agentes, según su modo de obrar, nos afectan de modos distintos y se dicen agentes físicos, químicos y biológicos, según los fenómenos que originan. Son agentes físicos: la atracción, calor, luz, electricidad y magnetismo.

8. División de las Ciencias físico-naturales. -Este grupo de Ciencias se divide en tres ramas principales, que son hoy tres ciencias del mayor interés: Historia Natural, Química y Física.

La Historia Natural comprende el estudio de los seres naturales y de los fenómenos biológicos, y la Química estudia los cuerpos simples, sus combinaciones y los fenómenos químicos que se realizan en los cuerpos.

9. Física; definición. -La Física se propone el estudio general de la materia y el conocimiento de los fenómenos físicos que experimentan los cuerpos, y de las causas productoras y leyes que rigen a estos fenómenos.

10. Medios de conocimiento de la Física. -Las fuentes principales de conocimiento de la Física, como en general de todas las ciencias experimentales, son la observación y la experimentación.

La observación consiste en el examen más o menos detallado de un fenómeno natural y de las circunstancias en que se produce, sin que intervenga para nada el hombre en la producción del fenómeno.

La experimentación, por el contrario, se propone el estudio atento de los fenómenos provocados por el hombre en condiciones adecuadas para que ese examen sea lo más completo posible.

Ambas operaciones, repetidas varias veces con el fin de llegar al más completo conocimiento de los hechos, corrigiendo en lo posible los errores nacidos del observador y de los medios de la observación, han permitido establecer los principios generales de la ciencia física.

11. Leyes y teorías físicas. -Conocidos los fenómenos físicos por los datos que nos suministran la observación y la experimentación, es preciso relacionarlos entre sí, a fin de llegar a constituir la ciencia física, la cual se funda en las leyes y teorías físicas.

Se llama ley física una regla que determina las relaciones existentes entre los fenómenos y las causas que los producen o modifican.

Y se denomina teoría física el conjunto de leyes o principios relativos a un mismo fenómeno o a un agente natural (teoría del choque, del calor, de la luz...).

Las leyes suelen sintetizarse en fórmulas algebraicas o por curvas determinadas, de fácil interpretación.

12. Hipótesis. -A veces se precisa, para la explicación de determinados fenómenos cuyas causas son desconocidas, el recurrir a medios auxiliares, como son las hipótesis, que consisten en suposiciones o principios no comprobados directamente, pero admitidos para explicar racionalmente ciertos hechos de experimentación (hipótesis etérea de la electricidad...). Estas hipótesis, han de reunir las condiciones que fija la lógica.

13. Plan de exposición de la Física. -Para la exposición elemental de esta ciencia pueden agruparse los hechos físicos, tomando como fundamento de esta agrupación las causas productoras de los mismos.

Se dividirá, según esto, la Física en dos tratados:

1.º FÍSICA DE LA MATERIA PONDERABLE o FÍSICA mecánica, y 2.º FÍSICA DEL ÉTER.

El tratado primero se divide para su estudio en cinco partes: Constitución y propiedades de los cuerpos; Mecánica; Acción atractiva de la Tierra o gravedad; Acciones mecánicas de los fluidos y Acústica.

La Física del éter se subdivide en tres partes: Termología, Fitología y Electro magnetismo.

Como complemento al estudio elemental de la Física se indican los conocimientos generales de la Meteorología.

Física Mecánica

Parte primera

Constitución y propiedades de los cuerpos

Capítulo I

Constitución y estado de los cuerpos

14. Constitución de los cuerpos. -El estudio físico de los cuerpos ha demostrado que éstos no están formados de materia continua; es decir, que no son compactos en absoluto, sino que deben considerarse como agregados de partes invisibles e indivisibles, llamadas átomos, que por su unión forman otras partes mayores, pero también invisibles, denominadas moléculas, las que a su vez reunidas dan lugar a las partículas, o pequeñas porciones visibles del cuerpo, existiendo entre las moléculas y entre los átomos espacios vacíos de materia, denominados espacios intermoleculares o poros físicos, como consecuencia de no hallarse esos elementos en íntimo contacto.

A fin de que estos elementos constitutivos de los cuerpos permanezcan en la relación de distancias necesaria para que el cuerpo exista con sus caracteres propios, intervienen determinadas fuerzas, denominadas moleculares, cuya esfera de acción se reduce a distancias sumamente pequeñas.

15. Fuerzas moleculares. -Son las acciones que se realizan entre las partes constitutivas de los cuerpos, y las principales son:

Adherencia, o sea la fuerza de unión de las partículas homogéneas o heterogéneas de los cuerpos (se observa en muchos ejemplos vulgares, como la adherencia del polvo a las

paredes; la del lápiz y yeso al papel y encerado; la de los betunes, barnices y pinturas a los objetos; la de las burbujas a las paredes de las vasijas que contienen bebidas gaseosas...);

Cohesión, que es la fuerza de unión de las moléculas de los cuerpos (comprobada en la permanencia de los cuerpos sólidos sin disgregarse), y

Afinidad o fuerza de unión de los átomos en la molécula (a la que se debe la constancia de la molécula en los diversos cuerpos).

16. Estados físicos de los cuerpos.-La materia, y por lo tanto los cuerpos materiales, pueden presentarse en tres estados diferentes: sólido, líquido o gaseoso.

A los cuerpos líquidos y gaseosos se les da el nombre común de fluidos, a causa de la gran movilidad de sus moléculas, que resbalan fácilmente unas sobre otras.

17. Cuerpos sólidos. -Los cuerpos sólidos presentan una gran cohesión entre sus moléculas, por lo que tienen forma y volumen propios, ofreciendo cierta resistencia a su fragmentación (la madera, una piedra, el hierro...). Estos cuerpos se encuentran ya en masas de bastante tamaño de forma regular, llamados cristales, o irregular, que es lo más frecuente, o en partículas sumamente tenues que forman el denominado polvo, o el humo si estas partículas se originan por la acción del calor.

18. Cuerpos líquidos. -Los cuerpos líquidos se caracterizan por su escasa cohesión, teniendo volumen propio, pero careciendo de forma determinada, pues afectan la de las vasijas que los contienen (agua, alcohol, aceites...). Los líquidos suelen presentarse en grandes masas, o en pequeñas agrupaciones moleculares, denominadas gotas, o en forma de líquidos turbios o emulsiones, que son líquidos que tienen aprisionadas y en suspensión pequeñas partículas de un sólido o de otro líquido.

19. Cuerpos gaseosos. -Los cuerpos gaseosos no tienen forma ni volumen propios, adoptando la forma de las vasijas que los contienen y llenando enteramente el volumen de éstas, en virtud del predominio que en ellos tiene la fuerza repulsiva molecular, que hace que los gases manifiesten tendencia a ocupar espacios cada vez mayores (aire, gas carbónico, gas del alumbrado, oxígeno...). Los gases se presentan en grandes masas, o en pequeñas esferas denominadas burbujas, aprisionadas por otro cuerpo, o en pequeñas porciones retenidas en vesículas o vejiguillas de un líquido, a lo que se llama vulgarmente espumas.

20. Fuerzas atractivas y repulsivas. -Las fuerzas moleculares indicadas son atractivas, es decir, que tratan de unir más y más los átomos y las moléculas, no llegando a ponerlas en contacto, por impedirlo la presencia del éter que llena los espacios intermoleculares, envolviendo completamente a la materia; este éter, por su gran fuerza elástica, tiende a separar los elementos constitutivos de los cuerpos, contrarrestando parcialmente los efectos de la atracción molecular y determinando con ello un estado de equilibrio entre ambas fuerzas atractiva y repulsiva.

Admítese, por tanto, que cada molécula de los cuerpos está rodeada de una atmósfera etérea, cuyo conjunto se llama dinamida, y todo cuerpo puede considerarse como una agrupación de dinamidas o centros de fuerzas dotadas de movimientos, los cuales originan los estados de los cuerpos.

Así, en el estado sólido existe predominio de las fuerzas atractivas, impidiendo la movilidad de las moléculas; en el líquido encuéntranse en equilibrio más o menos completo ambas fuerzas, atractiva y repulsiva, determinando el posible cambio de posición de las moléculas (variación de forma) y la persistencia de sus distancias relativas (volumen constante); y, por último, en los gases predomina la fuerza repulsiva, ocasionando la facilidad en el cambio de posición y aumento en la separación de las moléculas (forma variable; expansibilidad de los gases).

El equilibrio entre las fuerzas de atracción y repulsión puede alterarse por diversos agentes, y de aquí que un mismo cuerpo, sometido a distintas condiciones, puede afectar diferentes estados; tal acontece al agua, tan conocida en los tres estados: sólida, líquida y en forma de vapor.

Admítese que en el paso de un cuerpo de uno de los estados indicados a otro, por una causa determinada, se producen estados intermedios no definitivos, cuales los estados pastoso y viscoso, de escaso interés científico por su inestabilidad, aunque sí utilizados industrialmente (amasado, moldeado...), así como también se consideran otros estados ultragaseosos de cualidades extremas, como el radiante y el etéreo, de mayor importancia filosófica que práctica actualmente.

Capítulo II

Propiedad de los cuerpos

21. Propiedades generales de la materia. -Las propiedades de la materia, y por lo tanto de los cuerpos, son las diferentes maneras como estos se presentan al observador, pudiendo estas propiedades ser comunes a todos los estados de la materia, y se dicen propiedades generales, o referirse solamente a determinados cuerpos, y entonces se denominan propiedades particulares.

Entre las propiedades generales hay dos, la extensión y la impenetrabilidad, esenciales en la existencia de la materia, por lo que se denominan cualidades inherentes, para diferenciarlas de las restantes; así, no podrán considerarse como materia las sombras ni las imágenes obtenidas en los espejos, por carecer de la propiedad de ser impenetrables.

Las principales propiedades generales son:

22. Extensión. -Es la propiedad que tienen todos los cuerpos de ocupar un lugar en el espacio; este espacio ocupado constituye el volumen del cuerpo.

La extensión se determina por procedimientos geométricos; pero para extensiones que por su pequeñez no pueden medirse fácilmente, se emplean ciertos aparatos, denominados micrométricos, que, fundados en hechos físicos, permiten la medida de las longitudes pequeñas.

23. Nonius. -Entre estos aparatos micrométricos, el más usado es el llamado nonius o Vernier, que sirve para apreciar extensiones más pequeñas que las últimas divisiones de la regla métrica empleada.

Consiste el nonius (figura 1.^a) en una regla pequeña M N, dividida en partes iguales, que resbala sobre la regla métrica, en la que por lo general se aprecia la medida directa; la longitud de este nonius y su división dependen del grado de aproximación que con él se desee obtener: así, siendo éste de $1/n$, la longitud del nonius será $n-1$ de las últimas divisiones de la regla métrica, y debe estar dividido en n partes iguales.

El nonius más generalmente usado es el que aprecia décimas de las divisiones más pequeñas de las reglas métricas, o sean los milímetros, por lo cual este nonius tiene de longitud 9 milímetros (puesto que $1/n = 1/10$ y $n = 10$), y está dividido en diez partes iguales.

Para operar con el nonius se hace resbalar éste sobre la regla métrica, hasta que toque con el extremo de la longitud que se va a medir (fig. 1.^a) A B, y entonces basta observar la división del nonius que coincide o está más próxima a otra de la regla métrica con cuyos datos se tiene la aproximación pedida, representada por una fracción, en la que el numerador es el número que, a partir del cero, corresponde a la división del nonius que coincide, y el denominador el número de partes iguales en que aquél está dividido.

Así, por ejemplo, si se emplea el nonius de décimas de milímetro indicado (fig. 1.^a), y en la medida coincide la séptima división del nonius con un milímetro cualquiera de la regla métrica, entonces la aproximación obtenida es $7/10$, o sea 7 décimas de milímetro.

Esta medida se funda en que siendo cada división del nonius una décima más pequeña que las últimas de la regla, es decir, que los milímetros, en las siete divisiones, habrá siete décimas de diferencia; y por ello, para la coincidencia buscada se precisa que el nonius haya avanzado siete décimas de milímetro, es decir, que la parte medida con el nonius tenga las siete décimas de milímetro de longitud.

Aunque de ningún uso, existe otro nonius negativo, en el que para una aproximación de $1/n$, se le da una longitud de $n+1$ divisiones de las últimas de la regla de medida, dividiéndose como el otro en n partes iguales.

El nonius se aplica también a la medida de los arcos, con el nombre de nonius circular (fig. 2.^a), y consiste en un arco 0 móvil sobre otro concéntrico con él, A B, y que hace de regla métrica; el móvil es el nonius, y está dividido según lo indicado para el rectilíneo, pudiéndose con él apreciar fracciones de grado, generalmente minutos (para ello este

nonius suele resbalar sobre arcos A B, divididos en medios grados y tiene entonces una longitud de 29 de estas divisiones, estando dividido en 30 partes iguales).

El nonius forma parte de gran número de aparatos de Física y Topografía.

24. Catetómetro. -Otro aparato de medida bastante usado es el catetómetro (fig. 3.^a), aparato de gran precisión, y generalmente complejo, destinado a medir las diferencias de nivel entre dos o más puntos; en esencia consiste en una columna c dividida en milímetros y cuya posición vertical y estabilidad se realizan por medio de una base adecuada; sobre la columna se desliza convenientemente un anteojo A con su correspondiente nivel N, con cuyo anteojo se determinan las visuales horizontales a los puntos observados, siendo la distancia entre las posiciones del anteojo la que fija la separación de los puntos observados.

25. Tornillo micrométrico. -El tornillo micrométrico, que es un tornillo de construcción muy acabada, cuyo paso de rosca generalmente es de un milímetro, siendo esta longitud, por tanto, lo que avanza, con la tuerca fija, por cada vuelta completa, y avanzando una fracción de milímetro, proporcional al tanto de rotación, en el caso en que no se le dé una vuelta completa; este aparato es de gran utilidad en muchos instrumentos científicos.

26. Esferómetro. -El esferómetro (fig. 4.^a) es un tornillo micrométrico E de paso conocido, cuya cabeza tiene un círculo dividido en gran número de partes iguales (generalmente 500), que permiten apreciar con gran precisión las fracciones de vuelta; las vueltas completas se aprecian en una regla lateral, dividida en partes iguales al paso de rosca; este aparato se coloca por medio de tres puntos de sostén sobre un plano bien pulimentado, y se destina a medir espesores.

27. Otros aparatos para determinar extensiones pequeñas. -La máquina de dividir, aparato de gran precisión que, utilizando las propiedades del tornillo, permite dividir en partes iguales objetos de longitud determinada.

Y aun puede citarse el calibre o compás de ramas paralelas, de tanto interés en la mecánica, los micrómetros, de gran aplicación en la óptica, y algunos otros de menor importancia.

28. Impenetrabilidad. -Propiedad que poseen los cuerpos de no poder ocupar simultáneamente una misma porción del espacio; esta propiedad se refiere solamente a los elementos moleculares, pues los espacios intermoleculares de los cuerpos originan casos de aparente penetrabilidad (algunas soluciones, la unión de alcohol y agua con disminución de volumen...).

A la impenetrabilidad se deben muchos hechos vulgares, como el derrame de los líquidos al introducir en ellos sólidos insolubles, la dificultad de penetrar los líquidos en vasijas que contengan aire, el empleo de la campana de buzos, en los trabajos marinos, y otros fenómenos de aplicación física.

29. Otras propiedades generales. -Inercia. -Además de la extensión e impenetrabilidad, presenta también la materia las propiedades generales siguientes:

La inercia es la propiedad de la materia por la cual los cuerpos son incapaces de variar por sí propios su estado de reposo o movimiento. Esta propiedad, conocida vulgarmente en lo que se refiere al reposo, no es tan visible en lo relativo al movimiento, debido a que se oponen a este movimiento diversas acciones exteriores, cual la gravedad, rozamientos, etc., que le van aminorando hasta anularle por completo; si estas acciones se disminuyen, el movimiento se prolonga, y si fuera posible anularlas totalmente, el movimiento se continuaría indefinidamente, según acontece en los movimientos de los astros en el espacio.

A la inercia, para cuyo vencimiento se exige una fuerza tanto mayor cuanto mayor sea la cantidad de materia del cuerpo, justificando así el nombre, poco apropiado, de fuerza de inercia, con que se suele designar a esta propiedad, se deben los movimientos violentos que se experimentan en los vehículos cuando éstos se ponen en marcha o se paran bruscamente, así como al apearse de ellos, si llevan bastante velocidad; también el uso de los grandes martillos, el modo frecuente de colocar los mangos en muchos instrumentos de trabajo, la necesidad de grandes esfuerzos para mover los cuerpos, y otros muchos hechos de observación constante.

30. Movilidad.- La movilidad es la propiedad que tienen los cuerpos de poderse mover por la acción de un agente llamado fuerza; el cuerpo que se mueve se llama móvil, y el movimiento se aprecia por el cambio de lugar en el espacio; si el cuerpo persiste en la misma posición, se dice que está en reposo.

31. Divisibilidad. -La divisibilidad es la propiedad de los cuerpos de dividirse en partes tanto más pequeñas cuanto más perfectos sean los aparatos usados para la división; esta división, que teóricamente es infinita, tiene en la realidad sus límites, que son las partículas, moléculas y átomos, según que la división se realice por medios mecánicos, físicos o químicos (son ejemplos notables: la división del oro en las láminas llamadas vulgarmente panes de oro; la de las materias olorosas y colorantes; los hilos metálicos de platino, oro y plata; los hilos de las arañas; los microorganismos, y otros varios).

32. Porosidad. -La porosidad es la propiedad que tienen los cuerpos de presentar espacios vacíos intermoleculares, llamados poros físicos, diferentes de los poros sensibles o espacios faltos de materia que presentan los cuerpos de estructura esponjosa. Esta propiedad, que sirve de base a la construcción de filtros, explica muchos fenómenos físicos y fisiológicos, y se demuestra con el experimento llamado lluvia de Diana, que consiste en observar cómo pasa el mercurio en forma de lluvia de gotitas plateadas por láminas de madera o piel que forman el fondo de una armadura metálica en cazoleta, la cual constituye la parte superior de un tubo de cristal, dispuesto por su parte inferior para atornillarse a una máquina de extraer aire, puesto que el experimento exige la extracción del aire del tubo para que caiga el mercurio.

33. Compresibilidad; dilatabilidad. -La compresibilidad es la disminución de volumen, sin pérdida de materia, que pueden sufrir los cuerpos por una acción exterior, y la dilatabilidad es, por el contrario, el aumento de volumen que experimentan los cuerpos; estas propiedades, comprobadas con hechos muy conocidos, son una consecuencia de la

existencia de espacios intermoleculares, y pueden demostrarse experimentalmente con aparatos que se indicarán más adelante.

34. Elasticidad. -La elasticidad es la propiedad que tienen los cuerpos, cuando se deforman limitadamente por la presión, de recobrar su forma inicial, una vez que cesa la causa que motivó la deformación; esta propiedad, muy manifiesta en los gases, poco sensible en los líquidos y muy variable entre límites extremos en los sólidos, es de bastante aplicación en la ciencia y en la industria.

35. Propiedades particulares de los cuerpos. -Además de las propiedades generales indicadas, presentan los cuerpos otras muchas propiedades, de las cuales unas son propias de uno o de un corto número de estos cuerpos, y otras se refieren a un grupo de ellos o a un estado determinado de la materia.

Prescindiendo de las cualidades propias de los líquidos y de los cuerpos gaseosos, que se indicarán en otro lugar, merecen indicarse aquí cierto número de cualidades particulares de los cuerpos sólidos, por la gran aplicación industrial que presentan; tales son las siguientes:

36. Tenacidad. -Es la resistencia que oponen los cuerpos a romperse por el golpe o por la tracción, llamándose a la cualidad opuesta fragilidad (ejemplo: el hierro, como muy tenaz, y el diamante, como muy frágil); influyen en la tenacidad la forma del cuerpo, su estructura molecular interior, el grueso o sección transversal, la temperatura y aun el tiempo que dura el efecto de tracción.

37. Dureza. -DUREZA es la resistencia que oponen los cuerpos a fragmentarse por el rozamiento; esta cualidad se ensaya tratando de rayar estos cuerpos por otros tomados como medios o tipos de comparación; tales medios son: la uña (para los cuerpos llamados muy blandos), la navaja (para los blandos), la lima (para los cuerpos duros) y el diamante (para los muy duros); actualmente se establece la dureza en relación con la que presentan diez minerales tipos que, colocados en orden de dureza relativa de menor a mayor, forman una escala, de interés mineralógico principalmente. En la dureza influyen la forma y estructura de los cuerpos, la temperatura y alguna otra circunstancia.

38. Elasticidad en los sólidos; sus clases. -Los diferentes modos que pueden emplearse para ensayar la elasticidad en los cuerpos sólidos determinan diversas formas de esta elasticidad, llamadas por tracción, flexión y torsión, además de la estudiada en las propiedades generales, o sea la elasticidad por presión.

Se dice ELASTICIDAD POR TRACCIÓN la producida cuando la fuerza determinante del efecto elástico actúa según la longitud del cuerpo (estirar los alambres), habiéndose observado que el alargamiento de los cuerpos en este caso es proporcional a la fuerza de tracción y a la longitud del cuerpo, e inversamente proporcional a la sección, si bien los cuerpos orgánicos (músculos, arterias, caucho, etc.) no siguen fielmente la primera ley.

La ELASTICIDAD POR FLEXIÓN se produce cuando la fuerza actuante es más o menos normal a la longitud, y se experimenta sujetando una varilla por un extremo y desplazándola de su posición por el otro extremo, o sujetando la varilla por sus dos

extremos y colgando entre éstos un peso de tensión; el desplazamiento del punto de la varilla que más se desvía forma la llamada flecha de flexión, la cual es proporcional a la fuerza de flexión, así como al cubo de la longitud, y está en razón inversa de la anchura y del cubo del espesor, lo que explica la resistencia a la flexión, y por ello el ventajoso empleo de las vigas metálicas en forma de T y el de las columnas huecas, así como también justifica la solidez de los huesos y plumas de los animales y de los tallos de muchos vegetales.

La ELASTICIDAD POR TORSIÓN se experimenta cuando, sujeto el cuerpo por un extremo, se le hace girar por medio de una fuerza que actúa perpendicularmente al extremo libre, diciéndose ángulo de torsión el ángulo originado en la torsión por un punto situado en el plano de las fuerzas que producen la torsión, y observándose que este ángulo es proporcional a la fuerza y a la longitud del alambre, e inversamente proporcional a la cuarta potencia del radio, dependiendo también de un coeficiente variable con la naturaleza del cuerpo ensayado.

La ELASTICIDAD es de gran aplicación industrial (ballestas, muelles, resortes de reloj, dinamómetros, trenzado de fibras...), y tiene un límite llamado límite de elasticidad, pasado el cual los cuerpos se rompen o se deforman persistentemente, lo que también se utiliza en la industria.

39. Ductilidad. -La DUCTILIDAD es la facilidad de ciertos cuerpos para extenderse en hilos, lo que se realiza por la llamada hilera, que es una placa de acero provista de agujeros cónicos cuyo diámetro aumenta gradualmente del primero al último, siendo notable esta cualidad en el platino, plata, oro y cobre.

40. Maleabilidad. -La MALEABILIDAD; o propiedad de ciertos cuerpos de extenderse en láminas delgadas, lo que se verifica por el martillo o por el llamado laminador, que consiste en dos cilindros paralelos que giran en sentido inverso, y cuya distancia es inferior al grueso del cuerpo que se va a laminar; son cuerpos muy maleables el oro, plata, estaño y cobre.

41. Temple y recocido. -Son dos operaciones que modifican algunas cualidades de los cuerpos; el TEMPLE consiste en el enfriamiento brusco de un sólido calentado antes a alta temperatura, produciéndose dicho enfriamiento por la inmersión en agua, mercurio o aceite; se utiliza mucho el temple en el acero, vidrio y bronce, que modifican algunas de sus cualidades; el RECOCIDO consiste en calentar fuertemente un cuerpo y dejarle enfriar lentamente y es de bastante uso industrial.

Parte segunda

Mecánica

Capítulo I

Cinemática. -Movimiento en general

42. Mecánica; definición y división. -La Mecánica es la ciencia que estudia el movimiento y las causas que lo producen o modifican; estas causas se dicen fuerzas.

Se divide esta ciencia, para su estudio, en tres ramas: CINEMÁTICA, que estudia el movimiento con independencia de sus causas productoras; ESTÁTICA, que estudia las fuerzas en sus condiciones de equilibrio, y DINÁMICA, que trata de las relaciones entre las fuerzas y los movimientos que producen; como complemento a estas tres partes se estudia un capítulo referente a los medios de aplicación de las fuerzas, o sean las máquinas mecánicas.

La Mecánica constituye hoy una ciencia independiente del mayor interés, si bien en lo elemental puede incluirse como una parte de la ciencia física.

43. Cinemática, movimiento; generalidades. -La cinemática estudia el movimiento con independencia de sus causas productoras o fuerzas.

Todo cambio de lugar en el espacio se dice movimiento, y la permanencia en un mismo lugar se llama reposo.

El movimiento se estudia en un punto material, o en los cuerpos, considerándose entonces a éstos como sistemas invariables de puntos, o como un punto en el que se supone condensada la masa del cuerpo (tal sucede con los astros al admitirse que describen trayectorias lineales).

El reposo y el movimiento de un punto se establecen comparando en diversos instantes la posición del punto en el espacio con la de otros considerados como fijos y que sirven de puntos de referencia; si estos puntos no tuviesen movimiento, el reposo y el movimiento establecidos con relación a ellos se llamarían absolutos; pero siendo esto imposible en la realidad, por los movimientos sidéreos, de aquí que no puedan existir movimiento y reposo absolutos, y sí relativos, es decir, establecidos con relación a puntos de referencia, que también se mueven.

Cuando se hace abstracción del movimiento de los puntos de referencia, los movimientos y reposos establecidos con relación a ellos se miran como si fueran absolutos, aunque en realidad no lo son.

44. Cualidades del movimiento. -Las cualidades que determinan un movimiento son:

La trayectoria, o sea la línea que recorre el móvil en su movimiento, que se aprecia en unidades métricas, y

La velocidad, que es la relación entre el espacio recorrido y el tiempo empleado en recorrerlo, la cual se mide en segundos de tiempo.

45. División del movimiento. -El movimiento se divide: por su trayectoria en rectilíneo y curvilíneo, según que su trayectoria sea una línea recta o una línea curva, y por su velocidad en uniforme y variado, atendiendo a la constancia o variación de esta velocidad.

46. Movimiento rectilíneo uniforme. -El movimiento uniforme es aquel en que la velocidad permanece constante en cada unidad de tiempo; es decir, que en el movimiento del móvil, a tiempos iguales, corresponden espacios iguales, y recíprocamente.

De esta definición se deduce que llamando e al espacio recorrido, v a la velocidad y t al tiempo, se verifica en cada momento $e = v \times t$, igualdad que representa la ecuación del movimiento uniforme y que permite conocer una de esas tres cantidades, conocidas las otras dos; haciendo en esa ecuación $t = 1$, se tiene $e = v$, lo que indica que la velocidad de estos movimientos es igual al espacio recorrido durante la unidad de tiempo.

47. Movimientos variados. -Son aquellos en los que la velocidad es variable, y por lo tanto a tiempos iguales de movimiento corresponde espacios desiguales de recorrido e inversamente.

Esta variación de la velocidad puede verificarse: sin ninguna regularidad, en las distintas unidades de tiempo y determina entonces el movimiento variado irregularmente, cuyo estudio en general, no tiene interés, o puede realizarse la variación de modo regular, según sucede en los movimientos periódicos, compuestos de períodos sucesivos de igual duración (movimiento de las manillas de un reloj) y que originan la teoría de las vibraciones; y en el movimiento uniformemente variado.

48. Movimiento uniformemente variado. -Es aquel en el que la velocidad varía proporcionalmente al tiempo; la cantidad en que varía esta velocidad se llama aceleración, la cual puede ser positiva o negativa, que corresponde a un aumento o a una disminución en la velocidad del movimiento, el cual, por lo tanto, puede ser uniformemente acelerado (ej., descenso de los cuerpos por la gravedad), o uniformemente retardado (ascenso de los cuerpos verticalmente por un impulso).

49. Velocidad media. -En los movimientos variados sólo puede estudiarse, o bien la velocidad en cada unidad de tiempo o la velocidad media de las velocidades pertenecientes a las unidades de tiempo consideradas, siendo esta velocidad media la que habría que comunicar al móvil para que con movimiento uniforme recorriese en igual tiempo que antes el mismo espacio; tal velocidad media es igual a la media aritmética de las distintas velocidades del movimiento uniformemente variado que se toman en consideración.

50. Velocidad adquirida. -Si un móvil, moviéndose con movimiento variado, queda en un momento t abandonado a sí mismo, y libre, por tanto, de las causas productoras de su movimiento y de las acciones exteriores, seguiría a partir de ese instante t moviéndose con movimiento uniforme, en virtud de la inercia; la velocidad de este movimiento uniforme,

subsiguiente al instante en que cesaron las acciones exteriores que movieron el cuerpo, constituye la llamada velocidad adquirida.

51. Fórmula del movimiento uniformemente variado. -La ecuación del movimiento uniformemente variado, es decir, la fórmula algébrica que expresa la relación de los elementos de este movimiento, se deduce de considerar al movimiento uniformemente variado como una suma de movimientos uniformes, diferentes entre sí, y sustituir estas diferentes velocidades uniformes por la velocidad media, para aplicar después la fórmula del movimiento uniforme.

En efecto, si un cuerpo que parte del reposo tiene un movimiento uniformemente acelerado, cuya aceleración es g , por la definición de este movimiento sus velocidades serán en las t unidades de tiempo:

$$v = 0, v' = g, v'' = 2g \dots vt = gt \text{ (A)}$$

y considerando solamente la primera y la última de estas velocidades, la velocidad media será $0+gt/2$, que puesta en lugar de v en la fórmula del movimiento uniforme, se tendrá:

$$e = 0+gt/2 \times t = 0+gt^2/2 = gt^2/2 = 1/2 gt^2 \text{ (B)};$$

ambas fórmulas (A) y (B) determinan el movimiento uniformemente variado en función de la velocidad (A) y en función del espacio (B). Al mismo resultado se llegaría por otros razonamientos y por construcciones gráficas.

52. Leyes del movimiento uniformemente variado.-Comparando las fórmulas correspondientes a las distintas velocidades y a los diferentes espacios, se deducen las leyes de este movimiento, que son: 1.^a Las velocidades varían como los tiempos. 2.^a Los espacios totales son como los cuadrados de los tiempos; y 3.^a Los espacios parciales están entre sí en la relación de los números impares.

Si en la fórmula (B) se hace $t = 1$, resulta $e = g/2$ es decir, que en la primera unidad de tiempo el espacio es igual a la mitad de la aceleración.

53. Composición de movimientos. -Cuando el punto o un cuerpo está sometido a diversos movimientos simultáneos, toma un movimiento de velocidad y trayectoria dependientes de dichos movimientos, que por lo tanto constituyen un sistema de componentes que origina el movimiento resultante producido.

Si los movimientos componentes actúan según la misma trayectoria rectilínea, el movimiento resultante, de igual género que los componentes, seguiría también la dirección de dicha trayectoria, siendo su velocidad igual a la suma algébrica de las velocidades de los movimientos componentes; cuando los movimientos simultáneos fueran rectilíneos, de distinta trayectoria, y los dos del mismo género, uniformes o uniformemente variados, el

movimiento resultante sería de igual género y quedaría determinado por la diagonal del paralelogramo construido sobre las velocidades de los movimientos componentes.

Y si los movimientos simultáneos fuesen de distinto género, uno uniforme y otro variado, se originarían los movimientos de trayectoria curva o movimientos curvilíneos.

54. Movimientos curvilíneos. -Los movimientos curvilíneos más importantes son: el parabólico, cuya trayectoria es una rama de parábola (marcha de los proyectiles); el elíptico, que tiene por trayectoria una elipse (movimientos planetarios), y el circular, cuya trayectoria es una circunferencia (honda de vaqueros).

Estos movimientos curvilíneos se producen cuando el móvil está sometido simultáneamente a dos fuerzas, de las que una suele ser instantánea, y la otra continua, las cuales, actuando en distinta dirección, originan dos movimientos simultáneos, cuya resultante es el movimiento de trayectoria curva; así, un líquido que sale por un orificio lateral de un recipiente está sometido a dos movimientos (fig. 5.^a); uno, 0, I, II, III, IV..., uniforme, que le comunica la presión del líquido; y otro, variado, 0, 1, 4, 9, 16..., determinado por la gravedad, originando ambos el movimiento parabólico, 0, A, B, C, D...

Las relaciones de los movimientos concurrentes determinan la naturaleza y cualidades del movimiento curvilíneo engendrado.

55. Movimiento de los cuerpos. -Si del movimiento de un punto se pasa al de los cuerpos o sistemas rígidos de puntos, se ve que estos, además del movimiento de traslación en que todos los puntos obedecen al movimiento estudiado, tienen otro de giro o rotación, en el cual cada punto se mueve alrededor de una línea, o eje de giro, describiendo circunferencias cuyos planos son perpendiculares al eje, y sus centros están en este eje (rotación de los planetas, giro de las ruedas).

El radio correspondiente a un punto que se mueve describe un ángulo, cuya relación al tiempo empleado en describirle se llama velocidad angular del punto, y que tiene por medida la velocidad lineal, o sea el arco que le sirve de medida, convenientemente rectificado; el movimiento de rotación será uniforme o variado, según que la velocidad angular permanezca o no constante durante el giro.

La velocidad angular por segundo de un sólido con movimiento rotatorio uniforme, se calcula multiplicando el número n de vueltas que da en un tiempo determinado (lo que se averigua por aparatos adecuados, contadores de vueltas) por 2π , valor de la circunferencia de radio unidad, y dividiendo por el tiempo (número de segundos) empleado en la rotación, siendo la fórmula $v = 2\pi n/t$; y la velocidad lineal de un punto, es igual a la velocidad angular de éste, por su distancia al eje.

Estudio general de las fuerzas

56. Estática; fuerzas. -La estática es la parte de la mecánica que estudia las fuerzas en estado de equilibrio. Se llama fuerza toda causa productora o modificante de un movimiento; las fuerzas no se conocen en sí, apreciándose solamente por los efectos que producen.

Toda fuerza, al actuar sobre un cuerpo, se determina por cuatro condiciones: punto de aplicación, o sea el punto del cuerpo en que actúa la fuerza, dirección o línea que describe el anterior punto por la acción de la fuerza, sentido o punto hacia donde se dirige la fuerza, e intensidad, que es la relación entre el efecto de la fuerza y el de otra tomada por unidad.

Las fuerzas, por su modo de obrar, pueden ser: instantáneas o que actúan en tiempos inapreciables (sustancias explosivas), y continuas o de acción prolongada durante un cierto tiempo (tracción de los vehículos, gravedad).

57. Representación gráfica de las fuerzas. -Las fuerzas pueden representarse por medio de flechas de magnitud determinada, en las que la longitud de estas en relación con la de otra tomada por unidad, expresa la intensidad de la fuerza; la dirección y sentido de esta fuerza queda determinada por la flecha, y el punto de aplicación por cualquier punto de la flecha, aunque por lo común suele fijarse en el extremo; así la fuerza AB (fig. 6.^a) tiene su punto de aplicación en A, dirección AB; sentido, de A a B e intensidad igual al doble de la unidad.

Estas líneas determinadas en longitud y sentido, constituyen los elementos geométricos llamados vectores, los cuales, reemplazando a las fuerzas cuya esencia se desconoce, permiten la aplicación del cálculo matemático a estas fuerzas, facilitando con ello su estudio.

58. Medida de las fuerzas. -No siendo apreciables las fuerzas sino por sus efectos, se deducirá la igualdad o desigualdad de las fuerzas de la igualdad o desigualdad de sus efectos, así, se llaman fuerzas iguales las que en las mismas condiciones producen los mismos efectos, apreciándose también la igualdad de dos fuerzas cuando al aplicarlas sobre un mismo punto material, y en sentidos respectivamente opuestos, no comunican al punto ningún movimiento, que por ello queda en el estado llamado de equilibrio o reposo aparente.

De aquí que se podrán comparar las fuerzas con una tomada previamente por unidad, y esta comparación constituye la medida de la intensidad de la fuerza.

En los usos corrientes, las fuerzas se comparan con un peso, adoptándose para la comparación, como unidad de fuerza, el kilogramo, y estableciéndose esta comparación por intermedio de los aparatos llamados dinamómetros (fig. 7.^a), que en esencia consisten en resortes EMD dispuestos de modo que se pueda medir, en graduaciones obtenidas en relación con pesos conocidos, la flexión que sufren por la acción de las fuerzas que les son aplicadas; por su forma y uso se llaman balanzas de resorte, pesones, pesacartas, etc.

59. Sistema cegesimal. Unidad de fuerza. -Modernamente se estableció, en el Congreso de Electricistas de París de 1881, un sistema general de medidas, basado en tres unidades fundamentales; tales fueron: la de longitud para la que se tomó el centímetro; la de masa, que se aceptó el gramo-masa, y la de tiempo para la que se adoptó el segundo, de cuyas unidades se dedujeron todas las demás, llamadas, por ello, unidades derivadas.

En este sistema absoluto, denominado del C. G. S. (iniciales de sus unidades absolutas), o cegesimal, la unidad de fuerza se llama dina; o sea la fuerza que, actuando sobre la unidad de masa (gramo), le comunica la unidad de aceleración (centímetro) en un segundo; la dina vale (en Madrid) $1/980.000$ de kilogramo; es decir, poco más de un miligramo.

También pueden medirse las fuerzas por el trabajo que producen, según se verá más adelante.

60. Sistema de fuerzas. -El conjunto de fuerzas que actúan simultáneamente sobre un cuerpo forma un sistema de fuerzas, en el que cada una de ellas es una componente, llamándose resultante la fuerza que en cada momento produzca igual efecto que el sistema.

Con frecuencia es conveniente, en los problemas de mecánica, reemplazar los sistemas de fuerzas por sus respectivas resultantes, y de aquí el problema denominado composición de fuerzas, que consiste en «hallar la resultante de un sistema de fuerzas».

Antes de resolver este problema conviene tener presente las dos proposiciones siguientes: 1.^a Un sistema se dice que está en equilibrio cuando su resultante es cero, y entonces cada fuerza es igual y directamente opuesta a la resultante de todas las otras; y 2.^a En toda fuerza puede, sin variarse sus efectos, trasladarse el punto de aplicación a otro punto del cuerpo, siempre que este segundo punto esté unido rígidamente al primero y situado en la dirección de la fuerza.

61. Composición de fuerzas; fuerzas en la misma dirección. -Tres son los casos más importantes que pueden ocurrir en la composición de fuerzas: 1.º Que actúen en la misma dirección; 2.º que sean concurrentes, y 3.º que sean paralelas.

Cuando todas las componentes tengan la misma dirección, pueden actuar en el mismo o en sentido opuesto.

Si siendo dos o más actúan en el mismo sentido, la resultante tiene la misma dirección y sentido que las componentes y su intensidad es igual a la suma de las intensidades de éstas (tracción por mulas en reata).

Y si, siendo dos o más, actúan en sentidos opuestos unas de otras, la resultante tiene la misma dirección que las componentes, y su sentido e intensidad se deducen de la diferencia de las dos fuerzas, si éstas eran dos, o de la diferencia entre la suma de las fuerzas que obran en un sentido y la suma de las que lo hacen en el opuesto, en el caso de ser más de dos; cuando la diferencia, en los dos casos, fuera cero, la resultante sería nula y el cuerpo quedaría en equilibrio (manera de estirar los lienzos, modos de probar el pulso...).

62. Fuerzas concurrentes. -Cuando las direcciones de las fuerzas concurren en un punto (fig. 8.^a); en este caso puede ocurrir que estas componentes sean en número de dos o sean más de dos.

Cuando sean dos, OA, y OB, la resultante quedará determinada en dirección, sentido e intensidad por la diagonal OR del paralelogramo construido sobre las intensidades de las componentes, formando la llamada regla del paralelogramo de las fuerzas (funcionamiento de las alas en las aves, de los remos en los barcos, modo de arrastre de maderas por los ríos...).

63. Demostración. -Se prueba que la diagonal representa en dirección la resultante pedida, suponiendo que sobre el punto P (fig. 9.^a) actúa primero una de las fuerzas P N, y luego la otra P Q, y que continúan después actuando alternativamente las mitades, terceras, cuartas partes... de dichas fuerzas expresadas en iguales longitudes de las flechas que las representan y así se obtendrán resultantes quebradas que se irán aproximando a la diagonal PR del paralelogramo de las fuerzas hasta llegar a coincidir con ella cuando se considerasen porciones de fuerzas infinitamente pequeñas.

Esta diagonal expresa en intensidad a la resultante; pues, en efecto, si se traza en el sistema de las dos fuerzas dadas AP, AP, (fig. 10) una resultante AP, que las equilibre, en la misma dirección y sentido opuesto a la citada diagonal AR, se tendrá un nuevo sistema en equilibrio, y trazando la resultante AS del sistema formado por la nueva fuerza AP y una de las componentes AP, esta última resultante AS tendrá la dirección de la diagonal del paralelogramo correspondiente y su intensidad (1.^a proposición) será igual a la otra fuerza AP, con lo cual se puede construir ese paralelogramo y entonces se verá que la nueva fuerza AP que equilibraba al sistema es igual a la diagonal primitiva AR según se trataba de demostrar.

Se prueba esto experimentalmente con el aparato (fig. 11) en el que las dos fuerzas representadas por los pesos Q y P (igual a 2 Q), se equilibran con el peso R, y si en las cuerdas de tensión de esos pesos se marcan magnitudes proporcionales a ellos (como 1 es a 2 Q) y con tiza se marca sobre el fondo negro del aparato el paralelogramo correspondiente (lo mismo se haría con varillas, formando un paralelogramo articulado) se observará entre la diagonal de este paralelogramo y el lado mayor del mismo la misma relación que entre R y el mayor peso P, o fuerza componente.

Y cuando sean más de dos, se obtendrá la resultante operando con las fuerzas de dos en dos, así (fig. 12), resultante de AF y AF igual a R, y resultante de R y AF igual a R que es la resultante final, o mejor aún construyendo el polígono de las fuerzas (figura 13), lo que se hace trazando, a partir del extremo de la primera fuerza OF, y a continuación unas de otras, rectas paralelas, Fa, ab, bC, e iguales a las siguientes fuerzas, y la recta de unión, R, del extremo de la última paralela con el punto de concurso de las fuerzas será la resultante pedida; si estas fuerzas fuesen tres y estuviesen en plano diferente, la resultante pedida sería la diagonal del paralelepípedo construido sobre las intensidades de las fuerzas.

64. Fuerzas paralelas. -Cuando las direcciones de las fuerzas sean paralelas pueden también actuar en el mismo o en sentido opuesto.

Si las componentes son dos, y actúan en el mismo sentido (fig. 14) P y Q, la resultante AR será paralela a las componentes, tendrá el sentido de éstas y su intensidad será igual a la suma de las intensidades de ambas componentes, teniendo su punto de aplicación A en el punto de la recta BC de unión de las fuerzas que divide a esta recta en partes inversamente proporcionales a las magnitudes de dichas fuerzas.

Si las componentes P y Q (fig. 15) actuasen en sentido opuesto, la resultante AR, también paralela a las componentes, tendría el sentido de la mayor fuerza Q, y una intensidad igual a la diferencia de las intensidades de las componentes, actuando sobre un punto de aplicación A que tendría la propiedad, antes citada, de dividir en partes inversamente proporcionales a la recta de unión de las fuerzas; estos puntos de aplicación se determinan fácilmente recordando los principios de la proporcionalidad, estudiados en la Geometría (véanse las construcciones de estas figuras).

65. Demostración. -En el sistema de las dos fuerzas paralelas P y Q (fig. 16), se introducen, en la dirección AB, dos fuerzas iguales y contrarias M y N, que no alteran el sistema, se halla la resultante del sistema formado por las fuerzas introducidas M y N y las fuerzas paralelas P y Q y se trasladan estas resultantes S y T al punto D, donde concurren, que se supone también del sistema; por el punto D de concurrencia se traza una paralela a AB y otra DC a las fuerzas; las fuerzas trasladadas pueden ser reemplazadas por sus componentes M1 N1 P1, Q1, según estas direcciones; y como M1 y N1 se equilibran, el sistema queda reducido a P1+Q1; es decir, la resultante es paralela a las componentes e igual a su suma.

Transportada la resultante al punto C, en que su dirección encuentra a AB, y comparando los triángulos semejantes ACD y S1 P1 D y BCD y T1 Q1 D se deduce de la proporcionalidad de sus lados: $AC:BC::Q:P$, que fija la posición del punto C, el cual divide a la recta AB en partes inversamente proporcionales a P y a Q.

También se puede probar esto experimentalmente con el aparato (fig. 17), formado de una barra metálica suspendida de su centro y provista de ganchos de los que se cuelgan los pesos para que se produzca en el aparato el equilibrio, se precisa que los valores expresados por las pesas estén en razón inversa de las distancias de los ganchos que los sostienen al punto de sostén de la barra.

En los sistemas constituidos por varias fuerzas, en el mismo o en sentidos opuestos unas de otras, la resultante se halla operando con las componentes de dos en dos hasta que sólo queden dos fuerzas, y entonces el punto de aplicación de esta resultante final se denomina centro de fuerzas paralelas, y es del mayor interés.

66. Par de fuerzas. -En el caso particular de que el sistema lo formasen dos fuerzas paralelas, iguales y de sentido opuesto, se tendría el llamado par de fuerzas que determina el giro del cuerpo (modo de girar un objeto...).

67. Descomposición de fuerzas. -El problema inverso del indicado, o sea el de descomponer una fuerza en sus componentes, tiene poca aplicación y es indeterminado, a no ser que se fije alguna condición que lo determine, y se resuelve recordando las condiciones antes indicadas para las resultantes, en relación con las componentes.

68. Momento de una fuerza. -Se llama momento de una fuerza, con relación a un punto, el producto de la intensidad de la fuerza por la distancia del punto a la dirección de ésta; el punto se llama centro del momento, y las distancias a la fuerza, brazos de palanca de la fuerza; los momentos son positivos o negativos, según actúen o no en el mismo sentido las fuerzas que los originan.

Para todo punto tomado en el plano de dos fuerzas se verifica que el momento de la resultante de las fuerzas es igual a la suma algébrica de los momentos de las componentes, teorema de gran interés dentro de la Mecánica, debido a Varignon.

69. Fuerzas centrípeta y centrífuga. -Todas las fuerzas cuyas direcciones pasan por puntos fijos se llaman fuerzas centrales, denominándose centrípetas si tratan de llevar los cuerpos hacia esos puntos fijos, llamados centros de fuerzas, y centrífugas si, por el contrario, tratan de alejarlos de los mismos.

Si a un cuerpo que se supone unido a un punto por un hilo o cordón se le da cierto impulso, tomará un movimiento circular como resultante de la fuerza de impulsión y de otra fuerza que trata de atraer el cuerpo al punto (representada por la resistencia del cordón), y que es la llamada fuerza centrípeta; al mismo tiempo se observa una fuerte tensión, consecuencia de un efecto de tracción ejercido sobre el punto y que viene a representar, por tanto, una fuerza opuesta a la centrípeta, llamada por sus efectos fuerza centrífuga, la cual contrarresta a aquélla por ser ambas fuerzas iguales y contrarias.

Es la fuerza centrífuga una reacción consecuenta a la existencia de la fuerza centrípeta, por lo que al cesar ésta (rotura del cordón) termina aquélla, y el cuerpo seguirá moviéndose según la tangente a la curva que describía en el punto en que cesó la fuerza centrípeta y con igual velocidad a la que tenía en dicho punto, a lo que se dice velocidad tangencial (honda de vaqueros).

70. Leyes de la fuerza centrífuga. -La fuerza centrífuga que, por lo tanto, se desarrolla en el giro de los cuerpos y, en general, en los movimientos curvilíneos, obedece a ciertas leyes demostrables analíticamente y experimentables por un aparato (fig. 18) formado de un sistema mecánico de rotación, al que puede unirse, a voluntad, un bastidor con dos esferas móviles B o con dos tubos C para líquidos, o un eje con dos láminas de acero A que por el giro se deforman, disminuyendo su diámetro vertical y aumentando el horizontal, comprobándose con estos aparatos que la fuerza centrífuga es: 1.º, proporcional a la masa; 2.º, proporcional al cuadrado de la velocidad, y 3.º, a igualdad de masa y velocidad, es inversamente proporcional al radio de la circunferencia descrita, pudiéndose también experimentar esto con una honda de vaqueros en la que se pongan pesos distintos y se haga girar también diferentemente.

71. Efectos y aplicaciones de la fuerza centrífuga. -A estas fuerzas se debe la existencia del sistema solar, la forma elipsoidal de la Tierra, la posición que toman los vehículos y los jinetes en las curvas pronunciadas, la disminución de peso de los cuerpos girando, la proyección de los cuerpos ligeros arrojados sobre las ruedas en movimiento, y otros muchos hechos; aprovechándose la fuerza centrífuga para refinar el azúcar (azúcar centrífuga), secar rápidamente los lienzos, separar la harina del salvado, sedimentar en los laboratorios los líquidos turbios, en los reguladores de las máquinas de vapor, en el uso de las bombas y ventiladores centrífugos, y otras aplicaciones de menor interés.

Capítulo III

Relación entre los movimientos y sus fuerzas productoras

72. Dinámica; principios fundamentales. -La dinámica, que estudia las relaciones entre las fuerzas y los movimientos que producen, se funda en los tres principios siguientes, deducidos de la observación:

1.º Debido a Kepler y que dice: todo cuerpo en reposo tiene tendencia a permanecer en él, y si está en movimiento, tiende a moverse con movimiento rectilíneo y uniforme, este principio de experimentación vulgar, en su parte primera, se basa en la inercia de la materia.

2.º De Galileo: cuando una o varias fuerzas actúan simultáneamente sobre un punto material, determina cada fuerza un efecto independiente de las otras y del estado de movimiento que tuviera el punto (movimiento de un reloj, independiente de los demás movimientos).

3.º De Newton: al actuar un punto material sobre otro, determina en él una acción, la cual hace nacer en el segundo otra acción igual y contraria a la primera, que se denomina reacción (un objeto puesto sobre una mesa ejerce sobre ella una presión, acción, y determina en la mesa una fuerza igual a esa presión para sostener el objeto, reacción).

73. Masa mecánica; cantidad de movimiento.- La experimentación y el cálculo demuestran que varias fuerzas, al actuar sobre un mismo cuerpo, determinan aceleraciones proporcionales a estas fuerzas; es decir, que siendo f, f, f, \dots y a, a, a las fuerzas y aceleraciones, respectivamente, se verificará que $f = m a, f = m a, f = m a$, o sea $f/f = a/a; f/f = a/a, \dots$

De lo anterior se deduce que la masa mecánica de un cuerpo es la relación constante de una fuerza aplicada al cuerpo y la aceleración que le comunica; si la fuerza fuese la gravedad, sería masa mecánica el cociente del peso del cuerpo por la aceleración que le imprime la gravedad. La unidad de masa en el sistema C. G. S. es el gramo masa.

La cantidad de movimiento de un cuerpo es el producto de su masa mecánica por su velocidad, o sea $m \times v$, siendo un medio también de medida de las fuerzas, puesto que $f = m \times a$; y a (aceleración) = v/t ; para $t = 1$, aceleración = velocidad; luego $f = m \times v$.

74. Trabajo mecánico; energía. -Se llama trabajo de una fuerza el producto de su intensidad por el camino que recorre el punto de aplicación en la dirección de la fuerza.

Energía, la facultad de los cuerpos para producir un trabajo, pudiendo estar en actividad, y se dice entonces energía actual o cinética (cuerpos en movimiento), o presentarse como almacenada para transformarse en actual en un momento determinado, y se llama energía potencial (un muelle comprimirlo, los explosivos).

75. Fuerza viva. -La fuerza viva de un punto materiales el producto de su masa mecánica por el cuadrado de la velocidad, o sea mv^2 , y el trabajo que realiza, el cual sirve de medida a la energía actual del punto, se representa por la mitad de su fuerza viva, $mv^2/2$, a cuya expresión llaman algunos mecánicos potencia viva del citado punto.

76. Medida del trabajo mecánico. -Siendo el trabajo una cantidad dependiente solamente de la intensidad de una fuerza y de un camino recorrido, se estableció para su medida la unidad kilográmetro, que es el trabajo necesario para elevar un kilogramo de peso a un metro de altura; y siendo esta unidad pequeña, se tomó un múltiplo, el caballo de vapor, igual a 75 kilográmetros.

En el moderno sistema del C. G. S. se ha establecido para unidad de trabajo el llamado ergio, que es el trabajo producido por una dina que se mueve recorriendo un centímetro; siendo sus múltiplos el megaergio, que vale un millón de ergios y el julio igual a diez millones de ergios.

Así: 1 kilográmetro = 1,000.000, miligramos \times 100 cms = 98,000.000 dinas = 9.8 julios (10 aproximadamente).

77. Unidad de potencia mecánica. -En el trabajo de los motores interesa conocer el tiempo empleado en este trabajo, constituyendo esta relación la potencia mecánica del motor cuya unidad de medida es el ergio por segundo o también el kilográmetro o el caballo de vapor por segundo, (este último equivale aproximadamente al trabajo de 5 caballos de sangre que, reemplazándose, trabajasen 8 horas diarias): este caballo de vapor suele expresarse, por las letras H P (iniciales de su nombre inglés). También se propuso la unidad Poncelet que es la potencia de un motor que produce 100 kilográmetros en un segundo, si bien ésta no es usada.

El trabajo de un julio en un segundo se denomina vatio (su múltiplo el kilovatio es muy usado en electricidad).

1, HP = 75 kgms (en 1) = 75×9^8 (julios seg.) = 735 vat.

78. Principio de la conservación de la energía. -Las dos energías, actual y potencial, forman reunidas la energía mecánica total del cuerpo, la cual se conserva en la naturaleza, experimentando solamente cambios en su manera de manifestarse; de donde se deduce el principio de la conservación de la energía, fundamento de la Física y correlativo al de conservación de la materia, sobre que se fundamenta la Química. El universo es el inmenso laboratorio donde se producen todas las transformaciones de la energía.

Capítulo IV

Aprovechamiento de las fuerzas. -Máquinas mecánicas

79. Máquinas mecánicas; su división. -Las máquinas son sistemas de cuerpos destinados a transmitir las fuerzas que sobre ellos se aplican, modificando alguna de sus condiciones.

Las fuerzas que se aplican se llaman potencias, y el trabajo que verifican, trabajo motor; las fuerzas que se vencen, resistencias, y su trabajo, resistente; y los puntos en que descansa la máquina, puntos de apoyo.

Las máquinas se dividen en simples y compuestas, según que tengan uno o más apoyos.

En toda máquina en equilibrio, el trabajo motor es igual al resistente; pero siendo las resistencias, unas útiles, o que se desean vencer, y otras, pasivas, dependientes de la máquina y del medio en que funciona (rozamientos, choques...), el trabajo útil o aprovechable ha de ser menor que el trabajo motor; rendimiento de una máquina o coeficiente económico es la relación entre estos trabajos, y este rendimiento se aproximará tanto más a la unidad cuanto más perfeccionada esté la máquina.

80. Principio de las velocidades virtuales. -De la igualdad entre los trabajos motor y resistente se deduce el llamado principio de las velocidades virtuales, que se verifica en todas las máquinas (suponiendo la no existencia de resistencias pasivas), o sea que el producto de la potencia por el camino recorrido por su punto de aplicación es igual al de la resistencia por el camino de su punto de aplicación, y según el cual, al favorecer las fuerzas, se aumentan los caminos que recorren sus puntos de aplicación a expensas de la velocidad o del tiempo; es decir, que lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad, e inversamente.

81. Máquinas simples. -Las principales máquinas simples o formadas de un solo cuerpo, son las siguientes, si bien casi todas pueden referirse a la palanca.

82. Palanca. -Es una barra poco flexible, de naturaleza y forma variables, que puede girar libremente alrededor de un punto, que es su punto de apoyo, o fulcro; las distancias del apoyo a las direcciones de la potencia y de la resistencia son los brazos de palanca respectivos.

Las palancas pueden ser de tres géneros: de 1.º, cuando el punto de apoyo está entre la potencia y la resistencia (alzaprimas, balanzas, tijeras y tenazas, si bien éstas son dobles palancas); de 2.º, cuando la resistencia esté entre la potencia y el apoyo (remos, carretilla, partenueces), y de 3.º, cuando la potencia esté entre la resistencia y el apoyo (pedales, pinzas, brazos).

La ley de equilibrio de la palanca, o sea las condiciones para que esta máquina esté en equilibrio, son que la potencia y la resistencia han de estar en razón inversa de sus brazos respectivos, verificándose, por tanto, que en toda palanca estará tanto más favorecida la potencia, cuanto mayor sea relativamente su brazo respectivo.

83. Demostración. -Esta ley se deduce de aplicar lo relativo a la composición de dos fuerzas paralelas; así, siendo P y Q la potencia y la resistencia, respectivamente, y p y q sus brazos se tendrá $P \times p = Q \times q$, de donde $P/Q = q/p$. Igualmente se deduciría del teorema de la igualdad de momentos, antes indicado.

84. Polea es un disco de naturaleza diferente, móvil alrededor de su eje, cuyo contorno presenta una canal, llamada garganta o cajera, por la que pasa una cuerda o cadena que hace mover la polea; se dice fija (fig. 19) cuando sólo tiene movimiento de rotación, colgándose del eje por unas armas y un gancho generalmente, y móvil (figura 20), si tiene movimientos de rotación y traslación, usándose las armas A B para colgar la resistencia R.

La ley de equilibrio de la polea fija dice que la potencia P es igual a la resistencia R por lo que esta máquina sólo se emplea para variar la dirección de la fuerza; y en la móvil, la potencia F es a la resistencia R como el radio de la polea es a la cuerda PP del arco abrazado por la cadena. Esta cuerda será un diámetro cuando las ramas de la cadena sean paralelas, y se tendrá: $\text{Potencia} = R/2$

85 Demostración. -Se llega a esta ley trasladando el apoyo, la resistencia y la potencia convenientemente, y uniendo entre sí estos puntos, se formará una palanca de primero (polea fija) o de segundo género (polea móvil), a las que no habrá más que aplicar su ley de equilibrio, ya conocida; en la móvil, el caso más favorable es cuando tiene sus ramas paralelas; y si éstas abrazasen un arco de 60º (cuya cuerda es el radio), la potencia sería igual a la resistencia.

86. Torno es un árbol cilíndrico, sostenido en dos cojinetes por dos cilindros de menor diámetro que el árbol, llamados muñones, que gira alrededor de un eje fijo y que lleva arrollada una cuerda sobre la que actúa la resistencia; la potencia que produce el giro del torno se aplica por unas palancas acodadas o cigüeñales, o por ruedas dentadas, o utilizando una gran rueda de clavijas.

Cuando el torno es horizontal (fig. 21), se llama de pozos para elevar cuerpos, y si es vertical, se denomina cabrestante, usándose para el arrastre de pesos.

La ley de equilibrio del torno dice que la potencia y la resistencia han de estar en la relación de los radios del cilindro y de la circunferencia descrita por la potencia. Se favorece el torno aumentando el brazo de la potencia, y mejor adelgazando el cilindro; de

aquí el empleo de los tornos diferenciales, en los que la cuerda, si bien se arrolla por un lado aumentando el grueso del árbol, se desarrolla por el otro, compensándose ambos efectos.

87. Demostración. -Esta ley se deduce de suponer que las fuerzas actúan tangencialmente al árbol y a la circunferencia descrita por el manubrio, y por ello se puede unir la potencia y la resistencia con el apoyo, en una sección del torno, con lo que resulta una palanca de primer género, de cuya ley ya conocida se deduce la del torno.

88. Plano inclinado es todo plano que forma con el horizonte un ángulo menor de 90° , utilizándose para favorecer el ascenso o descenso de grandes pesos.

Se representa (fig. 22) por un triángulo rectángulo ABC (que resulta de cortar el plano inclinado por un plano vertical), en el que la hipotenusa BC es la longitud del plano, y los catetos vertical AB y horizontal AC representan respectivamente la altura y la base del plano. La resistencia es el peso del cuerpo, y la potencia la fuerza P que hay que hacer para impedir el movimiento del cuerpo por el plano; pudiendo actuar esta fuerza paralelamente a la longitud del plano, o paralelamente a la base, es decir, en sentido horizontal.

La ley de equilibrio de esta máquina es: potencia es a la resistencia como la altura es a la longitud (cuando la potencia es paralela a la longitud), o como la altura es a la base (en el caso de ser la potencia paralela a la base); así, $P:R:: AB: BC$ y $P:R:: AB: AC$.

Se aplica esta máquina en la carga y descarga de grandes pesos; en las rampas y escaleras; y justifica también la conveniencia de vueltas en las carreteras y vías férreas, a fin de disminuir la altura en relación con la longitud, o sea el tanto por ciento de la inclinación.

89. Demostración. -A la ley de esta máquina se llega admitiendo (supuesta la potencia paralela a la longitud) que la resistencia o peso del cuerpo que actuaría, según GQ, se ha descompuesto en las dos componentes: GM, paralela a la longitud y que trata de hacer descender al cuerpo (lo que impide la potencia, P, que por ello ha de ser igual y opuesta a esa componente), y GN, perpendicular a la longitud que apoya al cuerpo sobre el plano, estando contrarrestada por la resistencia de éste, completado el paralelogramo de estas componentes y comparando los triángulos semejantes. ABC y MQG, se tendrá la relación $P:R:: AB: BC$, que expresa la ley del plano inclinado.

Del triángulo GMQ se obtiene una relación trigonométrica ($GM = GQ \times \text{sen } C$), de la cual se deduce que el valor de la potencia P que ha de vencer la resistencia del cuerpo, aumenta a medida que aumenta el ángulo C, e inversamente.

90. Cuña es un prisma triangular, generalmente isósceles en su sección (fig. 23), que sirve para separar los cuerpos entre los cuales se introduce; el sitio donde actúa la potencia se llama cabeza; las caras laterales, caras o lados, y su unión, filo.

La ley de equilibrio de esta máquina dice: que la potencia y la resistencia han de estar en la relación de la cabeza con el lado.

Las cuñas tienen mucha aplicación industrial, y en la relación indicada se funda el hecho de afilar los instrumentos punzantes y cortantes.

91. Demostración. -Esta ley puede deducirse considerando la cuña como dos planos inclinados, unidos por su base, en los que las fuerzas actuasen paralelamente a ésta; o directamente (fig. 23) representando la potencia y la resistencia actuantes perpendicularmente a la cabeza y a los lados de la cuña, completando el paralelogramo correspondiente a estas fuerzas, y comparando los triángulos que resultan con el triángulo ABC que representa la cuña; así: $P:R:: AB: AC$.

92. Tornillo (fig. 24) es un cilindro cuya superficie presenta una parte saliente en espiral, llamada hélice o filete, de sección triangular o cuadrangular; la distancia de un punto de la hélice al inmediato superior o inferior en la misma vertical es el paso de rosca.

El tornillo sirve para unir íntimamente distintas piezas, o para producir grandes presiones (prensas), y penetra en una pieza negativa o inversa, a modo de molde del tornillo, llamada tuerca o hembra, que la hace él mismo si se introduce en materia blanda (madera, corcho), o va con el tornillo, si se trata de materias duras (hierro). El introducir los tornillos se llama atornillar, y se verifica, en lo general, por intermedio de palancas.

La ley de equilibrio del tornillo dice que la potencia y la resistencia han de estar en la relación del paso de rosca a la circunferencia descrita por la potencia.

93. Demostración. -Esta ley se deduce de la del plano inclinado, puesto que el tornillo puede considerarse engendrado por un triángulo rectángulo que se enrolla a un cilindro que tiene la misma altura y en el que la base of (fig. 23) y la altura oa forman la circunferencia de la base y la altura del tornillo, y la longitud af , la hélice. Se favorece esta máquina disminuyendo el paso de la rosca o aumentando la circunferencia que describe la potencia.

94. Máquinas compuestas; generalidades. -Se forman estas máquinas por la combinación de otras simples, de modo que la potencia de cada una actúe de resistencia en la anterior, o por la unión de elementos mecánicos que constituyen un mecanismo bastante complejo, en el que los elementos que reciben directamente las fuerzas motoras se dicen las partes receptoras, los que producen el efecto útil, partes operadoras; y los medios de enlace de ambos, partes transmisoras (en un molino de viento, las aspas son las partes receptoras; las piedras moledoras, las operadoras, y los engranajes y árboles de transmisión, las partes transmisoras).

95. Asociación de poleas. -Son de mucho uso las asociaciones de poleas fijas y móviles, enlazadas por un solo cordón, constituyendo los llamados polipastos, aparejos o motones, pudiendo ser la combinación de dos garruchas (fig. 25), una fija y otra móvil, o combinación de poleas diferentes (fig. 26), enlazadas en un mismo plano, verificándose en todas estas máquinas que la potencia es igual a la resistencia dividida por 2, multiplicado por el número de poleas móviles, o también la potencia igual a la resistencia dividida por el número de poleas o por el número de cordones que las unen, de lo que se deduce que por estas combinaciones pueda favorecerse a voluntad la fuerza potente.

En las figuras 25 y 26; $P = R/6 = R/2 \times 3$

Las poleas diferenciales, son una asociación de poleas de eje común y radios distintos, por las que pasa una cadena que sostiene una polea móvil de la que pende la resistencia; en esta máquina se favorece la potencia en relación con las diferencias de los radios de las poleas del sistema, siendo muy usadas en la construcción.

La asociación de un torno y una polea fija forma la máquina llamada cabria, y que si tiene movimiento giratorio constituye la grúa, de tanto uso en los muelles de los puertos y ferrocarriles.

96. Ruedas dentadas. -Las ruedas dentadas consisten en discos, generalmente metálicos, con su borde provisto de partes entrantes y salientes, llamadas dientes, que se corresponden cuando dos de estas ruedas se articulan o engranan, designándose las pequeñas con el nombre de piñones, verificándose en estas ruedas que las fuerzas potentes y resistentes han de estar en la relación del producto de los radios de los piñones, al producto de los radios de las ruedas y, por lo tanto, del número de sus dientes; estas ruedas dentadas sirven para producir grandes fuerzas, para determinar movimientos de duración relativa (engranaje de los relojes) y para cambiar la dirección de los movimientos. A veces la rueda dentada se articula con una barra, también dentada, llamada cremallera, según se practica en los ferrocarriles funiculares, en los ascensores de gran pendiente y en el llamado cric o gato (fig. 27), que se aplica para elevar grandes pesos, y es de uso muy vulgar.

97. Tornillo sin fin. -El tornillo sin fin es la combinación de un tornillo con una rueda dentada, funcionando indefinidamente por medio de un manubrio, siendo un medio de transformar el movimiento, y la corren sin fin, que es la unión por una correa de dos ruedas de diámetro diferente, las cuales girarán con velocidades proporcionales a sus radios, moviendo una de las ruedas, y siendo de gran aplicación industrial.

98. Resistencias pasivas en las máquinas. -Las principales causas que se oponen al aprovechamiento total del trabajo motor en las máquinas, es decir, las resistencias pasivas de mayor importancia, en cuyo vencimiento se emplea un trabajo inútil o perdido para el efecto industrial, son el rozamiento y los choques.

99. Rozamiento. -El rozamiento, que es una consecuencia de las asperezas en las superficies, consiste en la resistencia que oponen los cuerpos a moverse cuando están en contacto con otros, pudiendo ser este rozamiento de giro o por deslizamiento, siendo el segundo mayor que el primero, a causa de ser en éste menos persistente el engranaje de las asperezas, por deshacerse prontamente con el movimiento de giro.

Se disminuye el rozamiento con el pulido de las superficies (uso de substancias lubricantes), o cambiando el deslizamiento en giro (uso de ruedas, montaje sobre bolas), y se aumenta, para hacerlo utilizable, haciendo mayor la presión de contacto (frenos y galgas de los carruajes), o aumentando las asperezas de las superficies (empleo de la paja o arena sobre los pavimentos).

El rozamiento obedece a las siguientes leyes, deducidas por Coulomb: es proporcional a la presión; depende de la naturaleza de los cuerpos en contacto y es independiente de la extensión de las superficies y de la velocidad una vez iniciado el movimiento, según puede comprobarse experimentalmente con un aparato llamado tribómetro.

100. Choque; sus clases. -El choque es la mutua reacción que se verifica en el encuentro de dos o más cuerpos, de los que uno por lo menos está en movimiento.

El choque puede ser central y excéntrico, según que la dirección del movimiento de choque pase o no por el centro de gravedad de las masas chocantes, y recto u oblicuo, según que la dirección del movimiento sea o no perpendicular al plano del choque, pudiendo verificarse entre cuerpos elásticos o inelásticos (de elasticidad despreciable por su pequeñez), produciéndose al chocar una deformación de las masas chocantes, que desaparece totalmente por la reacción elástica en los primeros, y que subsiste más o menos marcadamente en los segundos.

Se prueban estos efectos lanzando una esfera de marfil sobre un plano recubierto de polvo de lápiz, y viendo que, no obstante su forma esférica, se mancha en una zona, lo que demuestra su deformación, aunque luego recobra la forma esférica en virtud de la reacción elástica, persistiendo la deformación si la esfera hubiera sido de arcilla (cuerpo inelástico).

En el choque, el cuerpo que está en movimiento transmite parte de su velocidad al que se mueve más lentamente que él, y el sistema, después del choque, tiene una velocidad intermedia a la de las masas chocantes, si éstas eran inelásticas, puesto que cuando son elásticas las masas chocantes cambian entre sí sus velocidades; este cambio de movimiento y la deformación son pérdidas de trabajo.

El choque es a veces utilizado y sirve de fundamento a los juegos de billar y pelota.

101. Comunicación del movimiento. -En el choque existe comunicación del movimiento de unas moléculas a otras, en un tiempo pequeñísimo, aunque no instantáneo, como se prueba con una esfera suspendida de un hilo y que tiene inferiormente otro hilo, el cual se rompe si se tira bruscamente de él, por no darse tiempo a comunicar el esfuerzo al hilo superior; lo contrario del caso en que la fuerza se ejerce lentamente, pues entonces se rompe el hilo superior que sostiene más peso que el hilo inferior; este fenómeno justifica el que un proyectil agujeree el vidrio, y una puerta sin hacerla girar, y otros hechos vulgares.

La comunicación del movimiento a través de las masas se demuestra con el llamado aparato de percusión central, en el cual, de un bastidor se suspenden a igual altura varias esferas iguales elásticas.

102. Choque recto de los cuerpos. -Se experimenta con el aparato (fig. 28), en el que se suspenden por dos hilos (suspensión bifilar), dos esferas de arcilla hechas con glicerina (para los cuerpos inelásticos) o dos de marfil (para los elásticos) que se mueven en un arco graduado; las masas inelásticas después del choque continúan reunidas formando un sistema de velocidad intermedia a la de las velocidades de esas masas, y las elásticas al chocar cambian mutuamente sus velocidades.

Los casos del choque de dos cuerpos inelásticos m y m de velocidades v y v (siendo $v > v$), están en la fórmula $V = \frac{mv \pm m v}{m+m}$ a la que se llega, recordando que después del choque las dos masas tienen la misma velocidad V , luego lo que ha ganado en velocidad la masa m lo ha perdido m , y por ello las cantidades de movimiento después del choque serán; para m , $m(v - V)$ y para m , $m(V - v)$ que serán iguales; $m(v - V) = m(V - v)$ de donde se deduce el valor de V o sea la fórmula indicada.

103. Choque oblicuo. -En el choque oblicuo, las direcciones del movimiento antes y después del choque, forman con la normal al plano del choque, en el punto de incidencia de ambas direcciones, dos ángulos iguales de incidencia y de reflexión, que están en un plano, según se experimenta con un sencillo aparato.

Parte tercera

Gravedad y sus efectos

Capítulo I

Fuerza de gravedad. -Caída de los cuerpos

104. Gravedad; generalidades. -La gravedad es la fuerza de atracción que existe entre la Tierra y los cuerpos en ella situados; esta fuerza es un caso particular de la atracción de masas, la cual se dice gravitación universal, si se refiere a los astros, y atracción molecular, si a la acción atractiva de las moléculas.

Estas mutuas acciones atractivas de los cuerpos no unidos por ningún ligamento material, cuyas causas se desconocen, constituyen un misterioso problema y han sido estudiadas experimentalmente, deduciéndose de ello que satisfacen a ciertas leyes naturales denominadas por Newton, que fue quien las enunció, leyes de la gravitación, siendo las más importantes las dos siguientes: 1.^a, los cuerpos actúan entre sí como si se atrajesen en razón directa de las masas; y 2.^a, la atracción se verifica en razón inversa del cuadrado de las distancias.

105. Dirección de la fuerza de gravedad. -Considerando la Tierra como esférica y compuesta de capas homogéneas y concéntricas, toda su acción atractiva puede suponerse condensada en el centro, y, en virtud de esto, todos los cuerpos, al obedecer a la acción de la gravedad, tratan de caer o, lo que es igual, se aproximan al centro del planeta, describiendo en su caída una línea vertical, prolongación de un radio terrestre.

Luego la dirección de la gravedad está representada por las líneas verticales, o sean las líneas perpendiculares a la superficie tranquila de las aguas (fig. 29) que determina el horizonte, empleándose comúnmente, para fijar estas verticales, un hilo flexible que sostiene un peso metálico y al que se denomina plomada.

El hecho de concurrir todas las verticales en el centro de la Tierra, si se prolongasen, demuestra la falta de paralelismo existente entre ellas; pero como el ángulo que formarían dos cualesquiera es muy pequeño en relación con las distancias usadas en la superficie terrestre (dos verticales distantes entre sí 111 kilómetros formarían un ángulo solamente de un grado), de aquí que se consideren las verticales como sensiblemente paralelas; además, la falta de esfericidad de la Tierra, su movimiento y la existencia de grandes masas o montañas, también producen desviaciones poco sensibles en la dirección de las líneas verticales.

Las verticales y las horizontales son de interés en la construcción y en muchos hechos de la vida.

106. Caída de los cuerpos; sus leyes. -Admitiendo como constante la fuerza de gravedad, ya que sus variaciones deducidas de la 2.^a ley anterior, son insignificantes, dadas las pequeñas distancias terrestres en que se opera, todos los cuerpos estarán sometidos a esta fuerza sensiblemente constante y continua que les obliga a caer con sujeción a dos leyes:

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

2.^a Los cuerpos al descender por la gravedad, descienden con movimiento uniformemente acelerado, pues satisfacen a las leyes de este movimiento (52).

107. Demostración experimental: 1.^a LEY. -Se demuestra con el tubo de Newton (fig. 30), que es un largo tubo de cristal del que se puede extraer el aire por la máquina neumática y en el que se ponen pequeños fragmentos de papel, corcho, metal...; Si se enrarece el aire interior y después se invierte el tubo, estos cuerpos tan diferentes caerán al mismo tiempo. Análogamente se demuestra, con el llamado martillo de agua, que es un tubo lleno en su mitad de agua, y en el que se ha practicado el vacío y que al invertirlo cae de una vez toda la masa de agua, originando sobre la pared un ruido semejante al golpe de un martillo.

Esta ley no es observable en el aire, por la distinta resistencia que opone este medio a los cuerpos, como se comprueba con la distinta duración de la caída de un papel extendido y el mismo arrebujado en una bola, u observando como un disco de papel adherido a una moneda (sin pegarle) desciende al mismo tiempo que ésta, la cual impide en este caso que actúe sobre el disco la resistencia del aire.

En esta resistencia se fundan los paracaídas.

108. 2.^a Ley. -Es difícil de comprobar directamente por la rapidez del movimiento de caída de los cuerpos, y se demuestra utilizando aparatos que disminuyen este movimiento

sin variar su naturaleza, como el plano inclinado que fue usado para este fin por Galileo, y modernamente la máquina de Atwood y el cilindro de Morin.

109. Máquina de Atwood. -La máquina de Atwood es en esencia (fig. 31) un árbol vertical de unos 250 ms., que tiene encima una polea F montada con el menor rozamiento posible (sobre otras dos H, G), por cuya garganta pasa un hilo que sostiene dos pesos P, P iguales, que por lo tanto se equilibrarán, añadiendo un peso adicional m a P, el sistema de los dos P y P, se pondrá en movimiento, descendiendo P con una aceleración tanto más pequeña cuanto menor sea m, y realizando el descenso delante de una regla B, C, dividida métricamente, en la que se aprecian los espacios; el tiempo se determina por un metrónomo o un reloj de péndulo A, que miden el tiempo y están combinados por una palanca con un platillo superior que sostiene el peso P hasta que se inicia el descenso sincrónicamente con el péndulo de los aparatos medidores del tiempo. En la regla pueden fijarse platillos E para detener el movimiento, o unos anillos D, que retienen la pieza adicional (para ello de forma alargada) y permiten seguir el movimiento de P por lo, velocidad adquirida.

Se comprueba con esta máquina la ley de los espacios (52), poniendo sobre P un peso adicional m, y calculando por tanteo, lo que el sistema P+m recorre en un segundo; sea, p. ej., 10 cms., se multiplica los 10 por 2° y a los 40 cms. se pone el platillo y se percibe el golpe en él del peso P; para el tercer segundo, se multiplica 10 por 3° y en los 90 cms. se pone el platillo, al que llega el peso al tercer segundo, y así sucesivamente.

La ley de las velocidades se comprueba poniendo sobre P una pesa alargada y calculando, por tanteo, el espacio que corresponde a un segundo; sea éste también de 10 cms. se coloca en los 10 cms., un anillo y al pasar por él, el sistema deja el peso adicional y el peso P sigue, por la velocidad adquirida, marchando con movimiento uniforme y recorre un espacio de 20 cms., deteniéndose en el platillo que se habrá puesto en los 30 cms., es decir, en el 2.ºsegundo ha adquirido una velocidad de 20 cms.; se pone después el anillo en los 40 cms, que el peso P+m recorre en dos segundos (ley de los espacios), y detenida la masa m en el anillo, el peso P sigue, llegando en el tercer segundo a los 80 cms., o sea que ha adquirido una velocidad de 40 cms. doble que la anterior... y así en los tiempos sucesivos.

110. Cilindro de Morin. -El cilindro de Morin (figura 32) da una demostración gráfica de la caída de 108 cuerpos, pues consiste en un cilindro A, giratorio alrededor de su eje con movimiento uniforme por un sistema mecánico, formado por el peso B, un piñón C, dos hélices D y E y un regulador de paletas F y F; al cilindro se arrolla un papel que tiene trazadas verticales equidistantes, y sobre el cual, al descender el peso G por la palanca

LOM, marca, con un lápiz que lleva horizontalmente, una línea curva parabólica, que corta a las verticales, y proyectando los puntos éstos de encuentro, sobre la vertical correspondiente al origen del movimiento, se verán sobre esta vertical marcados los espacios y comprobada gráficamente la ley.

111. Fórmula de la caída de los cuerpos. -La velocidad de caída de un cuerpo desde una altura h en un tiempo t, puede expresarse en función de h, y para ello basta eliminar el

factor t en las dos fórmulas ya conocidas del espacio y de la velocidad del movimiento uniformemente variado: h (es el espacio) = $gt^2/2$ y $v = gt$, lo que da $v = 2 g h$.

Ahora, si en la fórmula $h = 1/2gt^2$ se hace $t = 1$ resultará $h = g/2$, o sea $2 h = g$; es decir, la aceleración de la gravedad es igual al doble del espacio recorrido en la unidad de tiempo, cuyo valor puede calcularse con las máquinas indicadas en la caída de los cuerpos.

Capítulo II

Centro de gravedad. -Equilibrio. -Peso de los cuerpos

112. Centro de gravedad. -La gravedad, al ejercer su acción sobre todas las moléculas de un cuerpo, determina un sistema de fuerzas paralelas, cuya resultante, de intensidad igual al peso del cuerpo, tiene un punto de aplicación, llamado centro de gravedad, que, por lo tanto, es el punto de aplicación de la resultante del sistema de fuerzas paralelas que determina la gravedad sobre las partículas del cuerpo.

113. Determinación del centro de gravedad de los cuerpos. -En los cuerpos homogéneos y regulares, el centro de gravedad coincide con el de la figura; así, se encuentra en el centro del círculo, de las superficies de los polígonos regulares y de las esferas y rectas físicas; en la superficie del triángulo se halla, en el punto de concurso de sus medianas, o sea a los dos tercios de una de ellas, a partir del vértice; así como el del contorno triangular está en el punto de concurso de las bisectrices del triángulo que forman las rectas que unen los puntos medios de los lados del contorno triangular.

En los cuerpos irregulares se determina experimentalmente el centro de gravedad, suspendiendo el cuerpo por un hilo en dos posiciones diferentes y viendo el punto en que se cortan las dos direcciones del hilo o sus prolongaciones, cuyo punto será el centro de gravedad pedido.

114. Equilibrio de los cuerpos. -Estando representadas todas las acciones de la gravedad sobre las partículas de un cuerpo, según se acaba de indicar, por una resultante única, aplicada al centro de gravedad del cuerpo, si en dicho centro se hace actuar otra fuerza igual y opuesta a la de la gravedad, el cuerpo, por estar sometido a fuerzas iguales y contrarias, quedará en reposo relativo o equilibrio.

En los cuerpos sostenidos, el equilibrio se obtiene siempre que la vertical del centro de gravedad del cuerpo pase por el punto de sustentación, si éste era uno solo, o caiga dentro del espacio limitado por las rectas que unen los diversos puntos de sostén, si fueran éstos varios, cuyo espacio forma la llamada base de sustentación del cuerpo. Esto explica la estabilidad de las torres inclinadas de Pisa y Bolonia; las posiciones que toma el hombre al llevar pesos que tratan de inclinar su cuerpo, con perjuicio de su estabilidad; el uso de los bastones como medios de sostén; la estabilidad de los animales y de los objetos domésticos;

la conveniente distribución de la carga en los vehículos; los tentemozos y otros aparatos de Física recreativa.

En los cuerpos suspendidos, el equilibrio se produce cuando la vertical del punto de suspensión pase por el centro de gravedad del cuerpo (colgar lámparas y objetos de adorno).

Si el cuerpo estuviese sometido simultáneamente a fuerzas de distinta dirección (gravedad y fuerza centrífuga, por ejemplo), el equilibrio se producirá cuando la resultante de estas fuerzas pase por la base de sustentación; explicándose así la estabilidad de los jinetes y ciclistas al inclinarse en las curvas rápidas, la inclinación de los aros de juego de los niños, la estabilidad en los columpios y otros hechos vulgares.

115. Clases de equilibrio de los cuerpos. -Tres son las clases de equilibrio que puede tener un cuerpo; estable, inestable e indiferente.

Estable, que se caracteriza porque al desviar el cuerpo ligeramente de su posición vuelve a recobrarla, a causa de que en esta desviación el centro de gravedad sube (cono sobre la base, el hombre de pie); Inestable, si al desviarle de su posición se separa cada vez más de ella, por producirse así el descenso de su centro de gravedad (cono sobre el vértice, un bastón sostenido por un dedo, el hombre sobre las puntas de los pies) e Indiferente, si en la desviación toma una posición estable, pues no varía la altura a que se encuentra el centro de gravedad (cono sobre el lado, una esfera, el hombre echado).

El equilibrio estable se verificará en un cuerpo suspendido, cuando el punto de suspensión está por encima del centro de gravedad.

En general, el equilibrio es tanto más estable cuanto más bajo esté el centro de gravedad y mayor sea la base de sustentación, lo que explica el ascenso de ciertos cuerpos en un plano inclinado por tener su centro de gravedad dispuesto para que baje cuando el cuerpo sube por el plano (paradoja dinámica).

116. Peso de los cuerpos. -El peso de un cuerpo es la resultante de la acción que sobre éste determina la gravedad, manifestándose por la presión que ejerce el cuerpo sobre los obstáculos que impiden su caída en el vacío; este peso, variable como la intensidad de la gravedad que le origina, se llama peso absoluto, y es inservible por su inconstancia, para las relaciones comerciales, por lo que se sustituye por el peso relativo, o simplemente peso del cuerpo, que expresa la relación entre el peso absoluto del cuerpo y otro peso determinado que se toma por unidad; esta unidad en el sistema métrico es el grano teóricamente, o sea el peso en París de un centímetro cúbico de agua destilada a 4° centígrados, representado por la milésima parte del peso del kilogramo etalón de platino depositado en los archivos de Francia.

Los aparatos para hallar el peso relativo de los cuerpos son: la balanza, la romana y la báscula.

117. Balanza. -Este aparato, de uso muy vulgar, consiste (fig. 33) en una palanca de brazos iguales o cruz A B sostenida o suspendida de su centro C, generalmente por el intermedio de un prisma triangular cuya arista descansa sobre un plano de una substancia dura (acero o ágata), a fin de disminuir en lo posible el rozamiento; de los extremos de la cruz penden dos platillos P y Q, en los que se colocan, respectivamente, el cuerpo que se va a pesar y los pesos conocidos; la horizontalidad de la cruz, que indica la exactitud de la pesada, o, como se dice vulgarmente, que la balanza está en fiel, se aprecia por un estilete o varilla que lleva dicha cruz en su centro y que oscila sobre un arco graduado M, o entre dos varillas llamadas armaduras; el fiel supone la coincidencia del estilete con el plano de las armaduras o con el 0 del arco.

118. Condiciones de exactitud y sensibilidad de las balanzas. -La balanza es exacta cuando teniendo equilibrio estable y descargados los platillos, o cargados con pesos iguales, la cruz permanece horizontal, cosa que sucede si los brazos y platillos son de igual longitud y peso, si la cruz es una recta poco flexible y el centro de gravedad está por bajo del punto de su sustentación; si faltase esta última condición, estando dicho centro por encima de la sustentación, el equilibrio de la balanza sería inestable (balanza loca), y si coincidiesen ambos puntos, la balanza tendría equilibrio indiferente (balanza indiferente).

Las balanzas se dicen sensibles, o de laboratorio, cuando aprecian pesos muy pequeños, como un miligramo, por ejemplo; estas balanzas son de construcción esmerada, y la sensibilidad se obtiene dando bastante longitud y pequeño peso a sus brazos y consiguiendo una gran aproximación del centro de gravedad al punto de sustentación, así como haciendo lo menor posible los rozamientos, para lo cual la cruz y los platillos se montan sobre prismas de acero que descansan por una arista en plano de ágata; estos aparatos, de empleo bastante delicado, se suelen guardar en vitrinas de cristal, para preservarlos de las acciones atmosféricas, y tienen una palanca, por la que se eleva la cruz a voluntad cuando la balanza no funciona, a fin de no gastar las piezas sobre que descansa.

Aunque las pesadas se hacen por pesas muy exactas, también suelen llevar unos tornillos convenientes para regular, en caso de necesidad, la posición del centro de gravedad y la longitud de los brazos. A veces se emplean unos puentes metálicos que se colocan sobre un brazo de la balanza, previamente dividido en partes iguales, y que por las leyes de la palanca permiten apreciar medidas fraccionarlas de la pesa más pequeña de que se dispone;

estos puentes se dicen reiteres, y su aplicación se debe al químico Berzelius.

119. Balanza de Roberval. -En el comercio se emplea otra balanza, debida a Roberval (fig. 34), en la que los platillos P, P descansan sobre un paralelogramo articulado ABED, por medio de unas dobles horquillas; la principal ventaja de esta balanza es tener los platillos libres y presentar menos volumen.

120. Métodos de pesar. -La operación de pesar, tan conocida como sencilla, se hace en extremo delicada para las pesadas de las balanzas sensibles, las cuales empiezan por exigir grandes cuidados en su instalación, usándose pesas conocidas y que, agrupadas en número conveniente, las grandes de latón y las fracciones de gramo, de aluminio o platino, forman

las cajas de pesas, con las que se puede pesar hasta un peso igual al doble del que representa la pesa más grande de la caja.

Para pesar con balanzas poco exactas puede seguirse el método llamado de las dobles pesadas, o de Borda, que consiste en equilibrar el cuerpo en la balanza con arena, perdigones... (tara), quitar luego el cuerpo, pesar con pesas conocidas la tara, y este peso será el del cuerpo.

121. Romana. -Es una palanca (fig. 35) ACB, de brazos desiguales, que se suspende de un gancho C; el brazo corto tiene otro gancho o platillo A (a veces tiene otro gancho de suspensión C G que permite invertirla y pesar pesos mayores, por ser el brazo resistente CA menor que CA), para el cuerpo que se va a pesar (representa la resistencia), y el brazo largo EB, dividido por comparación en unidades ponderales conocidas, lleva un peso llamado pilón, DP, que puede moverse a lo largo del brazo.

El empleo de la romana se funda en las leyes de la palanca, puesto que son en ella fijos la potencia P y el brazo de la resistencia CA o CA y varía el brazo de la potencia CD, en relación con las variaciones de la resistencia Q; la romana resulta poco exacta, pero es de poco coste y no necesita juego de pesas; el peso menor, pesable con la romana, sirve de entrada a esta romana.

122. Báscula. -Es un aparato destinado a pesar grandes pesos. Consiste en esencia (fig. 36) en una plataforma para el peso P, unida por un tirante Q en el punto B a la palanca AOC de primer género, y apoyada sobre la palanca N de segundo género, la cual está unida por el tirante R a AOC en el punto C; la relación de los brazos de la palanca N es igual a la que existe entre OB y OC (de 1 a 5, por ej.). El peso P puesto en la plataforma se descompone en dos partes; una p que actúa directamente sobre B y otra q que por intermedio de la palanca N actúa sobre C disminuida en la relación indicada (la quinta parte, por ej.), dando el mismo resultado que si actuase sobre B aumentada en lo que había disminuido (cinco veces, esta quinta parte).

Así, pues, se consigue el mismo efecto que si el cuerpo se hubiese colgado de B (pues sobre este punto actúan p y $q/5 \times 5 = p+q = P$); y haciendo que el brazo OA de AOC, sea diez veces mayor que OB, se equilibrará con un peso puesto en el platillo A otro diez veces menor puesto en la plataforma, constituyendo la báscula decimal; si esta relación de los brazos fuere de 1 a 100, la báscula se llamaría centesimal; las básculas del ferrocarril suelen reunir en un solo aparato la báscula ordinaria y la romana.

Capítulo III

Péndulo: movimientos pendular y vibratorio

123. Péndulo. -Péndulo es todo cuerpo pesado, movable alrededor de un punto o eje fijos, llamados de suspensión y a los que está unido por un hilo o una varilla; este péndulo

puede ser simple, ideal o matemático, cuando se supone el hilo de suspensión inextensible y sin peso, y que el péndulo se mueve sin rozamientos, por lo que su movimiento es indefinido, y de él se deducen las leyes del movimiento pendular; y péndulo compuesto o práctico, el que existe en la realidad y que se considera como la reunión de péndulos simples, estando suspendido por una varilla o un hilo delgado y de peso despreciable.

En el péndulo simple el punto material móvil forma el centro de oscilación, y su distancia al centro de suspensión es la longitud del péndulo.

124. Movimiento pendular. -Si el péndulo (figura 37) se desvía de la posición vertical o de equilibrio OM, toma un movimiento, a uno y otro lado de ella, llamado movimiento oscilatorio o pendular, en el que el paso de una posición extrema M a la otra M se dice oscilación simple, así como el ángulo correspondiente M OM es la amplitud de oscilación, y el ángulo de la vertical con una posición extrema forma el ángulo de caída MOM; el movimiento necesario para que el péndulo pase dos veces consecutivas por una posición extrema forma una oscilación completa, y los tiempos empleados en estas acciones constituyen la duración de las mismas.

Este movimiento pendular se produce porque al desviar, por el arco MM hasta M el péndulo, su peso P se descompone en una fuerza en la dirección del hilo suspensor, que es contrarrestada por la resistencia de este hilo, y otra perpendicular a ella, que varía según una determinada relación, y que solicita al péndulo a dirigirse a la posición vertical para rebasarla después por la velocidad adquirida y llegar hasta la otra posición extrema M, donde pasan los hechos como anteriormente; en la desviación del péndulo de M a M se eleva su peso una altura igual a MC, y por ello se le comunica una cierta energía potencial, equivalente al trabajo $T = F \times MC$, que al descender el péndulo por la componente tangencial se convierte en actual completamente al llegar al punto M, para luego irse transformando en potencial, a cuya transformación completa llega en el punto M, a partir de cuya posición se suceden las cosas como al principio; análoga descomposición de fuerzas sucedería en un punto intermedio del camino que recorre el péndulo P.

125. Leyes del péndulo. -El movimiento pendular obedece a las siguientes leyes, deducidas por Galileo, del péndulo simple:

1.^a La duración de las oscilaciones pequeñas (menores de unos 4°) es independiente de su amplitud; es decir, las oscilaciones pequeñas son isócronas;

2.^a La duración de las oscilaciones de un péndulo es independiente de la naturaleza y peso del mismo;

3.^a Esta duración, en péndulos de longitud diferente, es proporcional a las raíces cuadradas de las longitudes; y

4.^a La duración de las oscilaciones de un péndulo, en lugares diferentes de la Tierra, varía en razón inversa de la raíz cuadrada de la intensidad de la gravedad en dichos lugares.

Estas leyes son comprobables por la experimentación y están resumidas en la llamada fórmula del péndulo, que se deduce en la mecánica y que es: $t = 2\pi\sqrt{l/g}$, en la cual l es la longitud del péndulo; g , la aceleración de la gravedad; t , la duración de la oscilación, y 2π , la relación de la circunferencia al diámetro.

126. Péndulo compuesto. -La longitud del péndulo compuesto es la longitud del simple sincrónico con él; es decir, la del péndulo simple que hiciera una oscilación en el mismo tiempo que el compuesto, o sea la distancia entre los ejes de suspensión y el de oscilación, que forma una línea media del péndulo; siendo necesaria esta longitud para muchas aplicaciones, y determinándose por el principio de reversibilidad, que dice que ambos centros son recíprocos, pudiendo, por tanto, invertirse, según se comprueba experimentalmente por un péndulo debido al físico Kater.

127. Aplicaciones del péndulo. -El sincronismo de las pequeñas oscilaciones fue utilizado por Huygens para regular la marcha de los relojes, a cuyo fin éstos llevan un péndulo (fig. 38) o péndola que, por intermedio de una pieza curva o escape de áncora, p q , comunica su movimiento regular a la rueda motora o catalina R , convirtiendo en uniforme el movimiento acelerado que imprime la cuerda a esta rueda; el pequeño choque impulsivo de la rueda y el escape de áncora impiden que se pare el péndulo. En los relojes de bolsillo la regulación se obtiene por un volante de movimiento sincrónico.

Mídese también el tiempo, principalmente en música, con los metrónomos, que consisten esencialmente en un péndulo, con la suspensión más baja que su centro de gravedad, pudiendo variarse éste y, por tanto, las oscilaciones del péndulo, con un peso movable sobre la varilla de suspensión.

El péndulo fue aplicado por Foucault para demostrar el movimiento de rotación de la Tierra, fundándose en la invariabilidad del plano de oscilación del péndulo; el experimento fue hecho con un péndulo de 64 metros en el Panteón de París, marcándose la oscilación en un círculo trazado en el suelo. Empléase muy preferentemente el péndulo para calcular la intensidad de la gravedad en un lugar; pues, en efecto, de la fórmula del péndulo, haciendo $t = 1$, se deduce $g = 2\pi^2/l$, que da el valor de g cuando se conoce la longitud l del péndulo de segundos (o que en cada oscilación emplea un segundo de tiempo) en dicho lugar; así, siendo en Madrid $l = 0,992$ de metro, g será igual a 9,80 metros (según cálculos del geodesta español, el militar Sr. Barraquer).

También se ha aplicado el péndulo para calcular la densidad media de la Tierra.

128. Variaciones de la intensidad de la gravedad. -Esta intensidad varía en la Tierra, ya por la forma, ya por el movimiento de ésta; así, son causas de variación la latitud geográfica, la altitud y, principalmente, la fuerza centrífuga, que disminuye la intensidad de la gravedad, y llegaría a anularla en el ecuador si nuestro planeta tuviese un giro diecisiete veces más veloz que el que realiza; esto explica la variación del peso absoluto y el poco peso de los cuerpos que giran velozmente.

129. Movimiento vibratorio; generalidades. -Si un punto material, sometido a una fuerza que le mantiene en una posición fija, es desviado de esta posición por la acción de otra fuerza, toma al cesar este segundo esfuerzo, y en virtud de la elasticidad, un movimiento a uno y otro lado de la posición de equilibrio, recorriendo arcos isócronos, al que se llama movimiento vibratorio, y que es una variedad del oscilatorio, del que se diferencia por la causa productora y por la velocidad del movimiento, que es tan grande en el vibratorio, que las vibraciones no pueden apreciarse individualmente con la vista (vibración de una varilla sujeta por un extremo).

En este movimiento, se llama vibración completa el movimiento que toma el punto vibrante para volver al punto de partida, pasando consecutivamente por las dos posiciones extremas; vibración sencilla, el movimiento entre dos posiciones extremas; fase de la vibración con relación a un punto, la condición del movimiento en dicho punto, determinada por la velocidad y sentido del movimiento y por la distancia del punto a la posición de equilibrio. Dos puntos en fase igual de un movimiento se diferencian en una oscilación completa; y si estuvieran en fase opuesta, la diferencia sería de una oscilación sencilla.

130. Ondas. -Si se supone ahora una fila de moléculas unidas entre sí por las fuerzas moleculares y que vibre una de ellas, es evidente que se alterará el equilibrio molecular, y al transmitirse la vibración a las demás moléculas, entrará en movimiento toda la fila, y este movimiento, llamado ondulatorio, originará una línea curva, denominada onda, cuya longitud es la distancia más corta entre dos puntos que están en igual fase, o sea la separación de dos puntos que se diferencian en una oscilación completa, y se suele representar generalmente por la letra griega λ . Esta longitud de onda es proporcional a la velocidad de propagación y su duración.

Las vibraciones pueden ser transversales o longitudinales, según que la fuerza que las produzca sea perpendicular a la longitud del cuerpo vibrante (pulsar una cuerda musical) o actúe en el sentido de esta longitud (frotar una cuerda o varilla con un paño y resina); y la onda presentará dos partes iguales y de fase opuesta, llamadas, por su posición, elevación y depresión, que en las vibraciones longitudinales se dicen contracciones o aproximación de moléculas y dilataciones o separación de las mismas. Estas ondas se producen en la vibración, de las cuerdas, varillas, placas y membranas orgánicas.

131. Propagación de las ondas. -Las ondas, al propagarse, pueden ser: progresivas, si avanzan indefinidamente, y estacionarias, si se detienen pronto por la presencia de un obstáculo, la propagación se realiza en los medios isótropos (o sea de igual elasticidad en todos sentidos), según ondas esféricas, y con una velocidad proporcional a la raíz cuadrada de la elasticidad e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad, según indica la fórmula $v = e/d$. En esta propagación las ondas pueden retroceder al encontrar un obstáculo, o penetrar en él variándose la velocidad y dirección del movimiento, cuyos hechos forman, respectivamente, los fenómenos llamados reflexión y refracción de las ondas, que obedecen a leyes generales, que se indicarán más adelante, al estudiar estos fenómenos en los agentes físicos calor y luz.

132. Interferencias de las ondas. -El encuentro de dos ondas se llama, en general, interferencia, y se determina, por lo común, en las ondas estacionarias por el entrecruzamiento de las ondas directas con las reflejadas, produciéndose una onda resultante estacionaria, de amplitud variable en aumento o disminución, con relación a las ondas componentes, que presenta partes dilatadas, llamadas vientres, separadas por puntos en equilibrio, a causa de estar sometidos a movimientos de fase opuesta, que se denominan nodos; la distancia entre dos nodos o dos vientres consecutivos es igual a una semilongitud de onda $\lambda/2$, y la que existe entre un nodo y un vientre consecutivos, es un cuarto de onda $\lambda/4$.

Parte cuarta

Mecánica de Fluidos

Esta parte se divide, como los fluidos, en dos secciones: mecánica de líquidos y mecánica de gases

Sección primera

Mecánica de líquidos

Capítulo I

Hidrostática. -Presiones ejercidas por los líquidos

133. Hidrostática; caracteres de los líquidos. -La hidrostática es la parte de la ciencia física que estudia las condiciones de equilibrio de los líquidos.

Los cuerpos líquidos que, según se ha dicho, tienen volumen propio y carecen de forma, pues adoptan la de las vasijas que los contienen, son fluidos de pequeña cohesión y de movilidad grande en sus moléculas (los poco fluidos se dicen viscosos), aunque variable para los diferentes líquidos, y compresibles, si bien en pequeño grado, como se demostró por (Erstedt; valiéndose de un aparato llamado piezómetro (fig. 39), que en esencia es un depósito resistente con dos armaduras metálicas A, C, B, en el que un líquido se comprime por un cilindro D y un pistón V, midiéndose esta compresión por un aparato denominado manómetro, del que se hablará más adelante.

Los líquidos para el estudio de la hidrostática se consideran como perfectos, es decir, no viscosos ni pesados e incompresibles; el fluido más empleado por su abundancia y por sus caracteres intermedios es el agua.

134. Principio fundamental de la hidrostática. -Este principio se debe a Pascal y se enuncia diciendo: los líquidos transmiten íntegramente y en todos sentidos las presiones que sobre ellos se ejercen; es decir, que la presión ejercida sobre una porción de la superficie de un líquido se comunica íntegramente a porciones iguales de la masa líquida y del vaso que la contiene.

Se demuestra este principio (fig. 40), prescindiendo del peso y viscosidad del líquido que lo modifican sin error sensible, comprimiendo un líquido en una vasija provista de varios orificios iguales A, B, C, D, E y observando que se precisan esfuerzos también iguales entre sí y al de compresión del líquido, 10 kilogramos sobre A, por ejemplo, para evitar la salida de éste por los orificios restantes; si uno de éstos fuese diez o cien veces mayor que los otros, el esfuerzo necesario para detener el líquido tendría que ser también diez o cien veces mayor, puesto que las presiones son proporcionales a las superficies.

135. Consecuencias de este principio. -De lo anterior se deduce que si se tienen dos depósitos comunicantes de agua A y B (fig. 41), siendo uno cien veces mayor que el otro, la presión ejercida por un pistón sobre la superficie del B se transmitirá aumentada cien veces a la superficie de A; pero de la necesaria igualdad de los trabajos en ambos depósitos y del principio de las velocidades virtuales se tendrá:

Presión sobre B \times camino recorrido por el pistón = Presión cien veces mayor sobre A \times camino recorrido, igualdad que exige que el tubo en que se comprime la superficie de B sea cien veces más largo que el de A, resultando así un tubo muy largo y, por tanto, poco práctico.

136. Prensa hidráulica. -Fundado en esto, se construye la llamada prensa hidráulica (fig. 42), que consiste en dos depósitos A y R de agua, comunicantes y desiguales entre sí; en el más pequeño se ejerce presión por medio de una bomba B con un pistón m y una palanca L (para evitar la gran longitud del tubo); y esta presión, aumentada en la relación de las superficies de los depósitos, se transmite por D al mayor A, haciendo ascender un eje M, terminado en una plataforma F, en la que se coloca el cuerpo que se va a comprimir entre ella y otra fija F que tiene superiormente el aparato; para evitar que el líquido comprimido se escape alrededor del eje, ideó el mecánico inglés Bramah colocar una rodaja invertida de cuero KK en forma de U, cuyas ramas cierran la salida, adhiriéndose tanto más al eje y al cilindro, cuanto más presión ejerza el agua.

Es muy usada en la extracción de aceites, en varias fabricaciones (pólvora, bujías, paños, azúcar), en las pruebas de resistencia de las calderas y cadenas, en las prensas de forjar, en los acumuladores hidráulicos o depósitos de agua a presión para ascensores, y en alguna otra industria.

137. Equilibrio de los cuerpos líquidos. -Este equilibrio, consecuencia del de todas sus moléculas, que lo estarán cuando se encuentren sometidas a presiones iguales y contrarias, obedece a estas condiciones:

1.^a La superficie libre o de nivel de los líquidos ha de ser horizontal; pues de no ser así, las moléculas estarían en un plano inclinado y resbalarían;

2.^a Las moléculas de cada capa horizontal están sometidas a una misma presión proporcional a la profundidad de la capa, por gravitar sobre ellas tanto más líquido cuanto más profundas estén.

Varios líquidos sin acción química permanecerán en equilibrio en un vaso si se colocan superpuestos en el orden de sus densidades y la superficie de separación de cada dos de ellos es horizontal; esto, que se prueba en el frasco de cuatro elementos, o sea un frasco que contiene mercurio, agua salada, alcohol y aceite, sirve de fundamento al llamado nivel de aire (fig. 43), que consiste en una burbuja de aire puesta en una masa líquida, la cual se coloca en un tubo ligeramente curvo de cristal, protegido por una armadura metálica; al determinarse la nivelación, esta burbuja ha de ocupar el centro, o sea la parte más elevada del tubo.

138. Vasos comunicantes. -La igualdad de presión en las capas horizontales de un líquido hace que éste suba hasta el mismo nivel en dos vasos que se comunican entre sí; esta propiedad o tendencia de los líquidos a buscar su nivel se enuncia diciendo: todo líquido puesto en vasos comunicantes asciende en ellos al mismo nivel, y se prueba con un aparato (figura 44) formado por un depósito D, del que sale un tubo horizontal n, al que se atornillan otros de formas variables A, B, C, en los que el líquido sube a igual altura; si los líquidos puestos en los vasos comunicantes fuesen diferentes y no mixcibles, ascenderían en dichos vasos a alturas inversamente proporcionales a sus densidades; si fueran agua y mercurio, por ejemplo, subiría aquella 13,5 veces más que éste, por ser 13,5 veces más denso que el agua.

139. Aplicaciones.- Esta teoría es el fundamento del nivel de las masas de agua, de los acueductos y sistemas de conducción de agua en las poblaciones; de los surtidores originados por un elevado depósito; de las esclusas; de los pozos, ya ordinarios, ya artesanos, en los que el agua sube en forma de surtidor, si previamente se ha filtrado por lugares elevados (Grenelle y Passy, en París; Murcia y Valencia, en España...); de las lámparas de depósito de aceite y de los niveles de agua (fig. 45), en los que la horizontalidad de la superficie de nivel del agua, puesta en dos vasos comunicantes M, N, sostenidos por un eje V sobre un trípode P, permite dirigir visuales para la nivelación de los terrenos, siendo de mucho uso en topografía.

140. Presiones ejercidas por los líquidos. Los líquidos, por ser pesados, ejercen presiones muy notables, ya sobre el fondo y paredes de las vasijas que los encierran, ya sobre los cuerpos en ellos sumergidos.

141. Presión sobre el fondo. -La presión sobre el fondo de la vasija que los contiene, es igual al peso de una columna del líquido que tuviera por base el fondo de la vasija y por altura la distancia de ese fondo al nivel libre, pudiéndose probar esto con el aparato llamado de Haldat (fig. 46), formado de un tubo doblemente curvo, en el que se echa mercurio, que subirá siempre lo mismo en una rama B, C, cualquiera que sea la forma de los tubos V, V, V, para agua, que se atornillan en la otra A, pero que tienen todos el mismo fondo R N, y se coloca en ellos el agua hasta la misma altura, indicada por una varilla I.

De esto se deduce que esta presión es independiente de la forma de la vasija, y, por ello, se puede en ocasiones determinar mayores efectos de presión con menores cantidades de líquido que las contenidas en otra vasija (paradoja hidrostática).

142. Presiones sobre las paredes. -La presión del líquido sobre las paredes de la vasija se evidencia en la salida de los líquidos y con el molinete hidráulico, que es un depósito cilíndrico giratorio, terminado inferiormente por dos tubos en cruz, cuyos extremos están acodados, y por los que, al salir el agua que está en el depósito, se determina una reacción de salida que hace girar el aparato en sentido inverso al de los codos: Esta presión es igual al peso de una columna del líquido que tuviera por base el área de la pared y por altura la distancia que existe desde el centro de gravedad de ésta a la superficie de nivel, y tiene una resultante cuyo punto de aplicación se dice centro de presión, y es determinable geoméricamente estando algo más bajo que el centro de gravedad de la pared; a esto se debe la forma abultada con que se fabrican los toneles, botijos, etc.

143. Empuje de los líquidos. -Además, los líquidos ejercen sobre los cuerpos en ellos sumergidos presión hacia arriba, llamada empuje de los líquidos, el cual es igual al peso de una columna del líquido cuya base fuese la superficie inferior del cuerpo, y la altura, la distancia existente desde ésta al nivel libre del líquido.

Esto se prueba (fig. 47) introduciendo en un vaso con agua un tubo cerrado por un disco obturador m n, a quien sostiene el empuje del líquido, pero que se cae cuando al echar agua en el tubo se nivela ésta con el agua del vaso, a causa de que, entonces, al empuje se opone otra fuerza igual y contraria, representada por el peso del agua contenida en el tubo.

Capítulo II

Principio de Arquímedes. -Peso específico

144. Principio de Arquímedes. Este principio, descubierto por el sabio griego Arquímedes, unos doscientos años antes de Jesucristo, se enuncia diciendo: todo cuerpo sumergido en un líquido sufre un empuje vertical hacia arriba o pierde de su peso una cantidad igual a lo que pesa el volumen del líquido desalojado.

Se comprueba experimentalmente este principio con la balanza hidrostática (fig. 48), que es una balanza E de cruz G, H, limitada en sus movimientos por la horquilla L K, y

elevable por una cremallera F y un tornillo C, y con platillos M y M de corta suspensión, de uno de los cuales se suspende un cilindro hueco A, y de éste, otro macizo B, de igual volumen que aquél; para practicar el experimento se equilibra la balanza con los dos cilindros puestos, y en seguida, por el tornillo C, se baja la cruz hasta sumergir el cilindro macizo en el agua de una vasija V puesta debajo, con lo que la balanza se inclina del lado opuesto, y para restablecer el equilibrio se echa agua en el cilindro hueco, hasta llenarle, en cuyo momento se consigue dicho equilibrio (lo que se ve por la palanca I en el sector graduado O), es decir, cuando se ha agregado el peso de un volumen de agua igual al del cilindro sumergido, lo que comprueba el principio indicado.

Puede también demostrarse fácilmente este principio para un cuerpo cualquiera, según el físico francés Boudreaux, suspendiendo el cuerpo inferiormente de uno de los platillos de la anterior balanza, en cuyo platillo se coloca también un vasito vacío; se equilibra luego la balanza en el aire y después se sumerge el cuerpo en el agua que llena una vasija puesta debajo, teniendo cuidado de recoger el agua que se derrame en un vasito igual al citado; al alterarse, según el citado principio, el equilibrio, bastará, para restablecerlo, reemplazar en el platillo primero el vaso vacío por el otro que contiene el agua derramada.

Y hasta podría probarse la exactitud del principio de Arquímedes por simple raciocinio, pues admitiendo que el cuerpo sumergido fuese un paralelepípedo, como las presiones laterales se contrarrestarían, por ser iguales y contrarias, sólo quedaría el cuerpo sometido al empuje hacia arriba y a la presión que determina hacia abajo, cuyas dos fuerzas darían una resultante de intensidad igual a su diferencia, que estaría representada por el peso de una columna de agua de base igual a la del cuerpo y que tuviese por altura la de éste, cuya columna equivale al volumen del paralelepípedo, y, por tanto, este cuerpo estaría sometido a un empuje igual a lo que pesa su volumen de agua, según dice el principio indicado.

145. Recíproco del principio anterior. -La acción que supone este principio tiene una reacción igual y contraria, que constituye el recíproco del principio de Arquímedes y que dice: todo líquido en el que se sumerge un sólido, experimenta una presión hacia abajo igual al peso del fluido desalojado, lo que se demuestra (fig. 49) colocando en el experimento anterior el vaso V, en el que se sumerge el cilindro macizo C, sobre una balanza de Roberval y observando que cuando la balanza hidrostática se inclina del lado del platillo de la tara, la de Roberval lo hace del lado del vaso; y si con una pipeta se quita agua de este vaso y se echa en el cilindro hueco hasta llenarle, se restablece el equilibrio en ambas balanzas, es decir, que lo que perdía el cuerpo en la inmersión (acción) es igual a lo que ganaba en peso el vaso (reacción); esto explica la posibilidad de pesar los sólidos en vasijas con líquidos en cuyas masas está el sólido, pues el empuje del principio de Arquímedes está contrarrestado con la presión hacia abajo que experimenta el líquido.

146. Cuerpos flotantes. -Como consecuencia del anterior principio, se deduce que todo cuerpo sumergido en un líquido está sometido a dos fuerzas opuestas, su peso P y el empuje P, que actúan según la misma vertical, pudiendo ocurrir tres casos: 1.º, $P > P$, o sea el peso mayor que el del líquido desalojado, entonces el cuerpo se hunde en el líquido; 2.º, $P = P$, ambos pesos iguales; el cuerpo se mantiene en el seno del líquido; y 3.º, $P < P$, el peso menor que el empuje, igual al peso del volumen desalojado, en este caso el cuerpo se sumerge sólo parcialmente hasta que dicho volumen pese tanto como el cuerpo, y se dice que este es

flotante; estos tres casos se observan poniendo un huevo de gallina en agua pura, en agua salina poco concentrada y en agua salina a saturación.

Las condiciones de flotación de los cuerpos se prueban igualmente con el llamado ludión, que consiste en una figurita hueca que se coloca en el agua de una vasija, cuyo líquido, al ser comprimido por la acción de un émbolo o por una esfera de goma que ejerce su presión sobre el aire, transmitiéndola luego al agua, penetra más o menos en el interior de la figura y hace a ésta hundirse variablemente; al cesar la presión, sube la figura por la reacción elástica del aire interior que desaloja al agua que había penetrado.

147. Equilibrio de los cuerpos flotantes. -Los cuerpos flotantes están en equilibrio cuando su centro de gravedad y el de la masa del líquido desalojado están en la misma vertical, siendo este equilibrio estable, indiferente e inestable, según que el centro de gravedad esté por bajo del correspondiente a la masa líquida o centro de presión, coincidan ambos, o esté por encima del centro de presión del líquido.

148. Metacentro. -En este último caso de equilibrio inestable, aún podría ser estable si el cuerpo flotante tuviese una superficie de sustentación bastante amplia, y de aquí que para establecer bien la estabilidad de los buques los técnicos navales hayan fijado un punto llamado metacentro; este metacentro es el punto de encuentro del plano de simetría del cuerpo flotante con la vertical del centro de presión fuera de la posición de equilibrio; este punto debe estar, para que el equilibrio sea estable, por encima del centro de gravedad del cuerpo, cuyo centro es conveniente que baje lo más posible, a fin de aumentar la estabilidad, lo que se consigue lastrando la embarcación.

149. Aplicaciones del principio de Arquímedes. -Este principio es el fundamento de la navegación, de la natación del hombre y los animales, de los aparatos salvavidas; y se aplica en los submarinos, en los depósitos de agua regulados por un flotador, en los silbatos de flotador de las máquinas de vapor, en el transporte de grandes masas por mares y ríos, en la determinación del volumen de un cuerpo por el agua que desaloja, y en otros casos, como la determinación del peso específico.

150. Peso específico de los cuerpos. -Se denomina peso específico de un cuerpo la relación existente entre el peso de este cuerpo y el de un volumen igual de agua destilada a 4° centígrados; el número que expresa este peso es igual al que representa la densidad del cuerpo, o sea la relación de su peso al volumen que tiene, a causa de indicarse en el sistema métrico decimal con igual número el peso y el volumen ($10 \text{ cm.}^3 = 10 \text{ gr.}$; $2 \text{ dm.}^3 = 2 \text{ kg.}$); por esta razón, aunque con alguna impropiedad, se usan indistintamente las palabras densidad y peso específico.

151. Determinación del peso específico. -Se reduce esta determinación a pesar un volumen del cuerpo en el aire, y luego sumergido en el agua a 4° para conocer el peso del volumen de agua desalojado, y luego dividir el primer peso por el segundo. Estas operaciones, además de poderse practicar por la balanza hidrostática, se realizan por los siguientes métodos:

Si el cuerpo, cuyo peso específico se busca, fuese soluble en agua, se usaría otro líquido en el que no lo fuese, y el resultado se multiplicaría por la densidad del nuevo líquido, y si flotase se le agrega un lastre conveniente, que luego se descuenta del volumen desalojado.

Si en esta determinación no estuviese el agua a 4°, hay que hacer la oportuna corrección multiplicando el resultado por la densidad del agua a la temperatura a que se encuentra.

152. Método del frasco. -En éste se usa un frasco de cristal de tapón esmerilado, y un tubito con una línea o señal de enrase para el agua; para operar se pesa en una buena balanza el frasco con agua hasta el enrase, y después se añade al platillo un fragmento del cuerpo; la diferencia entre ambos pesos es el peso P del fragmento en el aire; después se mete el cuerpo en el frasco, vertiendo el agua que rebasa la señal de enrase, se restablece el equilibrio y así se obtiene la diferencia $P - P'$ entre P y el peso del cuerpo sumergido en el agua, o sea el peso del volumen de agua desalojada; se divide el peso en el aire por este último P/P' y se tiene el peso específico pedido.

Para los líquidos bastará dividir el peso del frasco lleno de agua destilada a 4° hasta el enrase, por el peso del mismo frasco lleno del líquido.

153. Balanzas de Mohr y de Westphal. -También suelen usarse para determinar el peso específico unos aparatos llamados balanza de Mohr y balanza de Westphal, que consisten, en esencia, en una balanza en la que un platillo se sustituye por un lastre de cristal con un termómetro para las correcciones de temperatura, que equilibra en el aire al otro platillo (Mohr) o a un pesón de romana (Westphal); las pesas son a modo de horquillas, de pesos conocidos, que se ponen en unas entalladuras que, en número de diez equidistantes entre sí, ocupan el brazo de la balanza, y que por ello pueden indicar décimas de su propio peso; con estos aparatos se determina fácilmente el peso específico de los líquidos menos y más pesados que el agua, con tres decimales y aun con cuatro.

154. Areómetros. -Empléanse con frecuencia para determinar el peso específico los llamados areómetros, que pueden ser de dos clases: unos de volumen constante y peso variable, y otros de volumen variable y peso constante.

Como tipo de los primeros, de peso variable y volumen constante, está el de Nicholson (figura 50), que consiste en un cilindro metálico, terminado por dos conos que llevan: el inferior, una canastilla R , y el superior, una varilla con línea de enrase A , y terminada por un pequeño platillo B , en el que se colocan primeramente las pesas c y el cuerpo d , sustituyendo éste por pesas conocidas para hallar su peso en el aire, y las pesas solas, después, cuando dicho cuerpo se pone en la canastilla inferior a fin de hallar el peso del volumen del agua desalojada. Para líquidos, Fahrenheit construyó el aparato de cristal y reemplazó la canastilla por una esfera lastrada con mercurio.

155. Graduadores y Densímetros. -Los areómetros de peso constante y volumen variable, consisten en unos flotadores de cristal (fig. 51), con un depósito lastrado con perdigones o mercurio, del que sale un vástago graduado diferentemente; estos areómetros se sumergen variablemente en los líquidos, según la densidad de éstos, relacionada con su concentración o pureza; de aquí sus nombres de graduadores, y cuando su escala está

dispuesta para marcar la densidad del líquido el de densímetros, así como por su uso se llaman vulgarmente pesaleches, pesa-orinas, pesa-ácidos, pesa-sales, alcoholómetros...

Entre estos areómetros son muy usados los dos contruidos por Beaumé: uno, para líquidos más densos que el agua, y otro, para líquidos más ligeros que ella; el primero lo lastró para que se sumergiese todo el vástago en agua destilada a 12°, 5 poniendo el 0 en el enrase, y después lo metió en agua salina al 15 por 100, marcó en el enrase el grado 15, dividió este espacio 0 15 en quince partes iguales y continuó la división marcándola en un papel interior; y el segundo, después de lastrarlo para que se sumergiese un poco el tallo en agua salina al 10 por 100, puso 0 en el enrase, lo introdujo en agua destilada, y en el enrase marcó el 10, dividió en diez partes iguales el espacio 0 10 y continuó la división por encima del 0, marcándola en un papel colocado en el interior del tallo.

156. Alcoholómetros. -Los alcoholómetros marcan la riqueza en alcohol de las mezclas hidroalcohólicas, siendo el más usado el de Gay Lussac (fig. 52), que lo graduó, después de lastrarlo para que enrasase el nacimiento del vástago en agua a 15° en cuyo enrase puso el 0, introduciéndolo después en mezclas a 15°, que tenían respectivamente 5, 10, 15, 20, 25... centímetros cúbicos de alcohol y el agua necesaria para formar 100 centímetros cúbicos, marcando los puntos de enrase con los números 5, 10, 15, 20, 25... que indican de este modo el tanto por ciento de alcohol absoluto que tiene una mezcla hidroalcohólica, hecha la corrección de temperatura que marcan unas tablas adecuadas, si la mezcla no estuviese a 15°.

Úsase también en la industria el alcoholómetro de Cartier, que, enrasado en agua pura para marcar el 10, se divide arbitrariamente, correspondiendo el grado 44 al enrase en el alcohol absoluto o completamente puro.

Capítulo III

Fenómenos capilares. -Hidrodinámica

157. Fenómenos capilares. -Son los fenómenos que se realizan en el contacto de sólidos y líquidos, principalmente en tubos del grueso de un cabello (de ahí su nombre) y que alteran aparentemente los principios de la hidrostática.

Así por la capilaridad, los líquidos en sus vasijas, en lugar de tener su superficie plana, resulta convexa o cóncava hacia el exterior, según que el líquido no moje (mercurio) o moje (agua) la vasija; de análogo modo, si se mete un tubo delgado en un líquido, éste, opuestamente a la ley de los vasos comunicantes, sube a mayor o menor altura que el nivel exterior, según que el líquido moje o no el tubo, y la superficie libre del líquido en el tubo es cóncava o convexa, respectivamente, y se llama menisco; y, finalmente, la capilaridad determina movimientos, cual el de los líquidos, hacia la parte estrecha de los tubos, y otras acciones atractivas.

Estos fenómenos de elevación y depresión se ha comprobado que se realizan en razón inversa del diámetro de los tubos, influyendo también la temperatura, y dependen de las atracciones moleculares del líquido y de las de éste y el sólido, así como de una modificación especial de la superficie de los líquidos, llamada tensión superficial.

Por la capilaridad se explica el ascenso de los líquidos por las paredes, mechas, secantes, azúcar y cuerpos esponjosos; la marcha de la savia en los vegetales; el uso de los cuentagotas; la locomoción de algunos insectos por la superficie de las aguas; el mantenerse a flote una aguja engrasada sobre el agua, y otros hechos vulgares.

158. Difusión y ósmosis. -Difusión es el acto de unirse lentamente dos líquidos sin mutua reacción química y de densidades diferentes, puestos en íntimo contacto o separados por cuerpos porosos inorgánicos (agua y alcohol, aguas de río y mar); si esta unión se realiza al través de una membrana orgánica, se dice ósmosis, la cual se prueba con el endosmómetro de Dutrochet (fig. 53), consistente en un tubo terminado en una dilatación en forma de botella, cuyo fondo es una membrana, por la que el líquido azucarado o salino, que se coloca dentro, pasará al agua de la vasija en que se mete el aparato, notándose en el nivel del tubo y en la alteración del líquido exterior la existencia de dos corrientes líquidas: una, de dentro a fuera, y otra, inversa, que se llaman, respectivamente, exósmosis y endósmosis.

Estos fenómenos son la base de la absorción en los seres vivos, del uso de medicamentos de aplicación exterior, del empleo de filtros corrientes, de ciertos medios de análisis, como el llamado diálisis, muy usados en Química biológica, etc.

159. Hidrodinámica. -Es la rama de la Física que estudia el movimiento de los líquidos; si ésta se aplica industrialmente el agua, su estudio resulta del mayor interés y constituye la parte denominada hidráulica.

160. Salida de los líquidos; vena líquida. -Si en las paredes delgadas de una vasija se practica un orificio, el líquido saldrá en virtud de la presión lateral que ejerce sobre la vasija, describiendo una rama de parábola, y el chorro de salida forma la llamada vena líquida, que, transparente, cilíndrica y continua en su primera porción, se presenta luego agitada, turbia, con hinchazones discontinuas o vientres, y a poco de su salida se estrecha próximamente en una tercera parte de su diámetro, cuyo fenómeno se denomina contracción de la vena líquida, disminuyéndose en gran parte con el uso de tubos adicionales, cónicos o cilíndricos, por los que sale el líquido a chorro lleno.

La velocidad de salida de un líquido, independiente de la densidad, aunque no de la naturaleza de éste, es, según Torricelli, la misma que la que tendría un cuerpo que cayese en el vacío de una distancia igual a la que existe del nivel libre al orificio, como se demuestra por el cálculo que conduce a la fórmula ya conocida $v = \sqrt{2gh}$, que representa la velocidad debida a una altura h (111). 161. Salida constante de los líquidos. - Dependiendo, según lo indicado, la velocidad de salida del líquido, del nivel sobre el orificio o carga del mismo, si ésta se hace constante, también lo será la velocidad de salida, consiguiéndose estos fines, bien por el método de derrame, que consiste en dejar entrar más agua que la que sale y dar salida a la sobrante (fuentes públicas), o por el flotador de Prony,

que es un aparato en el que el descenso del nivel del líquido se va contrarrestando por el ascenso que produce en el mismo nivel el acto de sumergirse cada vez más un flotador dispuesto convenientemente para este fin.

Igual resultado se consigue con el frasco de Mariotte(fig. 54), que es un frasco en el que el aire que pene -tra por un tubo central C con la presión que ejerce sobre la superficie del líquido, hace constante la velocidad del líquido que sale por unos orificios laterales.

El eminente profesor español Sr. Escriche ha construido un notable aparato, en el que se pueden demostrar todas las leyes hidrodinámicas.

162. Gasto de un orificio. -Es la cantidad de líquido que sale por él en la unidad de tiempo, el cual, teóricamente, es igual al volumen de un cilindro cuya base fuese el orificio y su altura la cantidad que expresa la velocidad de salida: es decir $G = A \times 2gh$; pero este gasto es teórico, pues la contracción de la vena líquida hace que realmente salga menor cantidad que la indicada, y la cantidad que efectivamente sale, forma el gasto práctico, que próximamente es los dos tercios del teórico, aunque aquél puede aumentarse con los tubos cortos adicionales.

Como consecuencia de esto, se tiene las unidades de agua antiguas, llamadas pulgada y real de agua, que expresan el gasto de orificios de diámetro, respectivamente, de una pulgada francesa y de un real de vellón, con carga de una línea, y que equivalen a poco más de 19.000 y de 3.400 litros por día, respectivamente.

163. Nociones de hidráulica. -La presión hidrodinámica de las corrientes naturales se aumenta industrialmente con presas, balsas, esclusas y saltos o caídas de agua, de conocimiento vulgar, y esta presión se transforma en trabajo motor, el cual es proporcional al peso del agua y a la altura del salto; esta transformación se practica recibiendo el líquido en aparatos receptores, como las llamadas ruedas hidráulicas de paletas planas o curvas, y a las que puede llegar el agua superior central o inferiormente, y las denominadas turbinas de eje vertical u horizontal y semejantes a las ruedas, pero que giran más velozmente que éstas. Tales acciones se aprovechan industrialmente en los molinos, fábricas de luz eléctrica, contadores de agua y otras industrias.

Sección segunda

Mecánica de gases

Capítulo IV

Neumostática. Atmósfera. Fuerza elástica de los gases

164. Neumostática; caracteres de los gases. -La neumostática es la parte de la Física que estudia las condiciones de equilibrio de los gases.

Los gases, además de su carencia de forma y de volumen propios, son muy compresibles, como se ve comprimiendo fuertemente el aire en un tubo de cristal (fig. 55), por medio de un pistón, con lo que se inflama una yesca que está en el fondo del tubo, a causa de transformarse en calor el trabajo de la compresión, justificando esto el nombre del aparato, que es eslabón neumático; también poseen gran fuerza expansiva, por lo que llenan una vejiga por completo, si a medio hinchar se coloca en una máquina de extraer aire y se quita éste del espacio que rodea a la vejiga, y, finalmente, no obstante su fluidez, son pesados, como se ve por la diferencia de peso de un gran globo de vidrio, antes y después de extraer de él el aire atmosférico.

165. Teoría cinética de los gases. -Esta teoría, por la que se explican los caracteres de los gases, los supone constituidos de millares de moléculas pequeñísimas, dotadas de movimientos giratorio y oscilatorio, y especialmente de movimientos de traslación, originándose entre ellas frecuentísimos choques que alteran la dirección del movimiento, por lo que éste se verifica en todos sentidos, y al chocar contra las paredes producen un constante y rapidísimo bombardeo, que determina la presión del gas sobre las paredes, devuelta a cada molécula parcialmente por la resistencia de la pared al choque.

166. Atmósfera. -De todos los gases, el de mayor interés es el aire, que forma la atmósfera o envoltura gaseosa que nos rodea, de espesor no bien determinado pero apreciado generalmente en unos 80 kilómetros; este aire, cuyo peso es de 1,29 gramos por litro, se tomó como tipo para las densidades de los gases.

167. Presión atmosférica; experimento de Torricelli. -Siendo el aire pesado, ejerce una determinada presión sobre los cuerpos, llamada presión atmosférica, presentida por Galileo y demostrada por Torricelli, para lo cual (fig. 56) tomó un tubo de cristal A, de unos 80 centímetros de largo y uno de diámetro, abierto por un extremo, lo llenó de mercurio, lo tapó con el dedo y lo introdujo en una cubeta B con mercurio, observando, al retirar el dedo, que el mercurio, en vez de bajar en el tubo hasta el nivel que el mismo líquido tiene en la cubeta, según la ley de los vasos comunicantes, descendió solamente hasta unos 76 centímetros por encima de dicho nivel, dejando en lo alto C del tubo un espacio HC, vacío, llamado cámara barométrica; lo que probaba la existencia de una fuerza que sostiene el mercurio y que no puede ser otra que la de la atmósfera, o presión atmosférica.

Este experimento, en unión de otros hechos por Pascal y su cuñado Perier, probaron la existencia de la presión atmosférica, comprobable también por la máquina neumática, según se verá, y causa de muchos hechos vulgares, cual la elevación del agua, explicada antes por la absurda idea del horror al vacío

168. Barómetros. -Son aparatos destinados a medir la presión atmosférica, apreciándose ésta en milímetros, y siendo el fundamento de estos aparatos el equilibrar la presión por el peso de una columna líquida, o por la fuerza elástica de un metal; existen, por tanto, barómetros de líquidos y barómetros metálicos.

169. Barómetros de líquidos. -El líquido más conveniente para los barómetros es el mercurio, por su gran densidad y la pequeña tensión de sus vapores a la temperatura ordinaria; los modelos más corrientes de estos barómetros son:

170. Barómetro normal. -El barómetro normal (fig. 57), que es un tubo de Torricelli cuidadosamente lleno de mercurio, con su cubeta, y puesto sobre una tabla con graduación milimétrica, a partir del nivel del mercurio en la cubeta a que corresponde el 0; como esta correspondencia falta al variar el nivel del líquido en la cubeta, y por otra parte el mercurio, al golpear el tubo, lo expone a rotura, haciendo difícilmente transportable el aparato, de aquí que se haya tratado de subsanar estos inconvenientes, bien haciendo muy ancha y de forma especial la cubeta, para que sea el nivel del líquido interior poco sensible a las pequeñas variaciones de la masa de éste, bien cambiando la forma y disposición del aparato, según ha hecho Fortin.

171. Barómetro de Fortin. -El barómetro de Fortin tiene la cubeta cilíndrica (fig. 58) G, y con el fondo de gamuza, elevable a voluntad por un tornillo; en esta cubeta, cuya tapa es metálica y tiene en su superficie interior un estilete de marfil V, penetra el tubo barométrico T, quedando sujeto a ella por una gamuza que permite pasar al aire y no al mercurio; todo el aparato está protegido por una cubierta de latón que deja dos zonas de observación, una circular M en la parte superior de la cubeta, y otra, en forma de dos ventanas longitudinales y opuestas entre sí a lo largo del tubo, llevando una de ellas, en sus bordes, la división milimétrica y un nonius.

Este aparato se transporta fácilmente, elevando por su tornillo V el fondo de la cubeta D (figura 59), con lo que sube el mercurio en el tubo hasta que lo llena, en cuyo caso queda evitado el golpe o martilleo sobre las paredes, causa de la rotura; y para funcionar con él, lo más general es suspenderlo por una anilla A o colocarlo en un trípode por una suspensión Cardano (fig. 60) (sujeción a un anillo que, a su vez está unido a otro concéntrico con él por dos tornillos XX opuestos y perpendiculares a los de sujeción al primero YY) y bajar el fondo de la cubeta hasta que el nivel del mercurio G toque con la punta del estilete de marfil, cosa fácil de ver por la superficie reflectante del mercurio; hecho esto, basta leer en el tubo la altura B a que está la columna barométrica, llevando comúnmente el aparato un termómetro para poder hacer las correcciones de temperatura.

172. Barómetro de Tonnelot. -El constructor francés Tonnelot ha modificado este barómetro, evitando la apreciación delicada del enrascamiento con el estilete de marfil, principalmente si el mercurio tiene empañada su superficie; en este nuevo barómetro, la cubeta tiene una superficie cien veces más grande que el tubo (o sea un radio diez veces mayor), por lo que haciendo las divisiones de éste de 1,01 milímetros de longitud, compensarán de este modo la variación del nivel del mercurio en la cubeta, a la que no habrá necesidad de mirar, y el número de divisiones que indique el nivel del mercurio en el tubo marcará el número de milímetros en este barómetro, llamado de escala compensada.

173. Barómetro de sifón. -El barómetro de sifón (fig. 61), menos usado, consiste en un tubo de dos ramas desiguales con mercurio, y en forma de U, siendo la menor abierta; la diferencia de nivel del mercurio en ambas ramas mide la presión a partir de un punto

arbitrario, que es el cero; si en la rama corta A se pone un flotador, que por una palanca dentada y un piñón P, o por una polea y un contrapeso mueve una aguja sobre un limbo graduado por comparación y generalmente con las variaciones meteorológicas correspondientes a las barométricas, se tiene el llamado vulgarmente barómetro de cuadrante.

174. Barómetros metálicos. -El de Bourdon(fig. 62) consiste en un tubo metálico de sección elíptica en el que se ha hecho el vacío, colocado en forma curva en una caja, sujeto por su punto medio, de modo que sus extremos puedan aproximarse o separarse según las variaciones de presión, transmitiéndose estos movimientos por un sector dentado y un piñón s una aguja, que se mueve sobre un limbo graduado por comparación.

El aneroide holostérico o de Vidi es, en esencia (figura 63), una caja e de paredes onduladas, en la que se ha hecho el vacío; y el movimiento de aproximación o separación de estas paredes, efecto de la presión y regulado por un resorte M interior antagónico, se transmite, muy aumentado, por un mecanismo especial, a una aguja A movable sobre el limbo L graduado del aparato.

Estos barómetros metálicos llevan posteriormente un tornillo que permite regular a voluntad la posición de equilibrio, según una determinada presión.

175. Empleo del barómetro. -El fin directo del barómetro es medir la presión atmosférica; se oma como presión media o normal a obtenida al nivel medio de los mares (en España, el mar de Alicante), equivalente a la columna de 760 milímetros de altura, que pesa $76 \times 13,6 = 1.033$ centímetros cúbicos = 1.033 gramos, que es el peso de una atmósfera, o sea próximamente un kilogramo.

Una lectura barométrica, aun después de bien hecha, exige correcciones de capilaridad y temperatura, que se hacen generalmente por tablas de correcciones adecuadas, así como la comparación de las lecturas barométricas hay que hacerla después de reducir las presiones tomadas a 0°.

Úsase también el barómetro para predecir el tiempo, por la relación que existe entre la presión, los vientos y los trastornos atmosféricos, pudiendo considerarse los ascensos barométricos lentos y continuados como indicaciones de tiempo seco y de bonanza, y contrariamente los descensos, máxime, si éstos son bruscos, debiendo estar fijada como presión normal la presión media del lugar en que se hace la observación (en Madrid, 706 mm.); pero tales indicaciones, por lo general, sólo son probables variaciones del tiempo, y no datos seguros: el barómetro no es un profeta del tiempo.

Aplícase el barómetro igualmente para medir alturas; se funda esto en que suponiendo constantes la densidad y temperatura del aire, la presión disminuye un milímetro por cada 10,50 metros (por ser el mercurio diez mil quinientas veces más pesado que el aire); pero como no sucede así, y son poco conocidas las variaciones de la atmósfera, de aquí que esa relación de un milímetro por cada 10,50 metros de altura sea aproximada y sólo aplicable para pequeñas alturas (como nuestras montañas) para mayor precisión hay que recurrir a fórmulas complejas.

176. Compresibilidad de los gases. Ley de Mariotte. -Esta ley, reguladora del poder de compresibilidad de los gases, fue establecida simultáneamente por Mariotte, en Francia, y el físico Boyle, en Inglaterra, y se enuncia diciendo: los volúmenes de un gas están en razón inversa de las presiones que sufre; es decir, que a doble, triple... presión, mitad, tercera... parte de volumen.

177. Demostración. -Se demuestra esta ley, para presiones mayores que una atmósfera, con un tubo en U (figura 64) de ramas desiguales AB y BC, y la mayor abierta, puesto sobre una tabla dividida en milímetros a partir de una misma línea en ambas ramas; si se echa mercurio hasta esta línea, quedará en la rama corta una columna de aire (0-10) a la presión normal de una atmósfera; pero si se agrega por la parte superior C, en la rama larga, el peso de otra atmósfera, o sean 76 centímetros de mercurio, subirá este líquido en la rama corta, y la columna de aire ocupará ahora sólo la mitad de volumen que antes (5-10); si se añadiesen otros 76 centímetros de mercurio, o sea otra atmósfera, dicha columna ocuparía entonces la tercera parte de volumen que al principio, lo que comprueba la ley referida.

Para presiones menores que una atmósfera se hace la demostración por el llamado barómetro de cubeta profunda (fig. 65), que consiste en un largo tubo de hierro M, provisto de un depósito superior ensanchado P; para operar con él se llena de mercurio, y tomando un tubo de cristal graduado, en el que se echa también mercurio, dejando un determinado espacio A con aire, se introduce invertido hasta que el líquido interior y el del depósito tengan igual nivel B, en cuyo caso el aire del espacio A estará a la presión de la atmósfera y ocupará el volumen que se le dio al llenar el tubo; al elevar luego éste, sube el mercurio de su interior y se aumenta el espacio ocupado por el aire, y como la presión atmosférica está equilibrada por el aire del tubo, más el peso del mercurio que está en dicho tubo por encima del nivel del líquido del depósito, de aquí que el aire estará sometido a una atmósfera, menos lo que pesa la columna de mercurio indicada; así, si la columna tiene. $76/2 = 38$ centímetros, vale media atmósfera, y entonces el aire estará sometido a la presión de la otra media; y medido su volumen, se verá que es doble que el que tenía a una atmósfera, o sea primitivamente, que es lo que se quería demostrar: a mitad de presión, doble volumen.

Según estudios hechos por varios físicos, se ha comprobado que esta ley no es rigurosamente exacta y sólo es aplicable hasta unas 27 atmósferas de presión, próximamente, y para gases que están muy lejos de su punto de liquidación, influyendo también en este rigorismo la temperatura, aunque en general se admite sin error sensible como verdadera esta ley.

178. Manómetros; sus clases. -Son aparatos fundados en la compresibilidad de los cuerpos gaseosos y destinados a medir la fuerza elástica de los gases y vapores; esta fuerza, cuyo efecto es la presión que ejercen dichos fluidos, se media en atmósferas equivalentes a 1.033 gramos, y hoy se aprecia en kilogramos.

Los manómetros pueden ser de aire libre, que consisten en un tubo acodado como el de Mariotte, con un líquido interior, cuya rama corta se hace comunicar con el depósito de gas, el cual por su fuerza elástica hará subir más o menos el líquido en la rama larga; son

precisos, pero poco prácticos por su gran tamaño, si se usan para fuertes presiones; también se emplean en Química (tubos de seguridad).

Otros son de aire comprimido y consisten (fig. 66), en un tubo cerrado, con mercurio y encima aire, el cual se comprimirá proporcionalmente a la presión que sufra el mercurio una vez que el aparato se una al depósito del gas.

Y, por último, los más usados en las calderas de vapor son metálicos, como el de Bourdon (fig. 67), que consiste en un tubo metálico, arrollado en curva y puesto en una caja de palastro; por el extremo abierto y por medio de una llave actúa la presión del vapor, y al desarrollar la curva del tubo mueve una aguja sobre un limbo graduado.

179. Válvulas de seguridad. -Para evitar los efectos excesivos de las fuertes presiones, se emplean en las calderas válvulas de seguridad, que mediante una palanca y un peso permanecen cerradas hasta sufrir una presión calculada previamente, y que suele ser bastante inferior a la que como máximo pueden resistir las paredes de la caldera, evitándose así los accidentes de explosión.

Capítulo V

Aparatos para enrarecer y para comprimir gases

180. Máquina neumática. -La máquina neumática es un aparato destinado a extraer o enrarecer el aire contenido en un recinto, debiéndose su descubrimiento a Otto de Guericke.

Las máquinas neumáticas más usadas son mecánicas y de pistón, presentando las tres partes siguientes:

La platina (fig. 68), que es un plano pulimentado de cristal generalmente, con un tornillo tubular en su centro, al que se atornillan los depósitos de aire o se cubre con una campana de cristal D.

La probeta C, o barómetro truncado es un barómetro de sifón corto y de ramas iguales que marca el grado de enrarecimiento del aire del depósito por la diferencia de nivel del mercurio en las dos ramas.

El cuerpo de bomba K, que es un cilindro hueco y en el que se mueve el émbolo o pistón B; este émbolo tiene una válvula en su centro y a veces está atravesado por una varilla terminada en una válvula I que abre o cierra, al moverse el pistón, un orificio de la parte inferior.

Como piezas de enlace están: un tabo EF, que une esas tres partes entre sí; válvulas de chapa, o cónicas (a modo de los corchos vulgares), o esféricas (como las usadas en algunas botellas de bebidas gaseosas); llaves de comunicación R para el barómetro y G para aislar

la platina del cuerpo de bomba, llevando ésta un tubito b (visible en el detalle de la figura) que se cierra por una varilla a, y por cuyo tubito, convenientemente dispuesto, para comunicar con el tubo EF, se puede hacer entrar el aire a la campana puesta en la platina; y sistema mecánico para mover el pistón.

Esta máquina funciona moviendo el pistón, el cual al subir abre el orificio inferior del cuerpo de bomba, por el que entra en éste el aire que viene de los depósitos, y al bajar cierra dicho orificio y comprime el aire que había entrado, el cual abre una válvula en el pistón, pasando encima de éste para luego marcharse por H a la atmósfera; esta máquina, por tanto, sólo extrae aire al subir el émbolo, por lo que se dice de simple efecto.

181. Modelo de dos cuerpos de bomba. -Para evitar la lentitud y el esfuerzo que exige el elevar el émbolo en esta máquina, se ideó por Papin colocar dos cuerpos de bomba que funcionaban alternativamente, con lo cual se obtenía doble efecto y se facilitaba el movimiento de los pistones, por encontrarse balanceado en parte el pistón que sube con el peso del que baja.

El modelo perfeccionado por Babinet (fig. 69) tiene los émbolos de rodajas de cuero comprimidas, los tallos dentados y engranan con un piñón que tiene en su centro una palanca de brazos iguales para el funcionamiento. En la base o, de la bifurcación tubular, que termina en los dos cuerpos de bomba, existe una llave (fig. 70) R, de tres vías m, m, n, o de Babinet, que permite aislar uno de los cuerpos de bomba A, de la platina, el cual, como comunica por una de las vías de la llave F F con el otro cuerpo de bomba B, actúa como depósito del aire enrarecido y que no tiene tensión para abrir la válvula de salida acumulándole hasta que adquiere esa tensión, favoreciendo, por tanto, la producción del mayor grado de enrarecimiento, por lo que esta llave se dice también de doble agotamiento.

182. Máquinas de un cuerpo de bomba y de doble efecto. -Existen máquinas neumáticas más perfectas de un solo cuerpo de bomba, pero de doble efecto, es decir, que lo mismo hacen la extracción del aire cuando asciende que cuando baja el émbolo; tales son la de Bianchi, que tiene el cuerpo de bomba metálico y oscilante generalmente, comunicando su parte superior y la inferior, por medio de dos orificios que se cierran alternativamente por dos válvulas de la varilla que atraviesa el pistón, con dos ramas en que se bifurca el tubo de comunicación de la platina, lo que hace posible el doble efecto; y la de Deleuil, de cuerpo de bomba de cristal y pistón acanalado y no ajustado a las paredes, quedando separadas las dos zonas del cuerpo de bomba superior e inferior al pistón por la capa de aire que media entre éste y la pared; dos tubos laterales, que comunican cada uno con la parte alta y baja del cilindro, permiten el doble efecto al moverse el émbolo, cosa que se hace en estas dos máquinas por un volante de cómodo funcionamiento.

183. Otros aparatos de vacío. -También pueden citarse máquinas llamadas de mercurio, que, cual la del constructor francés Alverniag, se fundan en la formación del vacío barométrico en un espacio, el cual comunica luego con el depósito de aire, y obteniéndose un enrarecimiento que puede ser de 1/10 de milímetro, y las denominadas trompas de agua (fig. 71) AB, o mercurio, fundadas en la aspiración que por el tubo R produce un líquido que camina con gran velocidad y que son muy usadas y muy prácticas, pues en ellas se utiliza la presión que trae el agua por las cañerías de la población; con estas trompas puede

llegarse a un grado de enrarecimiento igual a una milésima de milímetro y la máquina, moderna de Gaede con la que se logra un vacío muy grande.

184. Enrarecimiento obtenido con estas máquinas. -En las máquinas neumáticas no se puede llegar nunca al vacío absoluto, ya por defectos de construcción en los ajustes, cual el espacio que queda entre el pistón y el cuerpo de bomba, llamado espacio perjudicial, ocupado por aire a la presión normal, imposible de suprimir por completo, ya porque la presión del aire va disminuyendo con los golpes de émbolo según una progresión geométrica decreciente, cuyo límite sería cero si tuviese infinitos términos, lo que prueba que para llegar a ese vacío cero se necesitarían infinitos golpes de émbolo, cosa que no es posible en la realidad.

Esta marcha del enrarecimiento se calcula sabiendo que al primer golpe de émbolo, el volumen V del aire del recipiente se repartirá entre éste y el cuerpo de bomba v , con lo que se tendrá el volumen $V+v$, que si antes estaba a la presión normal H , ahora estará a otra H' , pero que, según la ley de Mariotte, $(V+v) H' = V H$, de donde el valor H' , y los términos de la progresión, iguales a H' por las potencias sucesivas de $V/V+v$ que expresan la marcha del enrarecimiento.

185. Experimentos con estas máquinas. -Entre otros muchos, son experimentos clásicos los siguientes:

Si en un recipiente se mete un animal vivo, y se extrae el aire del recipiente, el animal morirá por falta de su medio vital, o aire, sucediendo análogamente con una luz encendida, que se irá apagando a medida que le falte el medio, aire, necesario para su combustión.

El peso de la atmósfera se comprueba en la máquina neumática con el hecho de no poderse separar la campana de la platina cuando se ha extraído algo de aire; o con el rompe-vejigas, que es un cilindro de cristal tapado con una membrana, que se encorva hasta romperse cuando, puesto el aparato sobre la platina, se extrae el aire del cilindro; o con los hemisferios de Magdeburgo (fig. 72), que son dos hemisferios metálicos, huecos, unidos íntimamente, los cuales no pueden separarse sino con grandes esfuerzos cuando se extrae el aire de su interior, lo que se hace por medio de un tubo con su correspondiente llave.

La llamada fuente en el vacío, que se practica con un matraz prolongado, del que se extrae el aire por medio de la máquina neumática, y si luego se pone en una vasija con agua, ésta penetra en el interior, en forma de surtidor, cuando se abre la llave de comunicación con el exterior.

También se aplica la máquina neumática para probar el peso de los gases, y en los experimentos de la lluvia de Diana, tubo de Newton, martillo de agua y otras ya indicados.

Se emplea el vacío en los frenos neumáticos de los trenes, en los laboratorios para concentrar soluciones, en la conservación de productos, en algunos sistemas de luz eléctrica, en las ventosas, en la fabricación artificial del hielo, y modernamente se emplean aparatos de vacío para realizar la limpieza de modo muy completo o higiénico, aunque algo costoso.

186. Máquinas de compresión de gases. -Son aparatos destinados a comprimir un gas en un recipiente de suficiente resistencia; por ser este efecto contrario al de la máquina neumática, podría usarse ésta para comprimir el aire con sólo cambiar la dirección de las válvulas.

La bomba de compresión o de inyección de gases (fig. 73) es un cuerpo de bomba en el que se mueve un émbolo, macizo generalmente, que empuja el aire, el cual entra por unos orificios laterales o por uno inferior, y es enviado por otro orificio inferior o lateral R a un depósito, en donde se va almacenando y comprimiendo.

187. Aplicaciones de las máquinas de compresión. -Si el aire se comprime en un depósito metálico que tiene agua y se ha introducido en él hasta el fondo un tubo, el agua saldrá por éste, empujada por el aire, a modo de surtidor y tanto más fuertemente cuanto mayor fue la presión del aire; éste es el experimento llamado fuente de compresión y el fundamento de los sifones de agua de Seltz, en los que el gas comprimido es el anhídrido carbónico.

Lo mismo acontece en la fuente de Herón (fig. 74), que consiste en un platillo metálico C y dos globos de vidrio A y B, colocados verticalmente debajo del platillo; estos globos se comunican entre sí y con el platillo por tres tubos F, E, D y el que termina en éste, que lo hace en punta y con una llave; si se echa agua en los globos y se abre la llave del tubo, este agua, por la presión del aire que se ha comprimido en aquéllos, sale en surtidor, y a una altura que teóricamente, es igual a la diferencia de nivel entre el líquido del globo inferior B y el platillo.

Se usa el aire comprimido para insuflar aire en los altos hornos y galerías de minas; para los motores de aire comprimido, para los neumáticos de los coches, para los trabajos submarinos en las escafandras y campanas de buzos, para los correos neumáticos, en los que el aire comprimido envía por un tubo subterráneo una caja postal, facilitando la velocidad, que llega a ser de un kilómetro por minuto, una aspiración en el extremo opuesto; en los relojes neumáticos de algunas poblaciones; para liquidar gases a presiones mayores que una atmósfera; en los fusiles de viento, y en las máquinas perforadoras.

Capítulo VI

Bombas hidráulicas

188. Bombas hidráulicas. -Son aparatos destinados a elevar los líquidos utilizando la presión atmosférica; se distinguen en ellas diferentes tipos, según su modo de funcionar, así como según sus aplicaciones.

189. Bomba aspirante. -Esta bomba tiene por objeto elevar el agua por aspiración, y consiste (fig. 75) en un cuerpo de bomba CC que tiene inferiormente un tubo de aspiración

que se introduce en el depósito de agua mn; el émbolo lleva unas válvulas, S, S, que se abren hacia arriba, lo mismo que otra V, que existe en la unión del tubo y el cuerpo de bomba; al subir el émbolo por medio de una palanca, la presión atmosférica obliga al agua a elevarse, y ésta abre la válvula del tubo y pasa al cuerpo de bomba; mas luego, al bajar, comprime este agua, que abre la válvula del émbolo y pasa a la parte superior, siendo finalmente elevada por el émbolo hasta un orificio lateral D de salida.

Por lo dicho en el barómetro, el agua no puede elevarse más de 10,33 metros; y prácticamente, sólo hasta unos 8 ó 9 metros, por los defectos de construcción.

190. Bomba impelente. -Es un aparato destinado a elevar el agua por compresión, formado (fig. 76) por un cuerpo de bomba E, con un pistón macizo, una válvula inferior S y un tubo lateral de elevación T, que tiene en su base una válvula V, que se abre hacia el interior del tubo; sumergida la bomba en el depósito del líquido, al subir el pistón se abre la válvula inferior por el empuje del líquido, y éste pasa al cuerpo de bomba, y al bajar el émbolo o pistón se comprime el agua y se abre la válvula lateral, alojándose el líquido en el tubo de elevación, sin que pueda retroceder, por impedirlo el modo de abrirse dicha válvula.

191. Bomba mixta. -La bomba mixta o aspirante impelente (fig. 77), que funciona usando la aspiración y compresión, consiste en un cuerpo de bomba con un tubo inferior de aspiración y otro lateral de elevación, provistos ambos de sus respectivas válvulas m, m; esta bomba funciona como aspirante al subir el émbolo, que es por lo común macizo, y como impelente al bajar.

192. Bombas de salida continua. -Las bombas anteriores tienen el inconveniente de funcionar discontinuamente, arrojando el agua sólo cuando sube el émbolo en las aspirantes y cuando baja en las aspirantes y mixtas, y se consigue hacer la salida continua bien empleando bombas de doble efecto, que son bombas mixtas en las que se bifurcan los tubos de aspiración y elevación, para que las dos ramas de cada tubo terminen, respectivamente, en la parte superior e inferior del cuerpo de bomba, bien por intermedio de un depósito de aire, como en la llamada bomba de incendios.

Consiste esta bomba (fig. 78), usada en los casos de incendios, en un depósito de agua en el que se sumergen dos cuerpos de bomba P, P, cuyos pistones funcionan alternativamente por la acción de una palanca de brazos iguales M M; el funcionamiento de estas dos bombas impelentes envía el agua a un depósito R, en el que se va comprimiendo el aire que había, hasta que éste adquiere fuerza para reaccionar sobre el agua, haciéndola salir por un tubo T que atraviesa el depósito y en cuyo extremo exterior se atornillan las mangas L o tubos de conducción del líquido; siendo constante la entrada del agua en el depósito, también lo es la presión del aire y, por lo tanto, la salida de aquel líquido.

193. Pipeta. -Este aparato, llamado también catalicores, es un tubo de forma y naturaleza variables (generalmente, de cristal), abierto por los dos extremos, y con el que se trasvasan

pequeñas cantidades de un líquido; llena la pipeta del líquido, por inmersión en él hasta cierta altura, o por succión, se tapa con el dedo el orificio superior, y el líquido no se cae, por impedirlo la presión atmosférica que se ejerce sobre el orificio inferior, y llevada adonde se desea, se retira el dedo y el líquido cae, por neutralizarse la presión inferior con la que actúa ahora sobre el orificio superior. Se usa en la industria y en los laboratorios, pudiendo ser también graduada.

Análogo fundamento es el de la fuente intermitente (fig, 79), o sea un depósito B con agua, la cual sale por unos tubitos C, laterales, mientras está descubierto el extremo exterior de un tubo que atraviesa el depósito, cesando de salir cuando se cubre de agua ese extremo, lo que sucede en un platillo inferior A, provisto de un pequeño orificio de salida, adonde cae el agua de los tubitos laterales y en el que termina el tubo; esto explica la intermitencia de algunos manantiales naturales.

195. Sifón. -Es un tubo encorvado (fig. 80) de ramas desiguales, A B y C D, y de naturaleza variable (metal, cristal, goma...), destinado a trasvasar líquidos; para funcionar este aparato se llena previamente de líquido, o sea cargar el sifón, o se coloca en el depósito del líquido a trasvasar y se llena por succión, y cargado y colocado en el depósito, entonces actúa la presión atmosférica, P, en el líquido, XY, ejerciendo su acción sobre la rama corta y sobre la larga, y dando como resultado la diferencia de ambas, o sea una presión de la rama corta hacia la larga, que hace salir el líquido por ésta con una velocidad igual a la diferencia h de altura, entre el nivel del líquido y el orificio D de salida de la rama larga; si esta diferencia se hiciera constante por una polea y un flotador, también lo sería la salida del líquido; y si fuese nula, el líquido no saldría por el aparato indicado.

Para evitar los efectos perniciosos de los líquidos corrosivos, caso de haber un descuido en la succión, lleva en este caso el sifón ABC (fig. 81), un tubito lateral, a, m, para cargarlo; el sifón, como consecuencia de lo dicho, no funciona en el vacío, ni cuando su rama larga tiene mayor longitud que $10,33/D$, siendo D la densidad del líquido trasvasado, o cuando su diámetro es grande, porque entonces, entrando el aire por el tubo, rompe la homogeneidad, dividiéndola columna líquida.

196. Vaso de Tántalo. -El vaso de Tántalo (fig. 82) es un vaso AB, con un sifón C, en forma de cayado, cuya rama larga atraviesa el fondo, D; este sifón empieza a funcionar cuando se cubre de agua, siguiendo luego funcionando hasta que se descubre la rama corta, C; de aquí que, agregando igual cantidad de agua que la que sale por el sifón, no se llenará ni se vaciará nunca el vaso, y si entrase menos que la que sale, el sifón dejaría de funcionar al descubrirse la rama corta, hasta que ésta llegue a cubrirse nuevamente por el líquido que entra, por lo que el aparato se llama también sifón intermitente.

Cuerpos sumergidos en los gases. -Neumodinámica

197. Principio de Arquímedes aplicado a los gases. -El principio de Arquímedes tiene su correlación en los gases y se enuncia diciendo: todo cuerpo sumergido en un gas sufre una presión hacia arriba o pierde de su peso lo que pesa el volumen de gas desalojado. Esto se prueba con el aparato llamado barómetro (fig. 83), que consiste en una palanca de brazos iguales, que tiene en el uno una esfera hueca, y en el otro otra pequeña maciza, móvil a lo largo de su brazo; si ambas esferas se equilibran en el aire y se mete el aparato en la campana de la máquina neumática, al extraer el aire la palanca se inclina del lado de la esfera hueca, lo que indica que ésta tiene más peso real; pero como al salir al aire, por su mayor volumen, pierde también más de su peso, de aquí que equilibre en el aire a la esfera maciza.

El peso aparente o en el aire es igual al peso real, menos el peso del aire desalojado, que generalmente es muy pequeño, aunque en algunas condiciones puede exceder al aparente.

198. Consecuencias de este principio en los gases. -Las consecuencias del anterior principio, lo mismo que en los líquidos, son: si el peso de un cuerpo es mayor que el del volumen de gas desalojado, el cuerpo se hunde en el gas (caso general de los cuerpos en la atmósfera); si ambos pesos son iguales, el cuerpo se sostendrá en cualquier parte de la masa del gas, y si el cuerpo pesase menos que el gas desalojado, ascenderá ese cuerpo hasta que su peso sea igual al del aire que desaloja; en esto se fundan los aeróstatos, la flotación del humo y la de algunos otros cuerpos.

199. Aeróstatos.-Estos cuerpos, cuya invención es debida a los fabricantes de papel de Annonay (Francia), hermanos Montgolfier, en 1783, son aparatos que a voluntad pueden elevarse y moverse en la atmósfera.

Están formados (fig. 84) de una envoltura generalmente esférica, constituida, por lo común, de tafetán bien barnizado, y a veces, con una capa intermedia de goma, todo lo que disminuye la difusión del gas interior, siendo en algunos esta envoltura de aluminio; en la parte superior del globo existe una abertura con una válvula, que se puede abrir o cerrar a voluntad por medio de una cuerda, y la parte inferior se termina en una manga cónica abierta, por la que se llena del gas, y sirve para su salida, alejando el peligro de que la presión del gas interior desgare la cubierta del globo; recubriéndole exteriormente, lleva una red de cuerdas, de las que pende la barquilla, generalmente de mimbre, por su mayor ligereza, en la que se ponen el aeronauta y los utensilios necesarios y convenientes para una ascensión.

Entre estos utensilios, además de los propios y personales del aeronauta, están una brújula para orientarse, un barómetro altímetro, termómetros, banderolas para los vientos, lastre (formado por lo común por sacos de arena, que permiten regular el movimiento ascensional del globo), un ancla, una cuerda de nudos para facilitar el descenso y un paracaídas, en forma de paraguas flexible, para facilitar la caída de los aeronautas si fuera necesario.

Los globos, que primeramente se llenaban de aire caliente, luego, por estudios de Charles, se empezaron a llenar con hidrógeno, lo que, sí bien resultaba muy ventajoso por la extremada ligereza de este cuerpo, tenía el inconveniente de su coste y poder difusivo, además de la exposición, por formar con el aire mezcla detonante, por lo cual se sustituye hoy con el gas del alumbrado, frecuente en todas las poblaciones de importancia.

Además de estos globos libres, ocupados o tripulados por personas llamadas aeronautas, existen otros que permanecen durante su ascensión sujetos a tierra por medio de cables arrollados a un torno, que limitan sus movimientos constituyendo los llamados globos cautivos, y los denominados globos sondas, que son pequeños, llenos de hidrógeno y con gran fuerza ascensional, los cuales no van tripulados y llevan convenientemente dispuestos aparatos científicos registradores que permiten la observación científica de elevadas regiones atmosféricas.

200. Fuerza ascensional de los globos. -La ascensión de los globos, ocupado su interior en unos dos tercios próximamente por el gas, para evitar rupturas por la dilatación de éste, se verifica en virtud de una fuerza, denominada fuerza ascensional, igual a la diferencia entre el peso del globo y el peso del volumen de gas desalojado, y que se calcula por la fórmula

$$F = V (p - p') P.$$

en la que p y p' representan los pesos de 1 metro cúbico de aire y del gas; V , el volumen del globo, y P , su peso con la barquilla y accesorios; de esto se deduce que se favorecerá esta fuerza ascensional, y con ella el ascenso del globo, disminuyendo P , lo que se hace arrojando la arena que forma el lastre, y el descenso se determinará abriendo la válvula superior, para que al salir el gas sea sustituido por el aire.

Esta fuerza ascensional, medible con un dinamómetro, es conveniente exceda de pocos kilogramos al iniciarse el ascenso, para evitar posibles averías en el globo, la cual luego aumenta hasta que éste se hincha por completo, si bien no mucho, pues el mayor volumen tiene parcial compensación en la menor densidad del aire desalojado, para más tarde decrecer y anularse dicha fuerza, si el aparato se eleva hasta las capas atmosféricas de su misma densidad.

201. Ascensiones clásicas. -Muchas son las ascensiones que con fines recreativos o científicos se han verificado a partir del conocimiento de los globos, siendo clásicas entre ellas: la hecha en 1783 por Pilatre de Rozier y el Marqués de Arlandes, primera ascensión realizada en globo tripulado por aeronautas la del físico Charles (1783), que con el mecánico Rober se elevaron en el primer globo lleno de hidrógeno; la de Mr. Blanchard y el Dr. Jeffries, que en 1785 practicaron un penoso viaje aéreo entre Douvres y Calais; la del célebre físico Gay Lussac, que en 1804 se elevó a unos 7.000 metros; la de Barral y Bixió, de investigación científica, como la del meteorólogo Glaisher en 1862...y otras varias.

También pueden citarse bastantes de resultados desgraciados para los aeronautas, cual la hecha en París en 1875 por Tisandier, en unión de Sivel y Croce-Espinelli, elevándose hasta

8.600 metros y pereciendo estos dos últimos; la del intrépido Pilatro de Rozier con el fabricante de globos Romain, en 1785, en la que murieron los dos; la que costó la vida a Mme. Blanchard en 1819, primera víctima de su sexo... y otras más, algunas de las cuales son de todos recordadas por lo recientes.

El interés por esta primera conquista de la atmósfera continúa actualmente, tanto por los particulares como por las Sociedades científicas y por los Gobiernos que tratan de utilizar la importancia militar de los globos; así, el Estado español tiene establecido un notable Parque de Aerostación militar en Guadalajara.

202. Navegación aérea; globos dirigibles. -El hecho de estar los globos comunes sometidos al arrastre de los vientos limitando la dirección del aeronauta parcialmente al ascenso y descenso del globo, hizo que se pensase en construir globos dirigibles, es decir, que pudieran moverse a voluntad en todas direcciones y que, por lo tanto, hicieran posible la navegación aérea, a semejanza de la navegación propia o acuática.

El problema de la navegación aérea es más difícil de resolver que el de la navegación en el agua, por no existir en ésta, salvo los casos de corrientes acuáticas, arrastre de materia, mientras que en la aérea es transportado el globo y la masa gaseosa en que se encuentre.

Los globos dirigibles, para poderse mover en el aire, han de tomar una velocidad superior a la de los vientos reinantes, cuya velocidad se les da por medio de hélices accionadas por motores potentes y de poco peso, determinándose la dirección por medio de un timón, y facilitándose la locomoción dándoles formas alargadas convenientemente para disminuir la resistencia del aire y para que el punto de aplicación de la fuerza motora coincida con el de la resultante de todas las resistencias.

Aunque este problema no pueda considerarse resuelto todavía, son muy notables los resultados obtenidos por muchos entusiastas de esta idea, como los oficiales franceses Renard y Krebs, que con un dirigible de motor eléctrico evolucionaron sobre París con gran precisión; el americano Santos Dumont; el conde de Zeppelin, en Alemania, con globos de cubierta rígida, y otros varios. En la actualidad todas las naciones posean dirigibles, utilizados con fines militares, y en España son notables las prácticas verificadas en el citado Parque de Guadalajara con estos globos dirigibles.

203 Aeroplanos. -Actualmente trátase de realizar la navegación aérea con aparatos más pesados que el aire desalojado o aeroplanos, cuyo funcionamiento aéreo se dice aviación.

Ya desde antiguo habíanse propuesto imitar el vuelo de las aves, construyendo aparatos ingeniosos denominados, en general, ornicopteros; los resultados no fueron satisfactorios, y los experimentos, por lo común, lamentables para los experimentadores, según sucedió al Marqués de Bacqueville, que resultó lesionado en sus experimentos realizados en París; al americano Otto de Lilienthal, que pereció en uno de sus experimentos, y a otros varios.

Abandonada la idea de estos aparatos de vuelo, se usaron, con resultados satisfactorios, otros aparatos de hélices (aparatos helicópteros), que son los aeroplanos, los cuales se fundan en la resistencia que ofrece el aire al movimiento de las superficies rígidas, cuya

resistencia es proporcional a la superficie, así como también al cuadrado de la velocidad del aire.

Al colocar una superficie oblicuamente a la dirección del viento, la fuerza resistente de éste se descompone, originando en esta descomposición otra fuerza contraria a la gravedad o empuje; y si la intensidad del viento es grande, este empuje contrarrestará a la fuerza de gravedad sosteniendo al cuerpo en el aire, o superará a la gravedad elevando el cuerpo en la atmósfera (esto se experimenta en las cometas de recreo infantil).

Si ahora se supone que el aire está en calma, y la superficie rígida es la que se mueve velozmente, las cosas pasan lo mismo que antes, y la superficie, en relación con su velocidad, puede estabilizarse en la atmósfera o elevarse; este es el caso de los aeroplanos, en los que sus superficies o alas en número diferente (de aquí sus nombres de mono o biplanos), se mueven con todo el aparato velozmente por un motor de gasolina, dependiendo de esta velocidad y de la variable inclinación de las superficies, la regularidad de los vuelos, las condiciones de este movimiento y su regreso a tierra, o aterrizaje. El importante problema a resolver de estos aparatos consiste en la estabilidad aérea en los casos frecuentes de alterarse el normal funcionamiento del motor.

El extraordinario número de experimentos de aviación que se están practicando por intrépidos aviadores cuyos nombres son bien conocidos, han hecho llegar a obtener resultados notables en este medio de navegación aérea, aunque conseguidos a expensas del sacrificio de la vida de bastantes aviadores.

204. Neumodinámica. -Es la parte de la Física que estudia el movimiento de los cuerpos gaseosos; este movimiento consiste principalmente en la salida de dichos cuerpos de los recintos que los encierran.

205. Salida de los gases; vena gaseosa. -Cuando en la pared delgada de un depósito de un gas se practica un orificio, siendo la presión exterior menor que la que tiene el gas, éste saldrá normalmente a la pared en forma de chorro o vena gaseosa, análoga a la vena líquida, y con una velocidad tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia de presiones entre el interior y el exterior.

En esta salida, el gas ejerce sobre la pared opuesta una fuerza de reacción que trata de mover el aparato del que sale el gas, en sentido contrario a la dirección de salida, lo cual se prueba con un tubo de cristal por el que se sopla, haciendo con ello girar a otros dos que tiene en su extremo, perpendiculares entre sí y acodados en su terminación opuestamente al sentido del giro. A esto se debe el retroceso en las armas de fuego al funcionar el movimiento de los voladores en los fuegos de artificio, el de los ventiladores y ruedas de papel colocados sobre los tubos de las lámparas, y otros hechos.

206. Aparatos productores de corrientes gaseosas. -Todo aparato que contiene un gas comprimido le da salida en corriente cuando se comunica con el exterior por medio de un orificio o tubo de salida.

Así, pues, por sus efectos las máquinas de compresión de gases, son aparatos de corrientes gaseosas, existiendo otros medios mecánicos productores de esas corrientes de conocimiento vulgar, tales son: los fuelles, constituidos por un espacio limitado por dos tablas unidas por una badana o cuero, con una válvula en la que forma el plano inferior para la entrada alternativa del aire al separar las tablas entre sí, y un tubo para la salida del mismo aire cuando se aproximan dichas tablas, siendo, por tanto, esta salida discontinua, a no ser que se acoplen dos fuelles en la misma armadura, actuando uno de depósito de aire (forjas, fuelle acústico); los tubos de acero resistentes, en los que actualmente suele trasladarse el H para los globos, el anhídrido carbónico de uso industrial y algún otro gas; los depósitos de caucho en que se almacena el oxígeno (balones); los recipientes de goma, ya esféricos, ya piriformes (peras de goma), con los que se envían corrientes de aire para producir sonidos (bocinas) o para modificar las llamas (sopletes que funcionan por esfera de goma), o para producir por su acción la aspiración de un líquido medicinal o aromático y luego dividirlo en gotitas o pulverización (pulverizadores), o para algunas acciones mecánicas (obturadores fotográficos)..., etc; las máquinas insufladoras; algunos ventiladores, y los llamados gasómetros.

207. Gasómetros. -Los gasómetros son aparatos destinados al almacenamiento y salida regular de los gases, existiendo dos tipos de ellos diferentes.

El tipo de laboratorio, que es un depósito metálico de forma cilíndrica, en el que se introduce el gas que viene del aparato productor, por un orificio inferior, desalojando al agua de que previamente se llena el aparato y en el que se determina la salida de ese gas de modo regular por la entrada del agua, que cae de otro depósito superior, la cual llega, mediante un tubo, hasta casi el fondo del cilindro y comprime al gas, que, por tanto, se ve obligado a salir por un orificio lateral superior provisto de su correspondiente llave.

El otro tipo es el empleado en la fábrica del gas, y consiste en un gran cilindro de chapa de palastro colocado sobre un depósito de fábrica, que contiene agua, y elevable en unos bastidores de hierro por la fuerza del gas llegado de las retortas productoras, y que, al descender este gasómetro por su propio peso, comprime al gas, limitado inferiormente por el depósito de agua, obligándole a salir regularmente por un tubo que luego lo distribuye, en virtud de la presión que lleva, por las cañerías.

Parte quinta

Acústica

Capítulo I

Sonido: propagación y cualidades

208. Acústica o fonología. -Es la parte de la Física que estudia la naturaleza y cualidades de los sonidos, entendiéndose por sonidos todas las sensaciones que afectan al sentido del oído.

209. Producción de los sonidos. -Todo sonido es originado por el movimiento vibratorio de la materia y transmitido por un medio ponderable hasta el oído del observador. Así, haciendo vibrar con un arco de violín o un macillo una campana de cristal o metálica, se producirá un determinado sonido, que cesará en el momento en que, tocando la campana, deje ésta de vibrar.

El sonido producido necesita para su transmisión un medio ponderable, sólido, líquido o gaseoso, como se prueba colocando en la campana de la máquina neumática (sobre algodón para evitar la conductibilidad de la platina) un timbre de funcionamiento automático, y observando que al extraer el aire del recinto limitado por la campana, se va debilitando hasta llegar a no percibirse el sonido, no obstante seguirse viendo cómo el macillo golpea el timbre.

Las sensaciones sonoras se dividen en sonidos propios o musicales (la música, la palabra), que son sensaciones agradables, continuas y de valor rítmico y musical apreciables, y los ruidos, originados por vibraciones irregulares o por la unión confusa de sonidos discordantes, que determinan una sensación desagradable, instantánea o continuada durante cierto tiempo (un cañonazo, el trueno); a veces el paso de los ruidos a los sonidos musicales es insensible, siendo difícil la distinción entre ellos (sonidos de las campanas, golpe de martillo...).

210. Propagación del sonido. -Aunque el sonido se propaga por todos los medios ponderables, el aire es el medio más general de propagación del sonido, pues aunque ésta se verifique por otros medios, siempre, en último término, se transmitirá la vibración a las capas aéreas que rodean el oído, determinando la impresión sonora.

Como el aire es un medio isótropo, las vibraciones de los cuerpos productores de los sonidos se transmiten a través del aire, en forma de ondas esféricas, progresivas, alternativamente condensadas y dilatadas, que se extienden desde el centro de vibración hasta el oído del observador. Esta forma esférica de las ondas se modifica, si bien persistiendo su estructura, en los espacios limitados (tubos sonoros, cajas de los instrumentos musicales).

211. Velocidad del sonido. -Reconocido por hechos vulgares (tiempo que media entre la visión del fogonazo de un disparo y la percepción del ruido...) que la propagación del sonido no es instantánea, se ha deducido su velocidad por segundo, admitiendo que se propaga con movimiento uniforme.

Por experimentos realizados en Francia se ha fijado como velocidad del sonido en el aire (a 16° centígrados y 78 del higrómetro de cabello) 340,80 metros por segundo; esta velocidad, que es independiente de la presión atmosférica, varía en el mismo sentido que lo

hace la temperatura, descendiendo hasta 333 metros por segundo a 0° centígrados, y aumenta con la mayor cantidad de vapor acuoso atmosférico.

La propagación en los líquidos, demostrada vulgarmente por la percepción en el aire de los sonidos originados en el seno del agua, se realiza con mayor velocidad que en el aire, habiéndose determinado experimentalmente en el lago de Ginebra, fijándola para el agua en 1.435 metros por segundo, o sea poco más que el cuádruplo de la correspondiente al aire en condiciones normales.

En los sólidos el sonido se propaga más velozmente, según se experimenta cuando, puesto el oído sobre los rieles del tren, se nota el movimiento de éste desde gran distancia, y análogamente en una carretera cuando marchan sobre ella grupos de gentes, llegando a ser esta velocidad en el hierro hasta quince veces mayor que en el aire, si bien varía bastante de unos cuerpos sólidos a otros.

212. Reflexión del sonido. -Siempre que las ondas sonoras en su propagación encuentran un obstáculo, retroceden, es decir, se reflejan, llamándose a este fenómeno reflexión del sonido, y diciéndose incidente a la dirección que traía la onda, reflejada la que toma después de encontrar el obstáculo, normal la perpendicular al plano de este obstáculo en el punto de encuentro, y ángulos de incidencia y de reflexión, respectivamente, los que forman las indicadas direcciones con la normal.

El sonido al reflejarse obedece a leyes análogas a las del choque oblicuo, o sean: 1.^a, el ángulo de incidencia y el de reflexión están en un plano; y 2.^a, ambos ángulos son iguales; esto se prueba experimentalmente poniendo un reloj en el foco de un espejo parabólico (que tiene la propiedad de reunir en su foco los rayos paralelos al eje principal) y observando que en el foco de otro espejo, también parabólico, puesto enfrente, es en donde mejor se aprecia el ruido del reloj, por ser el punto adonde se reúnen las sondas producidas después de reflejadas en los espejos.

A esto se debe la posibilidad de hablar reservadamente en algunas bóvedas, estando distantes las personas que hablan, como acontece en el monasterio de El Escorial (Madrid), en la sala de secretos de Granada, etc.

213. Eco y resonancia. -Se llama eco el acto de percibir un sonido reflejado inmediatamente después de haberse oído el directo; para que se origine el eco es necesario un obstáculo que refleje el sonido, y cuando el observador es el productor del sonido directo, se precisa, para la buena producción del fenómeno, que el obstáculo reflectante esté por lo menos a 17 metros del observador, pues representando por un décimo de segundo el tiempo mínimo que se tarda en emitir una sílaba, el sonido habrá recorrido en dicho tiempo $340/10 = 34$ metros, y como esta distancia corresponde a la ida hasta el obstáculo y la vuelta al oído, de aquí que aquél tendrá que estar separado del oído por lo menos $34/2 = 17$ metros.

Cuando el obstáculo esté del observador a una distancia igual a n veces 17 metros, se originará un eco múltiple, o que repite varias veces un sonido (castillo de Simonetta, en Italia); y si el sonido directo es producido por otro cuerpo diferente del observador, se

necesitará para que haya eco que la diferencia entre los caminos directo y de reflexión que recorren las ondas sonoras para llegar al oído del observador, sea igual o superior a 17 metros. En el caso de que el obstáculo esté a menos de 17 metros del observador, el sonido directo y el reflejado se confunden total o parcialmente, determinando la llamada resonancia, que se observa en las habitaciones, aunque se aminora con los muebles y decorado, cual acontece en los teatros.

214. Cualidades de los sonidos. -Son los atributos o caracteres propios de cada sonido, y que permiten distinguir unos de otros; tales son: intensidad, tono y timbre.

215. Intensidad de los sonidos. -Es la cualidad que hace a los sonidos perceptibles a distancias variables del cuerpo sonoro, dependiendo este efecto de la amplitud de las vibraciones y diciéndose los sonidos fuertes o débiles, según corresponden a vibraciones de grande o pequeña amplitud.

La intensidad de los sonidos varía según diversas circunstancias, que se aprecian vulgarmente; así: con la distancia, puesto que la intensidad varía en razón inversa del cuadrado de las distancias; con la densidad del medio, favoreciéndose con el aumento de densidad, lo que justifica la mejor o más fácil comunicación sonora en los valles que en lo alto de las montañas; y con la proximidad de cuerpos sonoros, como se ve en el empleo de las cajas o recintos limitados de aire de los instrumentos músicos.

La propagación por tubos aminora la pérdida de intensidad que experimentan los sonidos con la distancia, tanto por no ser ya las ondas sonoras esféricas y crecientes, cuanto por las reflexiones que se verifican en las paredes interiores de los tubos.

Esta cualidad de los conductos tubulares tiene su aplicación en diversos aparatos, como los tubos acústicos, que son tubos que, colocados entre diversas habitaciones, permiten establecer comunicación de palabra entre dos personas situadas en esas habitaciones; las bocinas o tubos cortos metálicos con un ensanchamiento o pabellón, por los que se emite la voz, siendo muy usados en el campo y por los marinos; las trompetillas acústicas, para favorecer la audición a las personas torpes de oído; los estetoscopios usados para la observación de los movimientos fisiológicos de determinados órganos (auscultación), y algunos otros, siendo también una aplicación la vulgar costumbre de colocar las manos alrededor de la boca, formando una cavidad, para reforzar el sonido cuando se grita.

216. Tono o altura de los sonidos. -Es la cualidad por la cual los sonidos impresionan diferentemente, el oído, según su número de vibraciones, permitiendo dividirlos en graves, u originados por corto número de vibraciones, y agudos, u producidos por gran número de éstas; el oído humano posee un cierto límite para la percepción de unos y otros sonidos, y aunque este límite varía mucho, según diversas circunstancias, puede establecerse aproximadamente fijando en ocho vibraciones por segundo el límite inferior, correspondiente al sonido más grave, y en 24.000 el límite superior, perteneciente al más agudo.

217. Apreciación del número de vibraciones de un sonido. -Siendo el tono o altura la cualidad más apreciada en los sonidos y dependiendo del número de vibraciones por segundo que originan éstos, se comprende el interés que tiene el contar este número, lo que se practica por medios mecánicos, por procedimientos gráficos o utilizando medios ópticos.

Entre los medios mecánicos están: la rueda dentada de Savart, que es un sencillo aparato formado por una rueda con determinado número de dientes, a la que se hace girar con velocidad variable por un volante y una correa de transmisión, llevando un contador de vueltas que al indicar el número de éstas, da, multiplicando este número por el de dientes de la rueda, el de vibraciones que corresponden al sonido producido por el roce de los dientes de la rueda durante un segundo, con una cartulina o lámina metálica; así, si la rueda tiene sesenta dientes y da diez vueltas en un segundo, el sonido que se perciba corresponderá a $0 \times 10 = 600$ vibraciones.

Empléanse también para el mismo fin las llamadas sirenas, cual la de Cagniard Latour (fig. 85), en la que el medio vibrante es el aire, el cual viene por el tubo, B, de un fuelle acústico, y al rozar con las paredes de los agujeros que en número determinado y en disposición circular tiene el disco giratorio, TT, entra en vibración, representando cada agujero una de estas vibraciones, y contándose el número de ellas por el producto del número de agujeros del disco y las vueltas que éste haya dado en un segundo, apreciadas por un contador formado por un eje, A, con una hélice para transmitir el giro del eje a dos ruedas dentadas que mueven unas agujas sobre dos esferas, en las que se cuentan las unidades y decenas, respectivamente.

218. Métodos gráficos y ópticos. -Como estos métodos exigen alguna educación del oído, pueden sustituirse a veces por métodos gráficos, en los que las vibraciones del cuerpo se transmiten a un estilete que, apoyándose sobre una placa de vidrio ennegrecido que se mueve uniformemente, o sobre un cilindro cubierto de un papel ennegrecido y dotados de movimientos de rotación y traslación, deja sobre la placa o el papel una huella o línea sinuosa o dentada, en la que cada diente representa una vibración apreciable por la vista, y que permite comparar dos o más de estas líneas correspondientes a sonidos diferentes y obtenidas con este aparato, llamado vibroscopio de Duhamel.

Y aun pueden emplearse métodos ópticos para apreciar las vibraciones del aire, cual el debido a Koenig, que consiste en hacer llegar el aire vibrante a una caja lenticular o cápsula manométrica, dividida por una membrana en dos compartimentos, a uno de los cuales llega el gas del alumbrado, que se inflama en una boquilla exterior, produciendo una llama, que será oscilante a causa de la vibración del aire que va al otro compartimento y hace vibrar a la membrana, y luego al gas, cuya oscilación, variable con la intensidad de las vibraciones, podrá observarse en un espejo prismático giratorio, que se pone frente a la llama, y aun fotografiarse para comparaciones posteriores.

219. Teoría física de la música. -La música es un arte que consiste en la producción y combinación de sonidos de modo que impresionen agradablemente el oído.

220. Intervalos musicales. Escala. -Intervalo de dos sonidos es la relación del número de vibraciones del más agudo a las del más grave; la experiencia ha demostrado que sólo un

corto número de éstos son los que impresionan gratamente al oído, por lo que son utilizables en la música, constituyendo los intervalos musicales expresados en números enteros o fracciones muy sencillas; el conjunto ordenado de siete sonidos separados por estos intervalos musicales se denomina gama y vulgarmente escala musical, representándose esos sonidos por letras (como en Alemania) y más generalmente por siete expresiones llamadas notas musicales, que son: do-re-mi-fa-sol-la-si, que con sus intervalos llamados en música: primera, segunda, tercera, cuarta, quinta, sexta, séptima y octava, y que tomados con relación al do forman la escala:

do/1 re/9/8 mi/5/4 fa/4/3 sol/3/2 la/5/3 si/15/8 do/2

En esta escala, los intervalos, según se ha indicado y es lo frecuente, están establecidos con relación al do, por lo que se dice a dicha escala natural o de do; pero podrían haberse fijado con relación a otra nota, la cual se diría entonces nota tónica, o que da el tono, así como también el nombre a la escala (escala de fa, de sol...).

Como el número absoluto de vibraciones de las notas es variable, de aquí que conservándose constantes las relaciones expresadas por los intervalos indicados, se repitan las escalas al elevar el tono de un sonido, y en la serie ordenada de estas escalas se indica la posición relativa de cada gama afectando sus notas de subíndices numerales positivos para las superiores a la que tiene por tónica el do más grave del violoncello, y negativo para las gamas inferiores, así: do-1, re-1,... si-1, do1 re1 mi1...si1 do2 re2 mi2... si2 do3 re3...

221. Nota fundamental. -Para establecer el número absoluto de vibraciones de una nota cualquiera, se ha establecido oficialmente en España y otras naciones, como tipo o sonido fundamental, el la3 de la tercera escala, que representa la voz media de la mujer, correspondiente a 435 vibraciones dobles por segundo.

222. Tonos. -Si en la escala natural se determina el intervalo de relación de cada nota con la anterior, se obtendrán tres relaciones nuevas: 9/8, 10/9, 16/15, de las que las dos primeras se diferencian tan poco, que se consideran como iguales (esta diferencia pequeñísima 80/81 se llama comma y no es apreciable sensiblemente) y se denominan tono mayor, así como al intervalo de 16/15 se dice semitono; observando la repartición de estos intervalos en la escala natural, se deduce que ésta está formada de dos tonos, un semitono, tres tonos y un semitono, así:

do 9/8 tono re 10/9 tono mi 16/15 semit. fa 9/8 tono sol 10/9 tono la 9/8 tono si 16/15 semit.
do

223. Sostenidos y bemoles. -Como en la música se necesitan escalas cuya tónica es distinta del do y que tienen distribuidos de modo diferente al indicado los tonos y semitonos, ha habido necesidad; para que estas nuevas escalas conserven la melodía (sucesión de sonidos musicales) de la natural, de transportar en ellas los tonos y semitonos, lo que se consigue intercalando las notas llamadas sostenidas y bemoles.

Sostener una nota es aumentar el número de sus vibraciones en la relación 25/24 (esta relación es un semitono menor, puesto que $10/9 : 16/15 = 25/24$, cuya relación multiplicada por el semitono 16/15 da el tono 10/9 y de aquí que se tome como semitono), lo que se indica por el signo #@ y bemolizarla es disminuir ese número en la relación 24/25 expresándose por el signo @.

224. Escala cromática. -La escala completa consta, por tanto, de 21 notas, siete naturales y 14 accidentales; pero como resulta muy incómodo para la generalidad de los instrumentos músicos, se usa otra escala llamada cromática temperada que sólo tiene 12 notas separadas por intervalos iguales a $122 = 1,060$, con lo que se han modificado de modo insensible, para la generalidad de los oídos, las siete notas naturales, menos la fundamental, y se considera coincidiendo cada nota sostenida con la siguiente bemolizada.

225. Acordes. -Es la producción simultánea de dos o más sonidos; el acorde se dice simple o compuesto, según que esté formado de dos o más notas, y consonante o disonante, según que la impresión que producen en el observador sea agradable o desagradable; un acorde es tanto más consonante cuanto más sencilla es la relación de las notas que lo forman.

Los acordes simples más consonantes son el de octava (do-do1), el de tercia (do-mi) y el de quinta (do-sol), y con ellos se forma el acorde perfecto mayor, constituido por la tónica, la tercia mayor y la quinta (do-mi-sol), siendo su relación $1:5/4: 3/2$ o sea $4: 5: 6$, que impresiona muy gratamente, más que el perfecto menor, en el que la tercia es menor: es decir, que está formado de la tónica, tercia menor y quinta, cuya relación es de $1. 6/5; 3/2$ o lo que es igual $10: 12: 15$.

226. Timbre de los sonidos. -Es la cualidad por la cual se distinguen entre sí sonidos de la misma intensidad y tono, producidos por instrumentos diferentes, atribuyéndose este carácter al entrecruzamiento de las ondas correspondientes al sonido principal y a algunos de los sonidos armónicos que siempre le acompañan. Esta cualidad de interés en el canto y la música determina en la voz humana el llamado metal de voz.

Capítulo II

Producción y percepción de sonidos

227. Medios productores de sonidos. -Para la producción de sonidos musicales úsanse cuerpos vibrantes, ya sólidos, como las cuerdas y cuerpos rígidos, ya gaseosos, cual el aire encerrado en tubos sonoros.

228. Vibración de las cuerdas. -Se llama cuerdas en acústica a los cuerpos elásticos y filiformes que, sujetos por uno o por los dos extremos, entran en vibración, bien golpeándolos ligeramente, o bien por el roce con un arco de violín o con un paño y resina.

229. Sonidos fundamental y armónicos. -Al entrar en vibración las cuerdas, además del sonido producido por la vibración de toda la parte libre de la cuerda, llamado sonido fundamental, se originan otros simultáneos con él, pero de menor intensidad, llamados armónicos, debidos a la propagación del movimiento vibratorio a partir del punto de pulsación de la cuerda y a los fenómenos de interferencia que se realizan entre estas ondas y las reflejadas en los extremos fijos de la misma cuerda.

Estos armónicos, sumados al fundamental, modifican el timbre de éste, siendo en número variable, según las condiciones de las cuerdas.

El número y naturaleza de los armónicos puede variarse modificando el punto donde se pulsán o golpean las cuerdas.

230. Leyes de vibración de las cuerdas. -Las cuerdas, al vibrar transversalmente, obedecen a ciertas leyes, demostrables por un aparato llamado sonómetro, formado por una caja larga con dos cuerdas, una fija a voluntad para dar el tono de comparación, y la otra diferentemente tensa por medio de pesos, y cuya parte vibrante puede variarse colocando unas cuñas de madera que permiten limitar para la vibración una parte determinada de esa cuerda, así como por medio de unos puentes o caballetes de papel se puede observar el movimiento de esta cuerda en los vientres y la falta de él en los puntos nodales correspondientes a las vibraciones.

Estas leyes, experimentadas con el sonómetro, son:

1.^a El número de vibraciones de dos cuerdas de iguales condiciones, pero de distinta longitud, está en razón inversa de estas longitudes.

2.^a Si a igualdad de condiciones tienen las cuerdas distinto diámetro, el número de vibraciones es inversamente proporcional a estos diámetros.

3.^a Este número de vibraciones es proporcional a la raíz cuadrada del peso de tensión, siendo iguales las otras condiciones; y

4.^a En dos cuerdas iguales, pero de distinta densidad, el número de sus vibraciones es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de las densidades de las cuerdas.

Estas leyes se sintetizan en la fórmula:

$$n = \frac{1}{2} r \lg \frac{p}{d}$$

deducida por el cálculo, en la que r representa el radio de la cuerda, l la longitud, p el peso de tensión, d la densidad, g la gravedad y @ la razón de la circunferencia al diámetro.

La vibración longitudinal de las cuerdas obtenida por la frotación, aumentando el rozamiento por la resina, sólo varía en razón inversa de la longitud de la cuerda, sin que influyan para nada el diámetro ni la tensión de la misma.

231. Vibración de los cuerpos rígidos. -Estos cuerpos son en la acústica: las varillas, o cuerpos rígidos y elásticos de alguna longitud y espesor, y las placas, que son superficies formadas por cuerpos rígidos y elásticos, generalmente sostenidos por uno o varios puntos y que entran en vibración, ya por el golpe, ya por el rozamiento.

En la vibración de las placas se puede observar los vientres y nodos, espolvoreándolas con cuerpos ligeros (como arena o licopodio) y viendo las zonas que quedan limpias o concameraciones y aquellas otras en las que se acumula la materia pulverulenta o líneas nodales; cuando se trata de membranas orgánicas, se ha visto que esta vibración es tanto más regular y aguda cuanto más tensa está la membrana (templar los tambores).

A estos hechos pueden referirse los sonidos de ciertos instrumentos sonoros (tambor, pandereta, bombo, platillos, triángulo, cascabeles, campanas, etc.).

232. Diapasón. -Consiste (fig. 86) en una varilla de acero en forma de U, algo más cerrada por su extremo y que lleva en su parte curva un apéndice por el que puede sostenerse o colocarse sobre una caja de madera B para reforzar el sonido; este sonido se produce, bien golpeando ligeramente o frotando las ramas del diapasón, bien introduciendo entre ellas un pequeño cilindro y sacándolo bruscamente para que determine la vibración de las ramas.

El sonido producido por el diapasón depende de las dimensiones de éste, tomándose en España, como tipo oficial de comparación para los sonidos, el llamado diapasón normal, que produce el la de la tercera escala, correspondiente a 870 vibraciones simples por segundo, o sean 435 dobles.

233. Vibración del aire en los tubos sonoros. -Los tubos sonoros son unos cuerpos cilíndricos o prismáticos, huecos y más largos que anchos, abiertos o cerrados por un extremo, a los que se hace llegar el aire que, viniendo de un fuelle, penetra en el tubo intermitentemente por la acción de una embocadura situada en el otro extremo.

Según la forma de esta embocadura, los tubos se dicen en pico de flauta (fig. 87), es decir, con la embocadura provista de una abertura lateral o boca b en bisel y un tabique interior (fig. 88) con un orificio o luz i, por el que pasa el aire que viene del fuelle por el tubo P y que luego ha de rozar al salir con el borde o labio superior a de la boca; o de lengüeta (fig. 89, A), en la que existe una pieza cóncava a, canilla, tapada por una lámina elástica l, que es la lengüeta, la cual puede ser más ancha (lengüeta, batiente) o menos (lengüeta libre) que la pieza cóncava citada, existiendo también un muelle, llamado raseta, b, r, que sirve de regulador a la parte vibrante de la lengüeta; además, lleva un tubo ancho llamado portavientos, por el que llega el aire del fuelle para salir por la canilla después de hacer vibrar la lengüeta, y frecuentemente, como modificador del timbre y de la intensidad, suele existir un tubo C.

En los tubos sonoros, el aire que viene del fuelle modificado en su tensión por el choque con el labio superior, o por la reacción elástica de la lengüeta, determina la vibración de la columna de aire del interior del tubo, en el que se producen una serie de condensaciones y dilataciones, según se ve introduciendo por medio de un hilo en un tubo sonoro abierto y que tiene una cara de cristal, un disco de vejiga con un poco de arena, y moviéndole a lo largo del tubo se notará el movimiento o el reposo de la arenilla, según que el disco se ponga en las zonas donde se originan por la vibración, vientres o nodos.

234. Modos y vientres en estos tubos. -Para fijar la posición de los nodos y vientres en estos tubos hay que tener en cuenta que el tubo es recorrido por dos ondas, una la directa y otra la reflejada en el extremo abierto o cerrado del tubo; de aquí que cada molécula de aire se encontrará animada simultáneamente de dos velocidades, que se sumarán si son del mismo signo, formando un vientre, o se anularán si son iguales y contrarias, determinando un nodo; según esto, la presión será variable en los nodos, mientras que permanece constante en los vientres, según se prueba experimentalmente con un tubo sonoro, provisto lateralmente de aberturas cerradas por válvulas (o adaptando a ellas cápsulas manométricas) y observando que si se abre la correspondiente a un nodo, se modifica el sonido, por alterarse la presión del aire interior al comunicar con la atmósfera, y si, al contrario, se abre el tubo al nivel de un vientre, no se altera el sonido, por ser en ese punto la presión constante.

En un tubo abierto existen dos vientres en los extremos, por comunicar con la atmósfera, y en el interior los vientres y los nodos estarán equidistantes; y en los cerrados habrá un vientre en la embocadura y un nodo (por inmovilizar la pared al aire) en el extremo cerrado.

235. Leyes de la vibración del aire en los tubos. -La vibración del aire en los tubos sonoros ha sido estudiada por Bernouilli, quien ha dado a conocer las leyes de esta vibración; las principales consecuencias deducidas por este autor han sido:

1.^a La altura de los sonidos producidos es independiente de la materia del tubo;

2.^a Esta altura varía en razón inversa de la densidad del aire, así como de la longitud para tubos de igual diámetro (de aquí que para producir las notas de la escala haya que usar tubos cuyas longitudes están en relación inversa de los intervalos musicales);

3.^a Un tubo cerrado produce el mismo sonido que otro abierto de doble longitud.

Respecto a la producción de sonidos armónicos, dedujo el indicado físico:

Que en los tubos cerrados se produce el sonido fundamental, y los armónicos crecen como los números impares, y

En los tubos abiertos, además del sonido fundamental, se originan armónicos que aumentan como la serie natural de los números.

236. Instrumentos músicos. -Se clasifican en instrumentos de cuerda, en los que la vibración se efectúa en cuerdas o membranas, e instrumentos de aire o de metal, por ser el aire el cuerpo en ellos vibrante y estar formados generalmente de metales.

En los de cuerda, ya cada una de éstas corresponde una nota solamente (piano, arpa), o ya da notas diferentes (guitarra, violín...), según se varía la parte vibrante (pisar las cuerdas) o su tensión (templar), o se empleen cuerdas de distinto diámetro y naturaleza, conforme a las leyes de vibración de las cuerdas.

En los instrumentos de aire vibrante, éste viene ya de un fuelle (órgano, harmónium) o de los pulmones humanos, yendo, en este caso, a tubos con orificios (flauta) o a tubos de lengüeta, en los que hacen función importante la lengua y los labios (clarinete, corneta, etc.).

237. Composición de los sonidos. Resonadores. -Prescindiendo de algunos sonidos que, como los de los diapasones y de los tubos de órgano, se consideran puros o sencillos, la generalidad de los sonidos que se emplean son compuestos del sonido fundamental, producido por el cuerpo vibrante, y los armónicos que se originan al mismo tiempo. De aquí la posibilidad de reforzar un sonido, sumándole con otros originados por vibraciones unísonas con el primero. A esto se debe el empleo de cajas sonoras en los instrumentos músicos, y el uso de los llamados resonadores (fig. 90), debidos a Helmholtz, que consisten en cuerpos cilíndricos o esféricos, huecos, de cristal o metálicos, con dos aberturas opuestas, una estrecha, adaptable al oído, y otra ancha, para recibir la vibración; cada resonador sólo refuerza los sonidos unísonos del que pertenece al aire que encierra; pero Koenig ideó hacerlos cilíndricos de dos partes, penetrable la una en la otra, con lo cual al variarse su volumen interior se podían reforzar diferentes sonidos.

Con los resonadores puede, según lo indicado, reconocerse los sonidos simples que forman un compuesto, es decir, hacer el análisis de éste.

Por medio de ingeniosos aparatos de bastante complejidad, ha realizado Helmholtz la síntesis de los sonidos compuestos.

238. Percepción de los sonidos. -El acto de percibir los sonidos se llama audición y se verifica por el oído; para esta percepción, las vibraciones transmitidas al aire por el cuerpo sonoro son recogidas por el pabellón u oreja, penetran luego en el conducto auditivo externo, reflejándose en sus paredes, y hacen vibrar la membrana del tímpano, cuya vibración se propaga por la cadena de huesecillos y por el aire del oído medio, mantenido a la presión normal por la existencia de la trompa de Eustaquio, al oído interno, en donde vibran entonces al unísono la peri y la endolinfa, transmitiéndose la vibración a los otolitos y a las fibras del órgano de Corti, con lo cual el sonido es llevado con sus cualidades al cerebro y convertido en sensación; los conductos semicirculares intervienen fijando la posición de la cabeza conforme a la orientación del sonido en el espacio (sentido de orientación).

El acto de escuchar supone poner en tensión el músculo del martillo, para que el huesecillo estribo toque a la ventana oval, cuyo contacto no existe de ordinario.

239. Fonógrafo: gramófono. -El fonógrafo es un aparato de impresión y reproducción de sonidos, debido al sabio Edison. Consiste el fonógrafo, en esencia, en un cilindro metálico que tiene un movimiento rotatorio uniforme por un sistema motor mecánico o eléctrico; a este cilindro se adapta otro formado por una pasta endurecida, o fonograma (primitivamente se recubría de una lámina de estaño), sobre el cual toca la terminación de un pequeño estilete unido a una lámina de mica que forma el fondo de un pabellón, al que se pone una bocina para reforzar la intensidad del sonido, o dos auriculares; el estilete, con la lámina y pabellón, constituyen el llamado diafragma, el cual se mueve uniformemente por el anterior motor, recorriendo así todo el fonograma.

Cuando en las proximidades de la bocina se produce un sonido, estando en función el aparato, se va marcando sobre el cilindro de pasta una traza sinuosa o huella correspondiente al sonido de que se trata, la cual queda grabada definitivamente en el cilindro y en disposición de reproducir la vibración y, por tanto, el sonido que originó esa traza, cuando, puesto el cilindro en el fonógrafo, se haga pasar el estilete por dicha traza a favor del movimiento del aparato.

El gramófono difiere esencialmente del fonógrafo en tener los cilindros reemplazados por discos en los que la traza forma una espiral, que es recorrida por el estilete, que puede ser una punta de acero o de zafiro.

Tanto uno como otro aparato son muy conocidos y presentan muchas modificaciones de detalle en su construcción, que conducen a su continuo perfeccionamiento.

Física del éter

Parte I

Termología

Capítulo I

Dilatación

240. Termología. -La termología es la parte de la Física que estudia los fenómenos del calor; el calor es el agente físico que produce en el sentido del tacto sensaciones características, llamadas vulgarmente de frío o de calor, determinando en los cuerpos cambios de volumen o de estado, y a veces descomposiciones químicas.

241. Naturaleza del agente calor. -El agente calor se considera actualmente como un modo de movimiento molecular transmitido por el éter, según vibraciones transversales, es decir, en planos normales a la dirección de propagación, dependiendo la energía calorífica de la fuerza viva desarrollada por las moléculas, cuya fuerza es proporcional al movimiento de éstas; esta teoría, a la que satisfacen todos los fenómenos de calor actualmente conocidos, forma la denominada teoría de las ondulaciones.

242. Dilatación de los cuerpos. -Todos los cuerpos por el calor se dilatan; es decir, aumentan de volumen, y por el enfriamiento se contraen, volviendo a su volumen primitivo; algunos cuerpos, por la acción del calor en las condiciones ordinarias, sufren alteraciones en su naturaleza y composición (papel, madera y carbón...).

La dilatación en los cuerpos sólidos se prueba con el anillo de Gravezende (fig. 91), que consiste en un soporte que sostiene una esfera metálica y un anillo, por el que pasa ésta ajustadamente en frío, no pudiendo hacerlo, a causa de haberse dilatado, cuando está caliente, a no ser que se caliente también el anillo, con lo cual se dilataría, aumentando por ello su diámetro.

En los líquidos se ve su dilatación calentando una esfera de cristal prolongada en un tubo estrecho y llena de un líquido coloreado, y observando cómo por el calor asciende el nivel del líquido en el tubo, y en los gases se comprobaría con un matraz lleno de aire que tiene un tubo capilar encorvado, en el que se coloca una gota de mercurio como medio limitante del aire exterior y del interior del globo, cuyo índice de mercurio marca la dilatación del gas interior por su ascenso en el tubo cuando se calienta el globo, aunque sea solamente con el calor de la mano.

243. Modos de dilatación; coeficientes. -El aumento de volumen que por la dilatación experimentan los cuerpos se verifica según las tres dimensiones de éstos, por lo cual esta dilatación, común a los cuerpos en sus tres estados, se denomina dilatación cúbica; pero aún se consideran en los sólidos otros dos modos de dilatación que se denominan dilatación superficial si se refiere solamente a la dilatación en dos de las dimensiones del cuerpo, y dilatación lineal si se considera sólo el aumento en el sentido de la longitud.

Para precisar la dilatación de los cuerpos y someterla al cálculo se ha establecido un coeficiente de dilatación, que, referido a las tres formas diferentes del fenómeno, se define diciendo que es lo que aumentan las unidades de longitud, superficie o volumen al pasar de 0° a 1° , admitiendo que este coeficiente es constante entre 0° y 100° .

244. Dilatación lineal en los sólidos. -En los cuerpos sólidos se consideran los tres modos de dilatación.

La dilatación lineal se determina empleando algunos aparatos, cual el llamado pirómetro de cuadrante (fig. 92), que consiste en dos soportes *c, c*, entre los que se sostienen horizontalmente las barras *A B* de los cuerpos cuya dilatación se va a estudiar; estas barras por un extremo *A* están fijadas a uno de los soportes *C*, y por el otro *B* van unidas a una pequeña palanca *B D*, articulada con una aguja *E* que se mueve sobre un arco graduado

090°; debajo de la barra existe un hornillo longitudinal de alcohol F, para que se aumente el calor de aquélla, con lo cual se dilata y empuja la aguja que se mueve sobre el arco graduado.

El coeficiente de dilatación lineal es una cantidad tan pequeña, que generalmente se expresa en la quinta o sexta cifra decimal, y se mide hallando la diferencia entre la longitud del cuerpo de que se trata a 0°, reducido a barra cilíndrica, y la longitud que tiene a un grado determinado de calor, y dividiendo esta diferencia por el producto de la longitud a 0° por la temperatura a que se calentó la barra; así: $\text{Coeficiente} = \frac{L_t - L_0}{L_0 \times t}$. Este procedimiento lo siguieron Laplace y Lavoisier, quienes calcularon los datos L_0 y L_t , empleando una especie de pirómetro y hallando este coeficiente para varios cuerpos; así, el del platino es igual a 0,0000087, el del hierro es 0,0000122, el del cobre 0,0000171, el de la plata 0,0000190, el del estaño 0,0000727...

Conocida la longitud de una barra a 0°, se calcula fácilmente la longitud que tendrá a t° cuando se conoce su coeficiente de dilatación lineal K, pues basta multiplicar la primera longitud por la expresión $(1 + Kt)$, llamada binomio de dilatación; porque, en efecto, si a 0° tenía una longitud L_0 , a t° tendrá $L_0 + L_0 Kt$ o sea $L_t = L_0(1 + Kt)$.

245. Dilataciones superficial y cúbica. -Los coeficientes de dilatación superficial y cúbica son sensiblemente iguales al duplo y triplo, respectivamente, del coeficiente lineal; es decir, que serán $2K$ y $3K$, a lo que se llega recordando que si se talla un cuerpo en forma de la unidad cuadrada o la unidad cúbica, y lo calentamos, siendo K el coeficiente de dilatación lineal, se convertirá dicho cuerpo en el cuadrado y en el cubo, que tienen por lado $1 + K$, o sea $(1 + K)^2$ y $(1 + K)^3$, y desarrollando estos binomios y despreciando por insignificantes las potencias de K, quedarán como aumentos $2K$ en el primer caso, y $3K$ en el segundo, según se había indicado.

246. Dilatación de los líquidos. -Como los líquidos hay que calentarlos en vasijas que también se dilatan por el calor, de aquí que tengan que considerarse en estos fluidos dos clases de dilatación: una, absoluta o real, referente sólo al líquido, independientemente de la dilatación de la vasija; y otra, aparente, que es la que tiene el líquido en la vasija que le contiene, y que también se dilata; de estas dos dilataciones, que tienen sus coeficientes respectivos, real y aparente, la dilatación absoluta es igual a la aparente, más la dilatación de la vasija, y permanece constante para cada líquido en iguales límites de temperatura, distintamente a lo que pasa en la dilatación aparente, que varía con la naturaleza de la vasija.

247. Coeficiente de dilatación del mercurio. -Siendo el mercurio un líquido tan usado en las operaciones físicas, precisaba en muchos casos el conocimiento de sus coeficientes de dilatación absoluta y de dilatación aparente en vasijas de vidrio, a los que se ha llegado por procedimientos ingeniosos de experimentación, que han permitido fijar, en $1/5.550$ el coeficiente absoluto, entre 0 y 100°, y entre estos mismos límites el coeficiente aparente para vasija de vidrio ordinario, que es de $1/6480$, siendo la dilatación del vidrio igual a $0,0000254$.

248. Coeficiente de dilatación absoluta. -El procedimiento seguido para determinar el coeficiente de dilatación absoluta del mercurio consiste, en esencia, en colocar el mercurio en dos vasos cilíndricos, unidos por un tubo horizontal, formando un sistema de vasos comunicantes; una de las ramas se rodea de hielo y por ello está a 0° , y la otra se calienta por un baño de aceite a una temperatura t° , con lo cual el líquido asciende en ella, comportándose como si el sistema de vasos tuviese dos líquidos diferentes.

Ahora bien; recordando lo indicado en la hidrostática y siendo h y d la altura y la densidad del mercurio en la rama a 0° y h_t y d_t , las de la otra rama a t_0 , se tendrá: $h/ht = dt/d$; pero se demuestra que las densidades de un cuerpo a temperaturas diferentes son inversamente proporcionales a los binomios de dilatación correspondientes a esas temperaturas, luego: $h/ht = 1/1+Kt$ y de aquí, $K = ht h/ht$; así se averigua $K = 1/5.550$

249. Coeficiente de dilatación aparente. -El coeficiente de dilatación aparente del mercurio fue determinado por los físicos franceses Dulong y Petit, valiéndose de un tubo de cristal terminado por un tubito capilar encorvado y abierto en un extremo, llamado termómetro de peso; se llena de mercurio estando a 0° , y la diferencia de peso entre el tubo vacío y lleno, da el peso P , del mercurio a 0° se lleva después el aparato a un horno de temperatura t° , y el mercurio que se vierte por la dilatación, se recoge y pesa en una capsulita; sea este peso p . Se vuelve el aparato a 0° , con lo cual se contrae el mercurio, dejando un vacío equivalente a la dilatación aparente del peso P_p del mercurio e igual al volumen ocupado por el peso p a 0° ; y como los volúmenes de un cuerpo son proporcionales a sus pesos, el peso p , de mercurio, representa la dilatación aparente del peso P_p de mercurio, a t° ; luego:

coeficiente $K_t = P/(P_p)t = 0,00015$.

250. Dilatación del agua. -Aunque en general los líquidos se dilatan con bastante regularidad, el agua es una excepción, pues calentada de 0 a 4° se contrae, para dilatarse después de los 4° , por lo que se dice que el agua tiene a los 4° centígrados su máximo de densidad correspondiente a su mínimo de volumen.

Se comprueba esto experimentalmente con el aparato de Hope (fig. 93), formado por una vasija cilíndrica que tiene exteriormente un depósito anular, M , para poner hielo, y en la que penetran horizontalmente dos termómetros, A y B , uno en la parte superior, A , que baja por el enfriamiento del agua de modo continuo, y otro inferior, B , que desciende bruscamente hasta llegar a 4° , en cuyo momento se estaciona, indicando que a dichos grados de calor el agua es cuando tiene mayor densidad.

Esta irregularidad en la dilatación del agua explica la flotación del hielo sobre el agua, permitiendo la vida de muchos animales marinos; la rotura de cañerías, vasijas y rocas al helarse el agua que tienen en su interior o sus grietas; el tomar la temperatura de 4° como típica para los pesos específicos; y algunos hechos más.

251. Dilatación de los gases. -Los cuerpos gaseosos son los que se dilatan más y con mayor regularidad, despreciándose en ellos, dada su pequeñez relativa, la dilatación de la vasija que los encierra.

Al estudiar la acción del calor sobre los gases hay que considerar dos casos principales: 1.º, que la presión sea constante, en cuyo caso los incrementos de temperatura producen aumentos de volumen o verdaderas dilataciones; y 2.º, que el volumen permanezca constante, determinando entonces los incrementos de temperatura aumentos en la fuerza elástica del gas.

Experimentos realizados primeramente por Gay Lussac y después por otros físicos, han permitido llegar a la determinación del coeficiente de dilatación de los gases, viéndose que si bien no es igual en todos ellos, según se dedujo primitivamente, es muy pequeña la diferencia de unos a otros, influyendo en él, aunque poco, la presión; el coeficiente de dilatación del aire, tomado como coeficiente medio de dilatación de los gases perfectos o que siguen la Ley de Mariotte, por estar muy lejos de su punto de liquefacción, es $1/273 = 0,00367$.

252. Aplicaciones de la dilatación. -Los efectos de la dilatación en los cuerpos sólidos deben tenerse en cuenta en las construcciones en que intervienen metales, como techos metálicos de edificios, emplazamientos de hornos y calderas, raíles de caminos férreos y tranvías; puentes metálicos...; úsase la dilatación para el preciso ensamblaje de las piezas en la construcción de cañones, en la colocación de las llantas sobre las ruedas, para producir grandes esfuerzos que a veces corrijan ligeros desplazamientos de los muros o de alguna piedra de las bóvedas, y para corregir los errores derivados de la variación de la longitud del péndulo con los llamados péndulos compensadores.

253. Péndulos compensadores. -Los más usados son de dos tipos diferentes.

El péndulo de Leroy (relojero francés) (fig. 94), formado por un bastidor o parrilla de diferentes barras metálicas, hierro y latón, generalmente, que soporta una péndola C, cuyas barras están calculadas y colocadas de modo que al dilatarse las de hierro, tratan de bajar la péndola, lo contrario que acontece a las de latón, que tratan de subirla en igual cantidad, determinando así la compensación.

Y el de Graham, en el que el péndulo lo forman uno o dos vasos con mercurio, sostenidos por la varilla de suspensión y un marco metálico, con lo cual las dilataciones del tallo son compensadas con las del mercurio, que se producen en sentido contrario a las de aquél.

En los cronómetros se realiza la compensación con láminas compensadoras, que son de metales diferentes y superpuestas, soldadas entre sí, las cuales se dilatan arqueándose en uno u otro sentido, con lo que se compensan.

La dilatación de los líquidos y gases se utiliza en los sistemas de calefacción y ventilación, siendo el fundamento de las correcciones barométricas, de la determinación de

la densidad de los cuerpos gaseosos, y muy especialmente de la construcción y uso de los termómetros.

253. Corrección barométrica. -Las lecturas barométricas hechas a distintas temperaturas y en diferentes lugares no son comparables si no se hacen determinadas correcciones que las refieran todas a 0°, para tener así la constancia de la presión ejercida por el mercurio; la corrección referente al mercurio se efectúa por la fórmula $H_0 = H_t / (1 + Kt)$, en la que H_0 y H_t representan las alturas del mercurio a los 0° y t°; $1 + Kt$ el binomio de dilatación para t grados, y K el coeficiente de dilatación absoluta del mercurio.

Se deduce esta fórmula de recordar que las alturas H_0 y H_t son proporcionales a los correspondientes binomios de dilatación, o sea: $H_0/H_t = 1/(1 + Kt)$, de donde: $H_0 = H_t/(1 + Kt)$, y esta corrección, ya calculada y unida a la que se establece para la dilatación de la placa de latón en que se suele marcar la escala milimétrica, se determina fácilmente en unas tablas de doble entrada para presiones y temperaturas.

Más sencillamente todavía puede hacerse la redacción a cero para presiones pequeñas, leyendo la altura barométrica en milímetros y restando de ella un número de milímetros igual a la temperatura multiplicada por 0,12.

254. Densidad de los gases. -Los caracteres especiales de los gases obligan a especificar, cuando se trata de hallar su densidad, las condiciones de temperatura y presión a que está el gas considerado; la densidad relativa se ha establecido con relación al aire, diciéndose que es la relación entre el peso de un volumen del gas y el de igual volumen de aire seco y puro en iguales condiciones de presión y temperatura, que generalmente son 0,760 metros y 0° centígrados, respectivamente; las pesadas necesarias para esta operación exigen manipulaciones delicadas, y por este procedimiento se ha llegado a deducir el peso de un litro de aire seco a 0° y 760 milímetros de presión, que es igual a 1,29 gramos.

Capítulo II

Termometría

255. Termómetros. -Los termómetros son aparatos destinados a medir la temperatura de los cuerpos, fundándose, por lo general, en el aumento de volumen que experimentan determinadas sustancias, llamadas termométricas, apreciado en divisiones convencionales hechas en el aparato.

256. Sustancias termométricas. -Para que los cuerpos usados como sustancias termométricas llenen las condiciones del fin a que se destinan, han de ser de dilatación regular y grande y muy sensibles al calor; condiciones que reúnen especialmente los cuerpos gaseosos, por lo que se consideran como los mejores medios termométricos, aunque lo incómodo de su empleo los hace poco prácticos, y se reservan únicamente para la termometría de precisión, empleándose ordinariamente los cuerpos líquidos, que aunque

cumplen bastante bien con las condiciones dichas, son menos precisos, por la dilatación de la vasija continente, que, como todos los sólidos, se dilata poco e irregularmente; pero resultan de uso muy cómodo, y lo bastante exactos para los fines comunes.

257. Temperatura. -La temperatura es el efecto que el calor de un cuerpo produce en el sentido del tacto o sobre otros cuerpos. Como un cuerpo, por el contacto con otros, se caldea o se enfría, aumentando o disminuyendo su calor, lo que supone elevar o descender su temperatura, de aquí que para muchos físicos temperatura es la cantidad de calor que un cuerpo cambia con los otros con quienes se pone en contacto, diciéndose que dicho cuerpo está caliente o está frío, con relación a los otros, si los cede calor o, contrariamente, toma este agente de ellos.

258. Termómetro de mercurio; su construcción. -Los líquidos más convenientes para sustancias termométricas son el mercurio y el alcohol coloreado y, excepcionalmente, el tolueno, éter de petróleo, etc.

Para construir un termómetro de mercurio se toma un tubo de cristal capilar y bien calibrado (lo que se ve si paseando por él una pequeña columna de mercurio, tiene ésta siempre la misma longitud en todas las porciones del tubo), y se suelda en su extremo un depósito de paredes delgadas y mayor diámetro que el tubo, pasando después a llenarlo del líquido termométrico.

Para introducir el mercurio se sopla en el extremo abierto una especie de ampolla terminada en punta, y se calienta el tubo, introduciéndolo a continuación, repetidas veces, en un depósito de mercurio puro y frío, a fin de que por la presión atmosférica vaya pasando éste a la ampolla, para que después, calentando el depósito, descienda a éste hasta que quede lleno el aparato, en cuyo caso se hace hervir el mercurio en un hornillo inclinado, y se tiene construido el termómetro, restando sólo separarla ampolla y cerrar el tubo, a la lámpara de esmaltar, por una zona superior a la que llegó el mercurio al calentarlo a temperaturas superiores a las máximas que ha de apreciar.

259. Graduación del termómetro. -Para hacer esta graduación y que todas las indicaciones de los termómetros sean comparables, se establecen puntos fijos, o sean los puntos fundamentales, los cuales se marcan metiendo el termómetro en una vasija que tiene hielo fundente, el uno, y señalando con un diamante el punto en que se detiene la columna termométrica, y sometiendo el aparato a la acción del vapor de agua en una vasija (figura 95) adecuada, el otro, marcando, como anteriormente el punto en que se detiene el mercurio del tubo; y establecidos estos dos puntos fundamentales, correspondientes a la fusión del hielo y al vapor de agua hirviendo a la presión normal, se divide el espacio entre ellos en partes iguales, llamadas grados, que se graban en el vidrio o en reglas metálicas que acompañan al aparato.

260. Escalas termométricas. -El conjunto de las divisiones de un termómetro forma la llamada escala termométrica, existiendo tres tipos de escalas de uso corriente (fig. 96); tales son:

La de Celsius o centesimal, que tiene en los puntos fundamentales el 0 y el 100, respectivamente, y está dividido el espacio que media entre ellos en cien partes iguales, continuando luego la división por fuera de este espacio.

La de Reaumur marca los puntos fundamentales con el 0 y el 80, dividiendo este espacio en 80 partes iguales; y

La de Fahrenheit que señala los puntos fundamentales con el 32 y el 212, dividiendo este espacio en ciento ochenta partes iguales; el 0 de esta escala corresponde a una mezcla frigorífica de nieve y nitrato amónico; las dos primeras son propias de los países latinos, y la última de Inglaterra y América.

Como la graduación se continúa por bajo del 0, de aquí que existen grados que se expresan diciendo sobre y bajo cero, que se representan (los centesimales con la abreviatura de un pequeño cero a modo de exponente) sin signo alguno para los primeros y con el signo menos, delante de los grados bajo cero; ejemplo: 5° ; 25° ; -5° ; -12° ...

La proporción existente entre los grados de estas escalas permite fijar el valor del grado en cada una con relación a las otras dos; así:

$1^{\circ} = 5/4 R = 5/9 F$; $1R = 4/5 C = 4/9 F$ y $1R = 9/5 C = 9/4 R$, cuyas igualdades dan el medio de pasar fácilmente de una graduación a otra, debiendo tener presente que en estas operaciones tendrá que agregarse o restarse al resultado 32, cuando se pase a Fahrenheit o, por el contrario, se pase de ésta a una de las otras dos escalas.

261. Termómetro de alcohol. -Este termómetro de mercurio, muy útil para temperaturas elevadas, puesto que dicho líquido no hierve hasta 360° , es poco conveniente para temperaturas bajas puesto que se solidifica a -39° , 5, empleándose en este caso más ventajosamente el termómetro de alcohol coloreado (el color hace más visible la columna), en el que si bien el líquido alcohol hierve a poca temperatura, 78° centígrados, por el contrario, hasta los -100° no empieza a espesarse.

262. Termómetros de sólido y de gases. -Aunque los sólidos tienen poco valor como sustancias termométricas, algunos metales reducidos a cintas se dilatan regularmente, y con ellas se construyen termómetros; tales son el llamado de cuadrante, formado por dos láminas de acero y latón, superpuestas y arrolladas en curva, que, al dilatarse, mueven una aguja sobre un limbo graduado por comparación, y el denominado termómetro de Breguet, constituido por una espiral formada de tres láminas superpuestas de plata, oro y platino, o sea en el orden de mayor a menor dilatabilidad, colocada verticalmente y fija por un extremo, llevando en el otro una aguja movable sobre un limbo horizontal graduado.

La dilatabilidad de los gases sirvió de base al llamado termómetro diferencial de Leslie (fig. 97), formado por un tubo de cristal doblemente acodado en U, con sus ramas verticales terminadas en dos esferas y graduadas a partir de su mitad, donde se marca el 0; el líquido, generalmente alcohol o ácido sulfúrico coloreados, que se coloca en el interior, sube por una de las ramas al dilatarse por el calentamiento el aire de la otra esfera.

Este aparato se ha modificado por Rumford, aumentando el diámetro de las esferas, disminuyendo las ramas verticales y reemplazando el líquido interior por un pequeño índice de mercurio, que se desplaza en la rama horizontal, y aun puede recogerse en un pequeño tubo lateral, que permite su rápido enfriamiento de uno a otro experimento; este aparato se dice termoscopio de Rumford.

263. Cero absoluto. -Para determinaciones muy exactas se emplean termómetros de gases, ya de hidrógeno, ya de aire, en los cuales pueden apreciarse temperaturas extremadas y también, graduados convenientemente, permiten fijar las temperaturas absolutas, o sean las que se cuentan a partir del cero absoluto, que es una temperatura límite, para la cual se admite la ausencia completa de calor y, por lo tanto, la falta de vibración molecular y de fuerza elástica en los gases; este cero absoluto corresponde a los -273° centígrados, pues recordando que cada grado de calor varía la presión de un gas a volumen constante $1/273$, quitando a ese gas 273° su presión disminuirá $273/273$, o sea la unidad, y, por tanto, desaparecería por completo esa presión o fuerza elástica; las temperaturas a partir de este -273° centesimal o cero absoluto, en correspondencia con los centesimales, forma las temperaturas absolutas del termómetro de aire, las cuales se obtienen agregando a los grados del termómetro centesimal 273° o -273° según que los primeros sean sobre o bajo cero; este termómetro es teóricamente exacto.

264. Termómetros de máxima y de mínima. -Son aparatos destinados a marcar las temperaturas máxima o mínima de un lugar en un tiempo determinado.

Entre los muchos modelos existentes de estos termómetros merecen citarse por ser muy comunes, los de Rutherford (fig. 98), uno de mercurio que es el de máxima, con un índice de acero que sube empujado por el mercurio, sin que le arrastre al contraerse éste, por no mojar al índice, y marcando por el extremo que toca a este líquido la máxima temperatura, y otro de mínima B que es de alcohol, con un índice de esmalte, quedándose fijo y marcando con ello la menor temperatura, por meterse el alcohol, al ascender, entre el tubo y el índice; ambos termómetros se colocan en la misma tabla y con los depósitos invertidos, para facilitar la preparación simultánea de los dos, haciendo que por un ligero golpe baje el índice del de máxima y suba el de mínima.

El termómetro de Six y Bellani (fig. 99), es a la vez de máxima y mínima, y consiste en un tubo de cristal, encorvado en U, que contiene mercurio y encima algo de alcohol que llena la terminación de la rama izquierda, y la ampolla de cristal en que termina la rama derecha: cada rama lleva en su interior un índice de acero con un resorte finísimo que le sujeta al tubo; por la acción del calor se dilata el alcohol y empujando al mercurio le hace subir por la rama derecha, lo mismo que a su índice, que marca así la temperatura máxima, sin que pueda descender, por impedírselo el resorte; y si el calor disminuye, el alcohol se contrae y hace subir al índice en la rama izquierda, que marca con ello la temperatura mínima; se prepara el aparato bajando con un imán los índices hasta que toquen con el mercurio.

265. Termómetro clínico. -El llamado termómetro clínico, por su uso, es un termómetro de máxima muy sensible, en el que el índice es una columna de mercurio, separada del resto por un estrechamiento del tubo capilar, en cuyo estrechamiento se rompe la columna

termométrica; dado su fin, está sólo dividido de 34 a 44° próximamente, si bien estos grados, por la capilaridad del tubo, son de longitud y aparecen subdivididos en décimas; para su funcionamiento se prepara sacudiéndolo ligeramente para que baje el índice, y luego se coloca en la boca o en la axila del paciente, teniéndole unos seis minutos, tiempo suficiente para que marque la temperatura máxima buscada.

266. Pirómetros. -La temperatura de los hornos y grandes focos de calor no permite el empleo de los termómetros, por reblandecerse el vidrio a unos 300° y entonces se recurre a los pirómetros, que dan indicaciones aproximadas, pero suficientes en la práctica, de estas elevadas temperaturas; entre estos aparatos pueden citarse el de Wedgwood (fig. 100), fundado en la contracción, cada vez mayor, que experimenta un cilindro de arcilla C sometido a temperaturas crecientes (debido, al parecer, a un principio de vitrificación), cuya disminución de volumen permite que penetre más y más entre unas reglas metálicas de bordes graduados, colocadas separadamente en un plano, y cuya distancia de separación disminuye de un extremo a otro; el 0 de este aparato corresponde a los 5000 y cada división de las barras a 72 centígrados.

El pirómetro de Brongniart es de cuadrante y consiste en una barra de plata, protegida por una cubierta de tierra o porcelana, que se mete en el horno, y la dilatación del extremo que queda fuera mueve una aguja sobre un limbo graduado por comparación.

En algunas fábricas usan termómetros de gases con tubo de porcelana refractaria, que resisten de 1.000 a 1.500°.

Capítulo III

Cambios de estado de los cuerpos

267. Fusión. -Es el tránsito de un cuerpo del estado sólido al líquido por la acción del calor; los cuerpos son fusibles a temperaturas muy diferentes, salvo algunos que se descomponen por esta acción (papel, carbón). Los cuerpos que resisten a la fusión se dicen refractarios.

La fusión está sometida a dos leyes principales:

1.^a Cada cuerpo se funde, bajo la misma presión, a una temperatura constante, que se llama su punto de fusión, cuando la presión es la normal; este punto varía entre límites muy grandes; así, mientras el mercurio funde a -39° y el hielo a 0°, el iridio lo hace a 2.800°.

2.^a Mientras dura la fusión de un cuerpo, su temperatura no varía, cualquiera que sea la cantidad de calor que se suministre al cuerpo, empleándose este calor en el trabajo intramolecular, y se dice calor latente o de fusión. Esta ley es el fundamento de la formación de baños sólidos de temperatura constante, como los de sebo y estearina, usados en las fábricas de bujías.

268. Disolución. -Es la unión íntima de dos o más cuerpos, de los cuales uno, por lo menos, es líquido, para formar un todo homogéneo, y también líquido. La disolución referida a los cuerpos sólidos indica su analogía con la fusión, pudiéndose establecer como diferencia que mientras en esta fusión el calor que ha de producir el cambio de estado proviene de un manantial externo, en la disolución ese mismo trabajo es producido, todo o parcialmente, a expensas del calor del líquido disolvente.

La cantidad de un cuerpo sólido soluble en un líquido es variable con la naturaleza del disolvente, y sobre todo con la temperatura, y cuando el disolvente ha disuelto la mayor cantidad del cuerpo, se dice que está saturado, variando esta cantidad, en lo general, en el mismo sentido de la temperatura, por lo que habrá soluciones sobresaturadas, con relación a la saturación obtenida a la temperatura normal. Estas variaciones de la saturación con la temperatura y un determinado disolvente pueden mostrarse en curvas o gráficas de fácil construcción.

269. Mezclas frigoríficas. -Como en las disoluciones en frío el fenómeno se verifica a expensas del calor del disolvente, de aquí que se produzca un descenso de temperatura en la disolución, que puede utilizarse industrialmente cuando es de alguna importancia; este es el fundamento de las mezclas frigoríficas, entre las cuales es muy conocida la del hielo y la sal común, que puede producir hasta -20° ; también son utilizadas, entre otras, las del nitrato amónico con hielo, en proporciones convenientes, que produce -32° , o sea el 0 del termómetro Fahrenheit; la del hielo y cloruro de calcio, que da -50° , y otras varias; algunas mezclas frigoríficas son de uso doméstico, utilizándose en máquinas heladoras de fácil y cómodo empleo.

Cuando en la disolución hay fenómeno químico, se produce desprendimiento de calor, simultáneamente con la absorción del mismo, y el efecto exterior del fenómeno es distinto, según predomine uno u otro calor, regulándose este efecto por las proporciones de la mezcla, que han de estar en la relación necesaria para que el calor absorbido se origine en mayor cantidad que el producido por la reacción química.

270. Solidificación. -Este fenómeno, inverso de la fusión, consiste en el paso de un cuerpo del estado líquido al sólido, y obedece a análogas leyes, que son: 1.^a, cada cuerpo, a determinada presión, se solidifica a una temperatura constante, que es su punto de solidificación; este punto es el mismo que el de fusión; 2.^a, durante la solidificación, la temperatura del cuerpo permanece fija, desprendiéndose al espacio el calor que se había absorbido al tomar el indicado cuerpo el estado líquido.

271. Cambio de volumen por la fusión y solidificación. -Influencia de la presión. -Todos los cuerpos aumentan de volumen al fundirse, y disminuyen al solidificarse, excepción de algunos, como el bismuto, antimonio, fundición de hierro, y agua, según se indicó ya para este último al hablar de su dilatación.

La presión influye sobre los anteriores cambios de estado; así, para la generalidad de los cuerpos que aumentan de volumen por la fusión, el punto de fusión se eleva con la presión, por oponerse ésta al aumento de volumen del cuerpo, y en los que por excepción al fundirse

disminuyen de volumen, el punto de fusión baja al subir la presión, pues ésta favorece la disminución del volumen.

Estas variaciones, en general muy pequeñas, se realizan igualmente en la solidificación.

272. Surfusión. Rehielo. -La surfusión es una excepción a las leyes de la solidificación, que consiste en un retardo en la temperatura de esta solidificación, motivada por la ausencia de aire, o por el reposo de la masa líquida, o por la presencia de sustancias extrañas, o por exceso de presión..., etc., pudiéndose experimentar con el agua que, puesta en un tubo sin aire o en un tubito capilar, permanece líquida a 0° , que es el punto de su solidificación o congelación, y especialmente se ve este fenómeno, según ha experimentado Gernez, con el fósforo blanco, que fundido en toda su masa a 44° , si se deja enfriar en reposo y dentro de un tubo, podrá enfriarse hasta 30° sin que se solidifique: en estos casos el movimiento, por pequeño que sea, produce rápidamente la solidificación de los cuerpos fundidos, elevándose bruscamente la temperatura hasta el punto de solidificación.

Como efecto de la acción que la presión ejerce sobre los cuerpos, está el hecho vulgarmente experimentado del rehielo o regelación, consistente en la plasticidad del hielo, que permite unir entre sí fragmentos de este cuerpo por simple compresión; este fenómeno, estudiado por Tyndall, depende de que el hielo comprimido no funde hasta -20° , y tiene gran interés en el movimiento de los glaciares y en la formación de las masas de nieve.

273. Cristalización. -Es la solidificación, en el caso de que el cuerpo solidificado tome formas geométricas, llamadas cristales, cuyo estudio corresponde especialmente a la ciencia cristalográfica.

La cristalización de los cuerpos exige dos condiciones principales: 1.^a, disgregación o separación de las moléculas del cuerpo; y 2.^a, agrupación subsiguiente bajo la forma regular; lo primero se realiza, o bien por el calor, fundiendo el cuerpo, o convirtiéndole en vapor (sublimación), o bien por los disolventes; de aquí la división en cristalización por vía seca y por vía húmeda; la segunda condición se practica en la vía seca, dejando enfriar el cuerpo y rompiendo la costra sólida formada para verter el líquido y recoger los cristales que están en el fondo (azufre), o recogiendo los vapores sobre cuerpos fríos adecuados (alcanfor); y en la vía húmeda, evaporando el disolvente, ya espontáneamente (sal común), ya por intermedio del calor, debiendo siempre existir, para que se formen bien los cristales, las tres condiciones de tiempo, espacio y reposo.

Como ejemplos de cristalización pueden citarse: por el calor, la del azufre, plomo, alcanfor, ácido benzoico, etc.; y por los disolventes: la de la sal en las salinas, la del salitre, del azufre en el sulfuro de carbono...

274. Vaporización. -Es el paso de un cuerpo del estado líquido al gaseoso, dándose el nombre de vapores a los fluidos que se producen en este fenómeno.

Algunos cuerpos tienen la propiedad de emitir vapores a todas las temperaturas, y se llaman volátiles, habiendo algunos que se vaporizan por completo (alcohol, éter), y se dicen muy volátiles, al paso que otros sólo emiten pequeñas cantidades de vapores, por lo que se

consideran como poco volátiles (mercurio); existiendo, finalmente, algunos que no emiten a la temperatura ordinaria vapores observables, y éstos se llaman cuerpos fijos (ácido sulfúrico, aceites).

La vaporización se realiza de dos modos diferentes: o bien los vapores sólo se producen en la superficie del líquido y a temperatura inferior a una fija para cada cuerpo, en cuyo caso se llama evaporación, o bien se originan en toda la masa, a partir de una temperatura determinada, y entonces se denomina ebullición.

275. Caracteres de los vapores. -Los vapores que se originan en la vaporización se reparten por el espacio, teniendo para ello que vencer la resistencia que opone la atmósfera, y obedeciendo a las leyes siguientes:

1.^a En el vacío los vapores se forman instantáneamente; es decir, que todos los cuerpos líquidos en el vacío pasan instantáneamente a vapor. Esto se prueba con el aparato de Dalton(fig. 101), formado por cuatro tubos convertidos en barómetros de mercurio A, B, C, D, e invertidos sobre una cubeta con mercurio; si en los tubos, B, C y D, se introducen por medio de una pipeta curva unas gotas de agua en el primero, de alcohol en el segundo, y de éter en el tercero, se observará que estos líquidos se evaporarán instantáneamente al llegar a la cámara barométrica, y el mercurio de cada tubo descenderá una cierta cantidad, que puede apreciarse en relación con el primer tubo que se ha dejado como barómetro de comparación; si se continúa la introducción de los mismos líquidos en los tubos, las nuevas porciones líquidas se evaporarán y el mercurio descenderá algo, nuevamente, en cada tubo, hasta llegar un momento en que el líquido introducido no se evapora, quedándose sobre el mercurio, y la columna de éste ya no desciende más, o sea que el vapor del tubo tiene el máximo de su fuerza elástica; entonces se dice que el espacio vacío del tubo está saturado de ese vapor, que, por tanto, es saturante. Si en estas condiciones calentamos los tubos, vuelven a vaporizarse nuevas cantidades del líquido que estaba sobre el mercurio, y éste desciende también algo más en los tubos; de todo lo cual se deducen las siguientes leyes:

2.^a A una misma temperatura, los vapores de los diferentes líquidos tienen fuerzas elásticas distintas.

3.^a Para una temperatura dada, la fuerza elástica del vapor saturante de un espacio es constante.

4.^a Esta fuerza elástica máxima de los vapores saturantes aumenta con la temperatura.

276. Influencia de la presión sobre los vapores. -Si en un tubo barométrico se satura el espacio con vapores de éter, para lo cual se introduce hasta que quede alguna cantidad de este líquido sobre el mercurio, y se sumerge el tubo hasta su mitad en el barómetro de cubeta profunda, midiendo la altura del espacio que ocupa el vapor de éter y la de la columna del mercurio que está por encima del nivel de este líquido en la cubeta, se observará que al introducir más o al elevar el tubo, el espacio ocupado por el vapor de éter disminuirá en el primer caso, y aumentará en el segundo a expensas, respectivamente, del nuevo líquido que se evapora o del vapor que se liquida; pero en ambos casos la altura del mercurio permanece constante en el tubo, lo que indica que las variaciones de presión

producen la vaporización de nuevas cantidades del éter o la liquidación de parte del vapor saturante, pero sin variar nunca la fuerza expansiva de esos vapores, que, por lo tanto, no satisfacen a la indicada ley de Mariotte.

Si en el experimento anterior el espacio no estuviera saturado, al elevar el tubo en el barómetro de cubeta profunda, este espacio ocupado por el vapor de éter se aumentaría; y como el vapor se dilata, habrá disminución en la fuerza elástica del mismo, por lo que el mercurio subirá algo en el tubo, sucediendo lo contrario si el tubo se sumergiese hasta que llegase un momento en que el espacio que va disminuyendo se saturase, pues el vapor del éter se iría comprimiendo y aumentando su fuerza elástica, haciendo bajar algo la columna del mercurio, hasta que llegase a su máximo de compresión, convirtiéndose en este caso en vapor saturante del espacio y obedeciendo entonces a lo indicado anteriormente.

De esto se deducen otras dos leyes, que son:

5.^a La fuerza elástica de los vapores saturantes a una temperatura dada representa la tensión máxima de los vapores y es independiente de la presión.

6.^a Los vapores no saturantes obedecen a la presión, variando el volumen en razón inversa de ésta y pudiendo llegar a convertirse en saturantes por dicha presión.

Como lógica consecuencia de lo indicado se deduce que los vapores saturantes de fácil liquidación no siguen la ley de Mariotte, lo contrario que los vapores no saturantes; y que la diferencia entre gases y vapores es puramente relativa, puesto que los gases son vapores no saturantes, o que están muy lejos de su punto de liquefacción.

277. Tensión máxima del vapor de agua. -Como la tensión de un gas, según demostró Dalton, es la misma en el vacío que en el seno de otro gas, variando únicamente la lentitud de la evaporación, que es mayor en este segundo caso, la tensión del vapor de agua en la atmósfera es la misma que en el vacío, y la tensión de la mezcla de aire y vapor de agua es igual a la suma de las tensiones de cada cuerpo, considerados como si estuviesen solos en el espacio.

Conocido el importante papel que desempeña el vapor de agua en las calderas de las máquinas de vapor, se comprende el interés que tiene el conocer la tensión máxima de dicho vapor a diferentes temperaturas.

Estas distintas tensiones han sido calculadas experimentalmente valiéndose de aparatos adecuados, por varios físicos, llegándose así a conocer que esta tensión a 100° es igual a la de la atmósfera, sucediendo lo mismo con todos los líquidos a la temperatura de su ebullición, y que va aumentando, según ya se ha indicado, con la temperatura.

278. Principio de Watt. -El estudio de los vapores permitió a Watt enunciar un principio de gran aplicación para las calderas de vapor, llamado principio de Watt, o de la pared fría, que se enuncia diciendo: si dos vasijas en comunicación tienen un vapor saturante a diferente temperatura en ambas, la tensión de este vapor es la misma en las dos vasijas, e igual a la que corresponde a la temperatura más baja.

279. Evaporación. -Es la producción de vapores en la superficie del líquido y puede producirse espontáneamente o por el auxilio del calor; a este fenómeno se debe que si se deja en el aire un líquido volátil, disminuye hasta desaparecer, y si se dejase en un recinto limitado, cesaría la producción de vapores cuando dicho recinto se saturase.

La evaporación se favorece por diversas circunstancias de todas conocidas, y que son: aumentando la temperatura, haciendo mayor la superficie de evaporación, aumentando el estado de sequedad y agitación del aire y disminuyendo la presión exterior; estas circunstancias se tienen en cuenta en el modo de secar las ropas y los pavimentos, en la extracción de la sal en las salinas, en la cristalización y en otros hechos conocidos.

Como la evaporación supone trabajo, que exige calor, de aquí que los cuerpos, al evaporarse, produzcan enfriamiento, según se experimenta vulgarmente al mojarse con líquidos volátiles; en el uso de los riegos y de los botijos, en el empleo de los baños, el cubrir las vasijas con lienzos mojados, el efecto regulador térmico del sudor, etc., y con el curioso experimento de Leslie, que consiste en colocar en la máquina neumática una cápsula con agua sobre otra que tiene ácido sulfúrico (destinado a tener seca la atmósfera, absorbiendo los vapores del agua), y después hacer el vacío, con lo que la evaporación de parte del agua producirá un frío tan intenso, que congelará el resto de la masa de dicho líquido; en esto se funda una máquina heladora debida al constructor francés Carré y de uso bastante general.

280. Sublimación. -Sublimación es el paso directo de un cuerpo del estado sólido al de vapor, llamándose a los cuerpos que verifican este fenómeno sublimables, pudiendo citarse, entre ellos, el alcanfor, arsénico, naftalina y la generalidad de las substancias olorosas.

281. Ebullición. -Es el paso de un líquido a vapor por la acción del calor, originándose los vapores en toda la masa líquida.

Si se calienta una vasija con agua, se forman en el fondo unas burbujas, que al llegar a la superficie se rompen, por estar ésta fría; pero continuando la acción del calor, se calienta la superficie y las nuevas burbujas formadas se elevan, aumentando de volumen, atraviesan la superficie, que ya se ha calentado, y salen al exterior, empezando entonces la verdadera ebullición (el romper a hervir del vulgo); durante estos fenómenos se produce un ruido especial, llamado canto del líquido.

282. Leyes de la ebullición. -1.^a Cada líquido, en las mismas condiciones, hierve a una temperatura constante; esta temperatura, a la presión normal, se llama punto de ebullición, y es la temperatura necesaria para que el vapor producido tenga una tensión que venza a la presión que soporta.

2.^a Mientras dura la ebullición, la temperatura permanece constante (en esto se funda el baño de maría y el hecho de que no se destallen por el calor las vasijas cuando contienen un líquido).

El calor que durante la ebullición recibe el líquido se emplea en el trabajo de vaporización, y se denomina calor de vaporización.

Las circunstancias modificativas de la ebullición son:

La naturaleza del líquido y de la vasija que lo contiene, puesto que los líquidos hierven más pronto en vasijas metálicas que en las de barro o vidrio.

La presencia de burbujas gaseosas en la masa del líquido, dificultándose la ebullición si faltan estas burbujas, y facilitándose si están abundantes, como cuando se echan en el líquido fragmentos pequeños de un cuerpo, que siempre llevan aire adherido.

La disolución de sales, que retrasa el fenómeno, según sucede en el agua de mar, que no hierve hasta 109°.

La mezcla con sustancias volátiles, que facilitan la ebullición, como acontece en los líquidos hidroalcohólicos, que hierven a temperatura inferior a la de ebullición de agua, y

La presión, que según aumente o disminuya, así elevará o hará descender la temperatura de ebullición.

Este efecto de la presión se prueba en la facilidad con que hierven los líquidos en el aire enrarecido de la máquina neumática y con el experimento de Franklin, que consiste en hervir agua en un matraz y poner luego éste invertido en una vasija con el mismo líquido, con lo cual, al echar agua fría sobre la parte superior del matraz, se disminuye la presión interior, por condensarse con el enfriamiento los vapores que habla, y el líquido interior rompe a hervir; y los efectos del aumento de presión se observan en la llamada marmita de Papin (fig. 102), que es una vasija de bronce, C, con tapa del mismo metal, sujeta por un tornillo de presión, B, y provista de válvula de seguridad, S, en la que puede calentarse el agua a mucho más de 100° sin que llegue a hervir, lo que facilita el reblandecimiento de algunas sustancias, como los huesos, por la acción del calor y el agua.

283. Hipsómetro. -Este aparato, como su etimología, indica, sirve para medir alturas en la superficie terrestre, teniendo en cuenta la temperatura de ebullición del agua en los distintos lugares de la Tierra, a causa de su diferente presión atmosférica.

Consiste, sencillamente, en un depósito metálico donde se pone el agua que se calienta con una lamparilla de alcohol, y sobre este depósito hay un tubo metálico en el que se coloca un termómetro de precisión, el cual, al ser rodeado por los vapores de agua, marca la temperatura de ebullición de este líquido; si con este aparato se conoce la temperatura de ebullición del agua en la base y en la cúspide de una montaña, por ejemplo, la diferencia entre estas dos temperaturas, multiplicada por 300, dará en metros, con bastante aproximación, la altura de la montaña.

284. Calefacción de líquidos. -La ebullición demuestra la necesidad de superficies gaseosas interiores al líquido para que éste hierva, según se ha visto también en varios

experimentos, deduciéndose de esta necesidad un medio de calentar los líquidos a elevada temperatura sin que hiervan, que es lo que constituye la calefacción de líquidos.

Si sobre una plancha enrojecida se echan unas gotas de un líquido, éstas se disponen en esferas, pero sin hervir; este fenómeno, llamado estado esferoidal, fue estudiado por Boutigní, quien probó que el líquido tenía entonces una temperatura inferior a la de su ebullición y no estaba en contacto con la plancha, de la que le aislaba una capa de vapor del líquido, por lo que en el momento en que la plancha se enfriaba, el líquido se ponía en contacto y entraba bruscamente en ebullición. La falta del contacto citado se demuestra con el hecho de observarse una luz al través del espacio que media entre la plancha y la gota, o empleando como metal la plata y como líquido el ácido nítrico, y observando que no hay ataque del ácido al metal.

Este fenómeno fue observado primeramente por Leidenfrost en 1756, y de aquí que a las esferas se los llamo gotas de Leidenfrost, y para producirlo se usó por Boutigni una lámpara que originaba mucho calor, a causa de aumentarse la intensidad de la llama con vapores de alcohol; a esta lámpara se denominó lámpara eolípila.

Estos fenómenos explican ciertos hechos frecuentes, como la costumbre de tocar con los dedos húmedos para ver si un cuerpo está muy caliente; las explosiones de las calderas cuando, teniendo muy poca agua, se agrega este líquido, o cuando las paredes están incrustadas por sales calizas; el fenómeno de la producción de hielo, si se echa agua sobre ácido sulfuroso líquido, puesto en una cápsula de platino enrojecida, y otros varios.

285. Liquefacción de vapores. -Los vapores suficientemente enfriados vuelven al estado líquido, o, como se dice también, se condensan; el mismo efecto se conseguiría con la presión. Los vapores, al licuarse, devuelven el calor latente de vaporización, o sea el que absorbieron para pasar al estado de vapor.

Esta liquefacción se aplica en la destilación, que es una operación por la cual se separan las sustancias fijas de las volátiles y éstas entre sí, teniendo en cuenta que ofrecen distinto punto de ebullición.

El aparato industrial para la destilación se llama alambique (fig. 103), y consta de una caldera metálica o cucúrbita C, tapada por una cubierta también de metal o capitel B, que tiene un tubo algo inclinado T, que se une a otro vertical y de forma espiral, llamado serpentín D, que está metido en una vasija con agua, refrigerante, cuyo líquido debe estarse renovando continuamente para evitar que se caliente con el calor que desprenden los vapores al alicuarse; para operar con este aparato se pone el líquido en la cucúrbita y se hace hervir; los vapores producidos se acumulan en el capitel y marchan por el tubo inclinado al serpentín, en el que se condensan, recogándose el líquido producido por un tubo inferior de salida.

Si los vapores producidos se van recogiendo a medida que el líquido adquiere determinadas temperaturas, entonces se practica una destilación fraccionada, que permite separar entre sí los distintos líquidos volátiles que forman el líquido destilado.

El alambique es muy usado en la purificación del agua (agua destilada); en la fabricación de esencias, en la de aguardientes, etc.

286. Liquefacción de gases. -Estos cuerpos se liquidan también por la presión o el enfriamiento, y por ambos medios simultáneamente.

Esta liquefacción es una consecuencia de la analogía entre gases y vapores ya citada, en virtud de la cual estos gases por la presión o el enfriamiento se convertirían en vapores, los cuales se liquidan, según se acaba de indicar.

Para los gases fácilmente liquidables bastan presiones sencillas, como se practica en el tubo de Faraday (figura 104), que es un tubo encorvado y cerrado en el que se produce en una de sus ramas un gas, por ejemplo, el gas carbónico, el cual se va acumulando en la otra rama y, por lo tanto, comprimiéndose hasta llegar a liquidarse, si se ha auxiliado esta acción con el frío de una mezcla frigorífica; pero para otros gases, el hidrógeno, oxígeno, etc., tenidos antes como permanentes, hacen falta grandes presiones y temperaturas muy bajas, lo que exige aparatos especiales bastante complejos, como los construidos para este fin por los físicos Pictet y Cailletet

287. Temperatura crítica de los gases. -La liquefacción de gases no se consigue con la presión solamente, pues se ha demostrado la necesidad de que la temperatura, durante la compresión, permanezca por bajo de un cierto grado, denominado por Andrews punto crítico del gas, pasado el cual no se realiza la liquefacción, cualquiera que sea la presión empleada: tal acontece, por ejemplo, con la temperatura de 31° para el anhídrido carbónico, por ser ésta la temperatura crítica de este gas; por esto el hidrógeno, cuya temperatura crítica es -234° , el oxígeno que es -118° ... y otros varios cuerpos, no se pudieron liquidar antiguamente por no haber medios de descender a esas bajas temperaturas, y de aquí que se considerarán como gases permanentes.

288. Aplicaciones de los gases líquidos. -Los gases líquidos tienen aplicaciones industriales; así, el amoníaco, el ácido sulfuroso, y el anhídrido carbónico líquidos son utilizados en la fabricación del hielo y conservación de alimentos por el frío; el último, en la fabricación de bebidas gaseosas por la adición al líquido contenido en una vasija, de una gota del gas carbónico líquido, encerrado en una pequeña esfera metálica (sparklets); el cloruro metílico líquido se usa como anestésico y en los laboratorios para producir bajas temperaturas, y modernamente se empieza a utilizar el aire líquido, que se obtiene sometiendo el aire atmosférico a 18 atmósferas de presión y a una temperatura de -190° en aparatos ideados por Linde y perfeccionados por Claude.

Capítulo IV

Higrometría

289. Vapor acuoso de la atmósfera. -La atmósfera libre posee una cantidad variable de vapor acuoso, procedente de la continua evaporación del agua de las masas líquidas terrestres, probándose esta existencia por medio de cuerpos absorbentes, como la potasa, cloruro cálcico... o por hechos vulgares, cual el recubrirse exteriormente de gotas de agua una vasija de cristal que contenga agua fresca o una mezcla frigorífica.

290. Higrometría; higroscopios. -La Higrometría tiene por fin determinar la cantidad de vapor acuoso existente en la atmósfera, empleándose para ello los aparatos llamados higrómetros.

Si sólo se trata de indicar la mayor o menor abundancia del vapor acuoso atmosférico, se usan los llamados higroscopios, que hacen la indicación por medio del cambio de color de algunas sustancias químicas, o por la modificación de longitud o la torsión de cuerpos orgánicos en combinación con figuras más o menos caprichosas; así, son muy conocidas las figuras cuyos vestidos toman distintos colores con el estado diverso de humedad de la atmósfera, y la figura de un fraile que se pone o quita la capucha por la misma razón, y otras varias.

291. Estado higrométrico de la atmósfera. -Se llama estado higrométrico de la atmósfera a la relación existente entre la tensión que corresponde al vapor de agua que existe en un momento dado y la que tendría dicho vapor, si a la misma temperatura saturase la atmósfera. Esta relación indica que las palabras frecuentes de aire seco y aire húmedo no quieren decir que el aire tenga poco o mucho vapor de agua, sino que el estado higrométrico es muy inferior a 1 o igual o muy próximo a 1, o sea que el aire contiene menos vapor que el que podría tener a esa temperatura, o que, por el contrario, encierra todo o casi todo el vapor que podría tener.

Como la saturación depende de la temperatura, resulta que el aire seco del verano encierra mucho más vapor que el aire húmedo del invierno; así saturación a $-10^{\circ} = 2,3$ gramos de vapor por metro cúbico, saturación a $+30^{\circ} = 31,7$ gramos por metro cúbico; luego el aire más húmedo del invierno (-10°) tendrá 2,3 gr., y el seco del verano (30°) cuyo grado higrométrico sea $\frac{1}{2}$ tendrá 15,8 gr.

292. Higrómetros. -Este estado higrométrico se determina por los aparatos llamados higrómetros, que se dividen por su fundamento en de absorción, de condensación y químico.

El higrómetro de Saussure o de cabello (fig. 105) es el tipo de los de absorción, y consta de una armadura metálica, en la que se sujeta por uno de los extremos un cabello bien desengrasado; el otro extremo se arrolla a una polea B con doble garganta, y sostiene un pequeño contrapeso, C, que produce la tensión del cabello; en el eje de la polea hay una aguja que se mueve sobre un arco graduado, cuya graduación se ha obtenido experimentalmente poniendo el 0 en el punto que marca la aguja en el aire seco, y el 100 en el que corresponde al aire saturado de vapor de agua, y dividiendo el espacio entre ambos en cien partes iguales, la humedad atmosférica hace que el cabello se alargue, marcando cierto grado, del que, por medio de unas tablas adecuadas, se deduce el estado

higrométrico. Este aparato es cómodo, pero poco preciso, y no da directamente el estado higrométrico de la atmósfera.

De los higrómetros de condensación es el tipo el de Daniell (fig. 106), que consiste en un tubo de vidrio doblemente encorvado y terminado en dos esferas: la una, A, ahumada exteriormente y con éter, en el que está sumergido el depósito de un termómetro, y la otra, B, cubierta por un lienzo; este tubo está sostenido por un pie de madera, que tiene un termómetro; para experimentar con este higrómetro se va echando, gota a gota, éter en el lienzo que cubre la segunda esfera, y al evaporarse este éter, origina un desequilibrio entre las temperaturas de las dos esferas, que produce la evaporación del éter contenido en la esfera A, y esta evaporación determina frío, por lo que la esfera ahumada A llega un momento en que se cubre exteriormente de rocío, marcándose la temperatura correspondiente a este punto de rocío en el termómetro interior; con este dato se busca en el cuadro de tensiones máximas del vapor de agua las que pertenecen al punto de rocío y a la temperatura exterior marcada en el termómetro del soporte, y se divide la primera por la segunda, lo que da el estado higrométrico buscado.

293. Otros higrómetros. -Para evitar los inconvenientes de la mala conductibilidad térmica del vidrio y el calor que comunica el operador al acercarse demasiado al aparato, Regnault modificó el anterior aparato, haciendo que la evaporación del éter se haga por un aspirador, y el rocío se forme en uno de dos dedales de plata pulimentada, en los que se introducen dos tubos de cristal sustituyendo a las dos ramas del aparato anterior y sirviendo el otro dedal como tipo de comparación para observar el punto de rocío, cosa que se hace, así como las lecturas termométricas, por medio de anteojos; pero la principal modificación se debe al físico Alluard, que construyó un higrómetro que lleva su nombre (fig. 107), y que consiste en un vaso de latón A que tiene el éter y que lleva un termómetro m, siendo su cara anterior A y la de latón O, que no toca a la A, pulimentadas; un embudo E sirve para introducir el éter, y un segundo termómetro n da la temperatura exterior, así como un tubo C, que se sumerge hasta el fondo del vaso, permite insuflar el aire para activar la evaporación del éter cuyos vapores salen por otro tubo D H; para funcionar este higrómetro se coloca el observador a distancia, e insuflando aire por un fuelle se evapora el éter y el depósito de rocío aparece en el metal A, haciéndose visible por el contraste con el brillo de la lámina O, y leyendo luego por un antejo la temperatura de los termómetros m y n se tienen los datos necesarios.

El higrómetro químico consiste, en esencia, en desecar un volumen de aire conocido, usando varios tubos de desecación con piedra pómez impregnada de ácido sulfúrico, cuyo aumento de peso representa la cantidad de vapor acuoso existente en la cantidad de aire analizado.

294. Psicrómetro. -Es un aparato (fig. 108) formado por dos termómetros colocados paralelamente, teniendo uno de ellos cubierto su depósito por un lienzo que está mojado constantemente por el agua que, con el intermedio de una mecha, desciende de un depósito; la diferencia (tt) entre las temperaturas de los dos termómetros será tanto mayor cuanto más seco esté el aire, habiéndose observado que es proporcional a la diferencia (Ff) entre la tensión, F, máxima o el vapor a t° y la tensión, f, a la temperatura, t° , así como también es

inversamente proporcional a la presión atmosférica, H, y a una constante conocida, A, del aparato; es decir,

$tt = Ft/H \times 1/A$, de donde $f = FA (tt) H$;

cuya fórmula da, desde luego, la tensión del vapor de agua de la atmósfera en el momento de la observación.

Capítulo V

Propagación del calor. -Calorimetría

295. Propagación del calor. -El calor se propaga en los cuerpos de dos modos diferentes: por conductibilidad y por radiación.

296. Conductibilidad del calor. -Es un medio de propagación del calor, por el cual éste se transmite desde un punto del cuerpo al resto de la masa al través de sus moléculas, cediendo parte del calor cada una de éstas a la siguiente, y ésta a la otra, y así sucesivamente, hasta llegar a las más alejadas.

Algunos cuerpos transmiten rápida y fácilmente el calor, y se llaman por ello buenos conductores (los metales), y otros, por el contrario, lo transmiten lentamente y con gran dificultad; se denominan malos conductores (madera, vidrio, papel); la diferente conductibilidad de los cuerpos se demuestra con el aparato de Ingenhonsz (fig. 109), que consiste en una caja rectangular, que en una de sus paredes tiene varios orificios, por los que penetran varillas de iguales dimensiones correspondientes a cuerpos diferentes, cuya parte exterior se recubre de una capa de cera; si en la caja se pone agua a elevada temperatura, se observará que la cera se funde hasta distancias diferentes en las diversas varillas, probando con ello la distinta conductibilidad de éstas; modernamente, algunas casas constructoras de aparatos, para evitar la molesta preparación de las cubiertas de cera de las varillas, recubren éstas con una pasta de yoduro doble de cobre y mercurio, que, siendo de color rojo, se pone parda por la acción del calor, recobrando su color rojo por el enfriamiento, por lo que está siempre dispuesto el aparato.

Tienen una gran conductibilidad los metales, principalmente el oro, plata y cobre, y muy poca las sustancias orgánicas, lo que es de interés en Fisiología.

297. Conductibilidad de los fluidos. -La conductibilidad en los líquidos es muy pequeña (excepción hecha del mercurio por su carácter metálico), como se ve haciendo arder alcohol en la superficie del líquido contenido en una vasija y poniendo en el fondo de ésta, sujeto por un alambre, un pedazo de hielo, o colocando un termómetro a cierta profundidad del líquido, con lo que se observará que el hielo tarda bastante tiempo en fundirse y el

termómetro apenas ascenderá sino después de largo tiempo; en los gases la conductibilidad es casi nula.

El calentamiento de los líquidos y gases se verifica, a causa de su escasa conductibilidad, calentándose primero las capas que están en contacto con el foco de calor, las cuales ya calientes se dilatan y ascienden, siendo substituidas por nuevas cantidades de líquido frío, que se calientan a su vez y se elevan, siendo substituidas por otras, y así sucesivamente; esto se ve poniendo en una vasija de cristal en la que se calienta agua, un poco de serrín y observando que este serrín marca la existencia de corrientes del líquido, una central ascendente (la del agua caliente) y varias laterales descendentes (las de agua fría); este modo de calentamiento, propio de líquidos y gases se llama por convección.

298. Aplicaciones de la conductibilidad. -En esta conductibilidad se fundan: el empleo de determinados materiales de construcción y de la madera para pavimentos; el uso de esteras y tapices en las habitaciones; el de telas y pieles como medios de abrigo, pues tienen aire interpuesto, que es muy mal conductor; el empleo de la paja para conservar el hielo; el de las dobles ventanas con aire intermedio; la conveniencia de mangos de madera en las vasijas; el abrigo que determinan el pelo y la pluma en los seres vivos; la utilidad de las vasijas metálicas para calentar los líquidos; la conservación del fuego cubriéndole con ceniza; el uso de estiércol, paja o tejidos toscos como abrigos en agricultura, y algunos otros hechos.

Es una notable aplicación de la conductibilidad el uso de las telas metálicas, las cuales al ponerlas sobre una llama, enfrían ésta, impidiendo su paso y quitándole calor para emplearlo en su propio calentamiento; esto sirve de fundamento a la lámpara de Davy o de mineros, de tan grande interés en las minas de carbón, y que no es nada más que una lámpara de aceite con su tubo de cristal y una chimenea de tela metálica.

299. Radiación de calor. -Se llama calor radiante el transmitido al través del espacio, sin que apenas se emplee nada de él en el calentamiento del medio transmisor, que generalmente es el aire; este calor puede ser luminoso y obscuro, ya provenga de un manantial calorífico y luminoso a la par (sol, las llamas), o ya de uno, sólo calorífico (caloríferos o depósitos de líquidos calientes), existiendo entre ellos alguna diferencia, como el atravesar el vidrio el primero y no hacerlo el segundo.

300. Leyes de propagación del calor radiante. -En el calor radiante se observa, como leyes de su propagación: que la radiación del calor se verifica en línea recta en los medios homogéneos (lo que justifica el uso de toldos y pantallas), y que este calor se propaga en el vacío (como lo prueba el calor solar atravesando los espacios interplanetarios).

Respecto a la intensidad del calor propagado, o sea a la cantidad de calor que recibe en la unidad de tiempo la unidad de superficie, se ha demostrado que la intensidad del calor radiante se propaga en razón inversa del cuadrado de las distancias (ley general a todo los agentes físicos, consiguiente a la propagación de las intensidades de ellos, según ondas esféricas, cuyas superficies están en relación de los cuadrados de sus radios) y que esta intensidad varía según la oblicuidad con que caen los rayos caloríficos sobre el cuerpo (siendo esta intensidad proporcional al coseno del ángulo que forman los rayos con la

normal a la superficie del cuerpo); la velocidad del calor se considera igual a la de la luz, como se ve en el hecho de la propagación simultánea de ambos agentes al salir del Sol.

301. Fenómenos producidos por el calor radiante. -Estos fenómenos, análogos a los producidos en la propagación de la luz, se experimentan fácilmente con un aparato llamado termo-multiplicador, debido a Melloni, que es un aparato en el que se colocan, valiéndose de soportes que se fijan sobre una regla graduada, varios focos de calor, apreciándose la intensidad de este calor por una pila termo eléctrica, cuyo efecto, o sea la corriente eléctrica, es tanto mayor cuanto más calor recibe la pila, según acusa un galvanómetro o medidor de corrientes eléctricas que acompaña al aparato.

De estos fenómenos son los principales los siguientes:

302. Reflexión y refracción del calor. -La reflexión es el acto de retroceder o cambiar de sentido que experimentan los rayos caloríficos al incidir sobre una superficie pulimentada; observándose en este fenómeno, lo mismo que en el choque oblicuo y en el sonido, que los ángulos de incidencia y reflexión son iguales y están en un plano, teniendo estos términos el mismo valor que se ha indicado en los citados fenómenos del choque y del sonido: si la superficie reflectante no fuese pulida, la reflexión se verificaría en todas direcciones, dándose entonces difusión, la cual varía también con la inclinación y con el foco calorífico.

La reflexión del calor se prueba con los llamados espejos ustorios (fig. 110), que son dos espejos A y B metálicos, parabólicos, en cuyos focos se coloca, en el uno F una yesca, y en el otro F un foco calorífico, con lo que se verá, análogamente a lo dicho en el sonido, que en el primer foco se concentrarán, según las leyes dichas, todos los rayos que salen del cuerpo calorífico, por lo cual se inflama la yesca, cosa que no sucede colocando ésta en otra región cualquiera del espejo; también podría demostrarse el fenómeno de la reflexión con el termo-multiplicador.

La refracción del calor es la desviación que experimentan los rayos caloríficos al pasar oblicuamente de un medio a otro de distinta densidad; esta refracción se prueba recogiendo por una lente de vidrio los rayos solares y viendo cómo se reúnen en un punto que, por ello, tiene suficiente calor para inflamar una madera o un papel, según se experimenta vulgarmente.

303. Emisión del calor. -Es la propiedad que tienen los cuerpos de desprender una cierta cantidad de su calor, siendo este poder emisivo variable en los diferentes cuerpos, según se ve poniendo en el termo-multiplicador un exaedro o cubo metálico (cubo de Leslie) con agua que se calienta por una lamparilla y cuyas caras laterales pueden estar cubiertas, una de negro de humo, otra de albayalde, otra con un paño negro, dejando la cuarta en su estado metálico.

Poniendo, una vez caliente el cubo metálico, enfrente de la pila cada una de estas caras, se verá que, tomando como 1 la desviación que en la aguja del galvanómetro produce la cara del negro de humo, la del albayalde será igual, o sea 1 también: la del paño, 0,85, y la del metal, 0,05, que, por lo tanto, tiene muy poco poder emisivo, el cual varía, según los

experimentos de Leslie, opuestamente al pulimento y directamente al espesor de las superficies del cuerpo, así como a su temperatura.

304. Absorción del calor. -El poder absorbente de los cuerpos para el calor radiante, o sea la relación entre la cantidad de calor absorbida y el calor incidente, es variable y depende del poder reflector y del emisivo; esta absorción se hace visible poniendo al Sol dos termómetros, de los que uno tiene el depósito ennegrecido, y observando que éste marca mayor temperatura que el otro, y también con el hecho vulgar de la más fácil fusión de la nieve cubierta de una ligera capa de tierra, que expuesta directamente al Sol.

Con el aparato de Melloni se prueba que, en los cuerpos atermos (que no dejan pasar el calor), la suma de los calores, absorbido y reflejado, es igual al calor incidente; así como, por experimentos fáciles de practicar, se comprueba que para los mismos cuerpos e iguales rayos caloríficos, el poder emisivo es igual al poder absorbente: así, el negro de humo posee gran poder absorbente, lo contrario de lo que, en general, sucede a los metales.

305. Transmisión del calor radiante. -Los cuerpos que dejan pasar el calor se dicen diatermos, a diferencia de los que no permiten este paso, que se llaman atermos; el poder diatermo de un cuerpo, o sea la relación, en determinadas condiciones, entre la cantidad de calor que atraviesa el cuerpo y la cantidad de calor incidente, es variable para las diversas substancias, como se prueba con el termo-multiplicador, en el que se colocan, a modo de pantallas, láminas delgadas de esas substancias, deduciéndose así que este poder varía con el espesor del cuerpo, por el pulimento y con la naturaleza del foco, calorífico; así, el vidrio es diatermo para el calor luminoso y no para el obscuro, y de aquí su empleo en las vidrieras, estufas o invernaderos; la sal gemma es muy diaterma para cualquier foco calorífico; el hielo, muy poco; el vapor de agua, tanto para el calor solar cuanto para el que proceda de un foco no incandescente; y el aire seco lo es mucho para todos los focos.

300. Enfriamiento de los cuerpos. -La tendencia de todos los cuerpos a igualar su temperatura con los que están en contacto, lo que se llama equilibrio variable de temperatura, hace que al colocarse los cuerpos en medios más fríos, vayan emitiendo su calor a estos medios, es decir, se vayan enfriando: enfriamiento que, según indicó Newton, aumenta en velocidad con la diferencia que existe entre el calor del cuerpo y el del medio circundante.

307. Aplicaciones del calor radiante. -A él se deben el empleo de vasijas metálicas pulidas para su lento enfriamiento y el de vasijas ennegrecidas para el más rápido calentamiento; y el empleo de vestidos claros en verano y oscuros en invierno; el uso de campanas de cristal y cubiertas de cristalería en los jardines; el pintar de negro los muros que protegen los espaldares en la agricultura; el uso de lentes para proteger la vista del calor en algunas fábricas metalúrgicas...

308. Calorimetría. Unidades calorimétricas. -La calorimetría tiene por objeto medir las cantidades de calor desenvueltas en los fenómenos caloríficos; cuando un cuerpo se calienta, se dice que absorbe una cierta cantidad de calor, así como si se enfría desprende ese calor.

Para medir esa cantidad de calor se refiere a otra determinada y homogénea con ella, que se ha tomado por unidad, a la que se denomina caloría, que, por tanto, es la cantidad de calor que ha de absorber un gramo de agua para pasar de 0 a 1°, unidad que se dice pequeña caloría, para diferenciarla de su múltiplo, la grande caloría, referida al kilogramo de agua.

309. Calor específico. -Siendo distinto el poder o capacidad de los diferentes cuerpos respecto al calor, de aquí que se exprese esto diciendo que tienen distinto calor específico, que se define como la cantidad de calor que ha de absorber un gramo del cuerpo para elevar su temperatura en 1°, medida en calorías.

El distinto calórico específico de los cuerpos se prueba con el experimento de Tyndall, que consiste en poner sobre una torta de cera, sostenida por un trípode, varias esferas iguales de distintos cuerpos, calentadas a 200° en un baño de aceite, observándose entonces que estas esferas penetran diferentemente en la cera hasta llegar a atravesarla algunas (cobre, hierro), mientras que otras profundizan en ella poco y algunas apenas si dejan una ligera impresión.

310. Determinación del calor específico. -El calórico específico de los cuerpos puede determinarse por tres procedimientos: o bien teniendo en cuenta el agua de fusión que se produce al introducirlos completamente en masas de hielo (método de fusión del hielo), o conociendo el tiempo que tardarían en enfriarse exclusivamente por radiación al espacio (método del enfriamiento), o, finalmente, por el llamado método de las mezclas, que es el más usado.

Consiste, en esencia, el método de las mezclas en introducir en una masa conocida de agua, a temperatura determinada, el cuerpo cuyo peso y temperatura también se conocen, con lo cual, y en virtud del equilibrio térmico, el agua ganará el calor que pierde el cuerpo al ponerse ambos a la misma temperatura, y ya no habrá más que dividir el producto de la cantidad de agua y la del calor ganado por el producto del peso del cuerpo y el calor que ha perdido éste, siendo el cociente que se obtiene el calórico específico pedido; así, si en un kilogramo de agua a 0° se pone un kilogramo de cobre a 100°, el equilibrio térmico se produce a 9°; luego el agua gana 9° y el cuerpo pierde 91° y, por lo tanto, se tendrá:

C (calor específico del cobre) = $1 \times 9 / 1 \times 91 = 9 / 91 = 0,1$ de caloría, que será el calor específico del cobre.

Este método, que es aplicable a los líquidos y a los gases, se ha modificado en lo que se refiere a evitar las pérdidas de calor que se producen en las operaciones, usando vasijas dobles metálicas pulimentadas, de paredes muy delgadas y muy bien dispuestas al objeto propuesto, que se llaman calorímetros.

Este calórico específico es el fundamento de los vientos periódicos de las costas; se aplica en la Química para hallar el peso atómico de los sólidos y líquidos, y se tiene en cuenta al construir vasijas que han de someterse a la acción del calor.

Capítulo VI

Aplicaciones industriales del calor. -Termodinámica

311. Máquinas térmicas: máquinas de vapor. -Son máquinas térmicas aquellas en las que la energía calor se transforma en trabajo utilizable, llamándose de vapor cuando esta transformación se efectúa por intermedio del vapor de agua.

En toda máquina de vapor existen dos partes esenciales: 1.^a, generador del vapor; y 2.^a, mecanismo productor del movimiento.

Es indispensable que el agua esté en vapor, porque sólo a temperaturas superiores a 100° es cuando los vapores tienen tensiones superiores a la de la atmósfera y, por lo tanto, utilizables; el mecanismo fundamental del movimiento es aprovechar la tensión del vapor para mover en un cilindro un émbolo o pistón, cuyo movimiento se comunica al resto de la máquina.

312. División de las máquinas de vapor. -Estas máquinas, cuyo primer modelo se debe a Denis Papin, han sido perfeccionadas por Watt y otros mecánicos, clasificándose en diferentes tipos, así se dicen:

De simple o de doble efecto, según que el vapor actúe sobre una o las dos caras del émbolo, produciendo su ascenso, o determinando su ascenso y descenso.

Con condensador o sin él, de modo que el vapor, cuando ha producido su trabajo, se pierda en la atmósfera o se conduzca para su condensación a un recipiente llamado condensador.

Sin expansión o con ella, según que el vapor entre constantemente en el cilindro para producir el movimiento del émbolo, o sólo penetre durante un cierto tiempo, actuando después sobre el pistón por su fuerza expansiva.

De baja, media o alta presión, fijándose en que el vapor esté a una atmósfera, a cinco o más de cinco próximamente.

Por la posición del cilindro se dicen verticales, horizontales y oscilantes.

Según que carezcan de movimiento de traslación o lo tengan producido por una fuerza exterior o por el mismo mecanismo de la máquina, se llaman fijas, locomóviles y locomotoras. Hoy son muy usadas las llamadas compuestas, o compound, en las que la presencia de otro u otros cilindros, además del propio de la máquina, permite utilizar el resto de fuerza que aún le queda al vapor después de haber movido el émbolo del cilindro principal.

313. Generadores del vapor. -Son depósitos, generalmente cilíndricos y de hierro, en los que se pone el agua, que se calienta por un hogar situado inferiormente; se los llama con frecuencia calderas y su disposición interior permite referirlas a tres tipos diferentes.

Las calderas propias, usadas en las máquinas fijas, que consisten en un cilindro A, terminado por dos casquetes esféricos (fig. 111), del que a veces salen por su parte inferior pequeños tubos verticales que terminan en otros dos horizontales y de igual longitud que el cilindro, llamados hervideros, en los que se calienta directamente el agua; estas calderas se colocan sobre un hogar de fábrica, E, dispuesto convenientemente para que las llamas y gases de la combustión rodeen, desde luego o después de recorrer un trayecto E B C, a los hervideros o una porción de la caldera, saliendo después estos gases por una alta chimenea L que también facilita la combustión por el tiro que determina, y pudiendo regularse estas acciones a voluntad por una compuerta M. Este tipo de generadores es de fácil manejo y aprovecha bien el calor de la combustión; pero resultan voluminosos, pesados y lentos en producir la presión necesaria para empezar a funcionar.

Los calderas tubulares de las locomotoras y locomóviles fueron ideadas por Marc Seguin, y en ellas las llamas y los productos de combustión pasan por una serie de tubos sumergidos en el agua, aumentando la superficie de calefacción de ésta, con lo que se produce el vapor más rápidamente y se aprovecha mejor el combustible, además de resultar de mayor seguridad.

Otras calderas tubulares, muy usadas hoy, tienen sustituidos los hervideros por un juego numeroso de tubos en los que se calienta directamente el agua, y el vapor formado se acumula en un cilindro desde el cual se distribuye, si bien en algunas máquinas este vapor pasa, antes de ir al cilindro, por un aparato de recalentamiento formado de tubos de calefacción directa, y en los que el vapor adquiere gran temperatura, pasando luego al cilindro; este sistema se ve en las fábricas de papel y de vidrio, en las herrerías...

314. Accesorios de las calderas. -En todo generador se aplican los accesorios siguientes:

Indicador de nivel, en forma de tubo de cristal, paralelo al eje vertical de la caldera y en comunicación con ella, aunque a veces se conoce este nivel por medio de tres llaves que marcan, respectivamente, la zona del agua, la del vapor y la del nivel del agua, que ha de ser siempre superior a la zona lamada por las llamas, a fin de evitar los efectos del estado esferoidal, que se formaría en caso contrario.

Válvulas de seguridad, para evitar las explosiones, bien de la forma corriente, o sea una palanca y un peso que resbala a lo largo de ella, bien formadas por placas de aleaciones fusibles a determinadas temperaturas.

Silbato de alarma de flotador, que al descender abre un orificio y, saliendo el vapor, roza con un timbre de bronce, originando un silbido, anunciador de la falta de agua.

El hueco del hombre o gran abertura para limpiar el interior de la caldera.

Tubo de alimentación, para reponer el agua de la caldera.

Y manómetro metálico, indicador de la presión; a veces se sustituye por un termómetro, en el que se marcan las presiones en relación con las temperaturas, llamándose a este aparato termomanómetro.

315. Aparato motor. -Aunque es muy diferente en el detalle en las diversas máquinas, pueden indicarse las partes esenciales del mismo, tomando como tipo una máquina de cilindro vertical y de doble efecto.

El aparato motor consiste, en esencia, en un cilindro (figura 112), dentro del cual se mueve un émbolo o pistón T con movimiento alternativo de vaivén, el cual movimiento está producido por el vapor de agua que entra encima por a o debajo por b del émbolo, según la posición que tiene un aparato de distribución, llamado aparato distribuidor del vapor (caja de distribución y distribuidor, que se mueve automáticamente por medio de la varilla f, a la que mueve la máquina, distribuyéndose así el vapor que entra por c) el movimiento del émbolo se transmite a un tallo A que tiene sujeto en su centro, y el cual se articula, bien directamente, bien por intermedio de un paralelogramo articulado y un balancín, a una palanca recta, llamada biela, que a su vez se une con otra palanca más pequeña, manivela, que, convirtiendo en rotatorio el movimiento alternativo del émbolo, hace girar el árbol de la máquina.

Tienen, además, estas máquinas un volante para vencer por su inercia los puntos muertos de la máquina, o sean los que corresponden a los extremos de la carrera del émbolo; también hay discos cuyo centro no se corresponde con el eje del árbol (excéntricas), que mueven el aparato de distribución y las bombas de inyectar agua en la caldera y en el condensador, y reguladores, como el llamado de fuerza centrífuga, que regula automáticamente la entrada del vapor en el cilindro, y con ello a la máquina.

316. Cuerpo de bomba y caja de distribución. -El cuerpo de bomba (fig. 112) es un cilindro hueco con dos orificios laterales, uno superior y otro inferior, que por dos tubos a y b comunican con la caja de distribución, y dentro del cual se mueve el émbolo o pistón T, que tiene un vástago o tallo A, el cual sale al exterior atravesando una de las bases del cilindro por intermedio de un sistema de cierre llamado ajustador de estopas, que impide el escape del vapor.

La caja del distribuidor es una caja adosada al cuerpo de bomba, a la que llega el vapor por un tubo C, y dentro de la cual se mueve una pieza hueca o distribuidor, que tapa en su movimiento alternativo el superior a o inferior b de los tubos de comunicación con el cuerpo de bomba, permitiendo que entre el vapor en éste por el otro orificio, y, por tanto, correspondiendo unas veces encima y otras debajo del émbolo, al paso que el vapor, que por haber producido su trabajo se encontraba en el cuerpo de bomba, es empujado por el émbolo y llevado por los tubos del cilindro al hueco del distribuidor, y de allí pasa por un tubo central O a la atmósfera o al condensador; el movimiento del distribuidor, producido por una excéntrica y la varilla f, es alternativo y de igual duración que el del émbolo.

317. Excéntrica. -Consiste en un disco que gira con el árbol de la máquina, pero cuyo centro no coincide con el del eje del árbol, por lo que en este giro un punto cualquiera de la

excéntrica describe una circunferencia; esta excéntrica tiene una armadura articulada con la varilla del distribuidor, por la cual se transmite el movimiento del árbol, convirtiéndose en rectilíneo y alternativo.

318. Transmisión del movimiento. -Es el sistema mecánico de comunicación del movimiento del pistón al resto de la máquina, siendo diferente en los distintos modelos de máquinas; en las verticales y de baja presión, el vástago del émbolo se une a un paralelogramo de varillas, llamado paralelogramo articulado de Watt, (en recuerdo de su constructor), por el que se mueve un balancín unido a una palanca vertical, o biela, que a su vez lo está a otra pequeña, o manivela, convirtiéndose por este sistema el movimiento rectilíneo del pistón en movimiento giratorio del árbol; en las máquinas de alta presión y horizontales faltan los paralelogramos y el balancín, articulándose directamente la biela con el vástago del émbolo.

319. Volante. -El movimiento del árbol se regulariza por una gran rueda o volante, que por su peso, y en virtud de la inercia, regulariza el movimiento salvando los llamados puntos muertos, correspondientes al contacto del émbolo con las bases del cuerpo de bomba, o sea a los cambios de sentido del movimiento del émbolo o a las posiciones en que la manivela se pone en línea recta con la biela.

320. Regulador de fuerza centrífuga. -Este aparato (fig. 113) está destinado a regular automáticamente la entrada del vapor en el cuerpo de bomba, y por ello el movimiento de la máquina cuando se altera la velocidad de este movimiento por el desequilibrio entre las fuerzas motoras y las resistentes.

Consiste este regulador en un eje articulado por ruedas dentadas con el árbol de la máquina, del cual penden dos brazos con esferas pesadas a modo de péndulos, unidos a dos varillas que terminan en un anillo que rodea al eje, y de cuyo anillo sale, por lo general, una varilla terminada inferiormente en una lámina elipsoidal (válvula de mariposa), correspondiente al tubo de conducción del vapor y análoga en el funcionamiento a las válvulas de los tubos de humos de las estufas.

La regulación con este aparato se realiza, cuando la máquina tiene excesiva velocidad, separándose mucho los brazos del regulador por su gran movimiento giratorio, con lo que se ejerce tracción sobre la varilla y se coloca la válvula de mariposa, obturando más el tubo de vapor, a fin de que sea menor la entrada de éste, y con ello se disminuye la velocidad de la máquina; y si contrariamente la máquina se moviese con lentitud, los brazos se separarían poco del eje y la varilla movería la válvula, colocándola con su plano más o menos paralelo al eje del tubo, facilitando así la entrada del vapor y, por ello, el aumento de velocidad de la máquina; el movimiento de este regulador es automático, pues lo determina el árbol de la máquina a quien regula.

321. Condensador. -Consiste en un depósito herméticamente cerrado, en el que una corriente de agua fría, procedente de una bomba, condensa el vapor que se escapa del cilindro de la máquina; y como la condensación de este vapor supone el calentamiento del agua, y el aire se marcha por su poca presión de aquí la necesidad de reemplazar este agua,

que generalmente se aprovecha en la misma máquina, lo que se realiza por una bomba unida al balancín, y más comúnmente a una excéntrica.

322. Bombas. -Además de la que repone el agua de la caldera, existen otras que llevan el agua al condensador y desde el condensador a un depósito, del que luego se surte la caldera, por lo que a ésta que lleva el agua a la caldera, se dice bomba de alimentación, la cual está sustituida en las máquinas modernas por el llamado inyector Giffard, que funciona por la misma máquina y que se funda en la aspiración que el vapor produce al pasar por un tubo estrecho, elevando el agua de un depósito y mandándola por otro tubo a la caldera, graduando su velocidad por una válvula que regula la marcha del vapor.

323. Locomotora. -Es una máquina destinada a moverse por sí misma sobre los raíles, arrastrando grandes pesos; los primeros modelos de estas máquinas fueron construidos por Stephenson.

Estas máquinas (fig. 114) son de alta presión, con caldera horizontal tubular y sin condensador ni volante; el hogar está situado en uno de los extremos y consiste en una cavidad, con rejilla inferior, para que caigan las cenizas; los productos de la combustión pasan por tubos que están cubiertos por el agua y se acumulan en una cavidad anterior, llamada caja de humo, de donde pasan a la chimenea, saliendo al exterior en unión del vapor de agua procedente del funcionamiento de los émbolos y facilitando con ello el tiro de la chimenea, por lo que ésta puede ser de pequeña longitud; el vapor producido se acumula en una especie de cúpula, y de allí, por dos tubos laterales, ya a los cilindros que están situados en la parte antero-inferior de la máquina, regulándose a voluntad la entrada del vapor y, por tanto, el movimiento de la máquina, mediante una palanca, movable sobre un arco graduado, llamado regulador.

El movimiento de los émbolos, producido por la acción del vapor, mueve la biela y la manivela, y ésta pone en movimiento las ruedas motoras, así como también puede traer el agua de un depósito llamado tender; la falta del volante se suple con la masa de la máquina y con una disposición especial de los cilindros que hace que cuando uno está en un punto muerto, el otro está en el punto en que produce mayor esfuerzo; el empleo de una palanca permite variar la posición del distribuidor y con ello el sentido del movimiento; además, las locomotoras llevan manómetros, silbato, nivel, etc., y en ocasiones bombas para los frenos automáticos y aun para la calefacción.

324. Turbinas de vapor. -Además de las máquinas de pistón indicadas, utilízase mecánicamente el vapor de agua en las llamadas turbinas de vapor debidas a Laval, en las que el vapor actúa a la vez por su velocidad y por su presión.

El modelo más usado consta de varios tambores de diámetros crecientes del primero al último, que presentan coronas de aletas directrices fijas a la pared interna del cilindro o tambor, alternando con otras coronas de aletas móviles fijas a un eje común a todos los tambores; el vapor entra en el interior del primer tambor, y guiado por las aletas directrices, actúa sobre las aletas móviles, haciendo mover al eje a que están unidas, y sigue su acción sobre todas las coronas de aletas móviles, saliendo por el último tambor; el movimiento obtenido del eje se transmite a los aparatos que se desea poner en acción.

325. Motores de explosión. -Actualmente se emplean otros motores térmicos, sin caldera ni hogar, y por ello ligeros, llamados motores de explosión. Se fundan en inflamar una mezcla explosiva en proporciones convenientes de aire y otro gas o vapor combustibles, en un cilindro, y aprovechar la fuerza elástica de los gases resultantes para mover un émbolo en el cilindro.

Constan esencialmente estos motores: de un cuerpo de bomba con un émbolo o pistón, en uno de cuyos extremos va a parar, y se inflama la mezcla gaseosa formando el espacio llamado cámara de explosión; válvulas de entrada de la mezcla gaseosa y de salida de los gases resultantes de la explosión, y sistema de calefacción para producir la explosión.

Por la naturaleza del gas o vapor usados en estos motores se consideran distintos tipos de ellos, como son los siguientes:

Motores de gas del alumbrado. -Funcionan por una mezcla de una parte de este gas y siete u ocho de aire, que se inflama eléctricamente, o por una llama o un tubo enrojecido. Estos motores son de simple efecto y tienen un pesado volante para vencer la inercia del émbolo; su funcionamiento se realiza en cuatro tiempos: en uno la explosión empuja el émbolo, y en los otros tres, determinados por el volante, se producen, respectivamente, la expulsión de los gases producidos, la aspiración por válvulas adecuadas de la mezcla explosiva, y la compresión de ésta para facilitar la acción explosiva.

Este gas del alumbrado puede sustituirse por el llamado gas pobre (formado de 20% de H, 50 de N y 30 de óxido de carbono), que se produce haciendo pasar por carbón al rojo una mezcla de aire y vapor de agua; estos motores de gas pobre resultan de funcionamiento bastante económico.

Motores de petróleo y de gasolina. -Usados en las pequeñas industrias y en los automóviles; funcionan por la inflamación, mediante una chispa eléctrica, de una mezcla de aire y vapor de petróleo o de gasolina, cuya mezcla se efectúa en una cámara independiente llamada carburador.

Motores de alcohol. -Utilizan el alcohol desnaturalizado generalmente, y aunque son convenientes por no desprender olor y funcionar con regularidad, resultan costosos por exigir mayor calefacción la mezcla, dada la menor volatilidad del alcohol respecto a la gasolina.

El calentamiento de estos motores se evita con ventiladores adecuados o por acción del agua, que actúa dividida en gotitas finísimas por intermedio de aparatos llamados, en los automóviles, radiadores.

326. Trabajo de las máquinas de vapor. -No obstante el realizarse la instalación de la caldera y del hogar en las mejores condiciones para obtener la mayor masa del vapor con el menor combustible posible, se produce en las calderas más perfeccionadas un 30 por 100 de pérdida en el calor de la combustión, a causa del calor radiado y del calor que llevan los gases que salen por la chimenea, aunque éste suele aplicarse hoy para elevar hasta unos 85°

el agua de alimentación de la caldera, con lo que se disminuye hasta menos de unos 25 por 100 el calor no aprovechado en la vaporización del agua.

Admítase que 1 kg. de buen carbón produce al quemarse unas 7.500 calorías, y que 1 kg. de agua a 15° necesita para vaporizarse a 100° unas 622 calorías, aumentando 3 calorías por cada 10° más (para 190° = 649 cal.); así, por lo tanto, como las buenas calderas dan unos 8 kg. de vapor a 190° por 1 kg. de carbón quemado, resulta que sólo se emplean unas 5.200 calorías ($649 \times 8 \text{ kg.} = 5.192 \text{ cal.}$), es decir, el 70 por 100 de 7.500, con pérdida de un 30 por 100, según se ha indicado.

El vapor producido actúa sobre una de las superficies del pistón, con una intensidad igual a su presión, menos la presión atmosférica (en las máquinas sin condensador), o menos la presión de la fuerza elástica del vapor en el condensador (para las máquinas con condensador). Como la presión atmosférica se calcula de 1 kg., y la del vapor en el condensador de 0,1 a 0,3 kg., se deduce que la diferencia en este segundo caso es mayor, y de aquí la conveniencia de usar máquinas con condensación. Así, por ejemplo: sea la presión del vapor 8 kmg. por cm.² sobre el pistón, y que éste tenga lo 10 cm.² de superficie; la presión sobre el émbolo sería $81 \times 1.000 = 7.000 \text{ kg.}$ para las máquinas sin condensador, y para las de condensación $80,2$ (término medio de 0,1 y 0,3) $\times 1.000 = 7.800 \text{ kg.}$, es decir, mayor efecto de presión.

Estos datos, en unión de la longitud de la carrera que ha de recorrer el émbolo y movimientos de éste en un minuto, permiten calcular el trabajo por segundo de estas máquinas, o sea su potencia mecánica que se mide en kilográmetros, caballos de vapor o ergios, según se ha indicado (77).

327. Sistemas de calefacción. -Son los medios empleados para elevar convenientemente la temperatura del aire en las habitaciones; la Naturaleza concurre desde luego a este fin con un medio tan higiénico como circunstancial, cual es el calor solar; también se aprovecha en ocasiones, como medio de calefacción, el calor desprendido por los seres vivos (calor animal), aunque esto resulta poco conveniente ante la higiene; los defectos de estos sistemas naturales obligan a utilizar procedimientos artificiales. Es un medio muy corriente de calefacción la combustión de ciertas sustancias en recipientes abiertos (braseros), cuyo sistema resalta económico, pero no conveniente, por los gases que se reparten en la atmósfera, pudiendo haber algunos tóxicos, cual el óxido de carbono (tufo), que se produce en las combustiones incompletas del carbón.

Es bastante usado el sistema de combustión en las llamadas chimeneas francesas, que son recintos abiertos por un lado y con un tubo o chimenea por el cual, y en virtud de la diferencia de temperatura entre el aire interior de la chimenea y el que está fuera, salen los gases de la combustión (tiro de la chimenea); este sistema, muy agradable por verse la llama, es conveniente por renovar a causa del tiro el aire de la habitación; pero es caro, pues sólo se aprovecha un 10 por 100 del calor y origina corrientes de aire a veces perjudiciales; en el sistema de estufas, la combustión del carbón, del gas o del petróleo se efectúa en espacios cerrados con su tubo para salida de gases, y el calor es muy aprovechado, por radiarse en todos sentidos, calentando el aire de la habitación; pero no se considera este procedimiento higiénico, por no producir renovación del aire, así como por desecar la

atmósfera y desprender gases perjudiciales cuando las paredes están enrojecidas y se hacen permeables a ellos u originarlos por el contacto del aire con dichas paredes.

Parte de los inconvenientes de las estufas están disminuidos grandemente o anulados en los llamados chouberskis, que son estufas generalmente movibles con doble cubierta (la exterior de porcelana), en las que se realiza la combustión del carbón, radiando en todos sentidos el calor producido al través de la segunda cubierta.

Para la calefacción de los edificios pueden usarse varios sistemas: el de aire caliente, que consiste en calentar el aire por medio de un hogar situado en el piso inferior del edificio, y llevarle por tubos a las habitaciones, en las que penetra por unas aberturas o bocas de calor; este sistema ventila las habitaciones, aunque produce desecación, y generalmente se usa en los teatros; el de agua caliente consta de una caldera situada en la parte inferior del edificio y unos tubos por los que asciende el agua caliente hasta un recipiente superior de expansión, para descender de allí a depósitos colocados en las habitaciones, en los que abandona el calor y, ya en estado frío, descende por tubos adecuados a la caldera; en el sistema de vapor de agua se produce éste a alta temperatura en una caldera inferior, marchando luego por unos tubos a las diversas habitaciones, que tienen unos aparatos formados de tubos sinuosos (radiadores) en los que el vapor abandona su calor de vaporización y, ya líquido, vuelve a la caldera; estos sistemas, usados generalmente en los grandes edificios públicos y modernamente en los ferrocarriles, son muy convenientes, pero costosos en general.

En ocasiones puede emplearse como medio de calefacción la conductibilidad de los metales, según se practica todavía en algunos caloríferos de los trenes.

328. Termodinámica. -La termodinámica es el estudio de las relaciones entre el calor y la energía mecánica, fundado en la equivalencia del trabajo mecánico y el calor, como consecuencia del principio de «la conservación de la energía».

329. Equivalencia dinámica del calor. -Considerado el calor como un modo de movimiento de las moléculas, era lógico admitir una relación entre ambos fenómenos, calor y movimiento; en efecto, multitud de hechos vulgares demuestran esta relación; así, el calor originado en las máquinas produce el movimiento de éstas; el movimiento de las herramientas durante un trabajo produce calor en estas herramientas; las ruedas de los carruajes y las zapatas de los frenos se calientan con el movimiento; los lingotes metálicos, al ser trabajados por una máquina, adquieren gran calor, y otra multitud de hechos de experiencia constante.

Tyndall demostró esta relación experimentalmente, poniendo en una vasija metálica un poco de éter y tapándola no muy fuertemente con un corcho; colocó después esta vasija en un aparato de rotación y la hizo tomar un rápido movimiento de giro, al mismo tiempo que rozaba exteriormente la vasija con dos tablas que formaban ángulo, el calor desarrollado por el rozamiento de la vasija evaporaba el éter interior, y la fuerza expansiva del vapor hacía saltar el tapón.

La relación indicada ha sido medida por diversos experimentos, principalmente por Joule, el cual, valiéndose de medios mecánicos muy ingeniosos, logró elevar en una cantidad determinada el calor de una masa de agua por la acción de trabajos mecánicos conocidos, llegando así a establecer el valor de la relación que existe entre el calor y el trabajo mecánico, o sea el equivalente mecánico del calor, que fijó aproximadamente en 427 kilográmetros.

El experimento inverso, o sea producir trabajo mecánico consumiendo calor, que es lo que se verifica en las máquinas térmicas, ha sido practicado por Hirn, llegando próximamente también al equivalente indicado.

El resultado medio de los experimentos realizados da la equivalencia; una caloría = 426 kilográmetros.

330. Rendimiento de las máquinas de vapor. -Del calor desprendido por la combustión del carbón, sólo una parte se transforma en trabajo útil, pues otra parte se emplea en calentar el agua del condensador, además de la pérdida ya citada del 25 ó 30 por 100, y de algo que se consume en los frotamientos.

El rendimiento de estas máquinas es la relación entre el trabajo útil y el trabajo que se obtendría si se transformase por completo en energía mecánica el calor producido por la combustión del carbón. Este rendimiento, fácil de calcular, sabiendo que una buena máquina produce una potencia de un caballo de vapor con un consumo de 1 kg, de carbón por hora, y que el equivalente mecánico del calor es 426 kilográmetros, es en las mejores máquinas de 0,15 y en las máquinas ordinarias alrededor de 0, 10, no obstante lo cual son en general motores de bastante economía.

Débase al físico francés Carnot el principio de que, para funcionar un motor térmico es indispensable que el calor recibido de un manantial a temperatura constante pase a otra región a menor temperatura (análogamente acontece en el aprovechamiento de la fuerza del agua por medio de los saltos de agua), y así en las máquinas de vapor se puede calcular este calor abandonado al pasar de la caldera al condensador, sabiendo la temperatura que tiene el vapor en la caldera y el que abandona en el condensador, el cual es fácil de medir conociendo el agua que entra en el condensador en una hora y la temperatura que tenía esta agua al entrar y la que tiene al salir del condensador. Este calor, abandonado por el vapor o salto de calor, es el que mueve el pistón.

Para que el rendimiento sea máximo es necesario que el vapor realice una serie de transformaciones térmicas al pasar de una a otra región más fría; y como parte del estado líquido (inicial) para volver al mismo (final), puede representarse gráficamente por una curva cerrada, llamada ciclo, y que, en este caso de máximo rendimiento, ha de satisfacer a determinadas relaciones que, representadas gráficamente, forman el llamado ciclo de Carnot.

331. Manantiales de calor. -Pueden ser naturales y permanentes, si sus efectos se aprecian constantemente, cual sucede con el Sol y las estrellas, o temporales, si sólo se aprecian periódicamente, como las manifestaciones del volcanismo, y artificiales, o sean los

referentes a todas las transformaciones de energía realizadas por el hombre; así, las reacciones químicas, las combustiones, los movimientos, la vida, la electricidad, etc.

Parte segunda

Óptica o Fotología

Capítulo I

Luz, propagación e intensidad

332. Fotología. -La Fotología es la parte de la Física que estudia la naturaleza y caracteres de las luz: también se denomina Óptica. La luz es un agente físico que, impresionando el sentido de la vista, permite apreciar cualidades de los cuerpos (forma, color...).

333. Naturaleza del agente luz. -La esencia del agente luz es desconocida, pero se ha tratado de explicar su naturaleza, primero por la llamada teoría de la emisión, que, materializando la luz, suponía que consistía en un algo muy tenue que a modo de partículas imponderables era emitido en todas direcciones por los cuerpos, y modernamente, por la denominada teoría de las ondulaciones, debida a Descartes y modificada por Huygens, que supone a la luz como el efecto de la agitación constante de las moléculas en los cuerpos luminosos, cuyo movimiento vibratorio es transmitido por el éter en ondas esféricas, llegando así al sentido de la vista e impresionándole; el reposo del éter supone la obscuridad: esta hipótesis es la más aceptada hoy, pues parece explicar satisfactoriamente los fenómenos luminosos conocidos.

334. División de la óptica. -El estudio de la óptica comprende dos partes: la óptica geométrica, que abarca todos los fenómenos sencillos de reproducir, deducidos de la propagación rectilínea de la luz, haciendo abstracción de la naturaleza hipotética de este agente, y óptica física, que comprende los fenómenos luminosos de índole superior, derivados de la naturaleza de la luz.

Óptica geométrica

335. Cuerpos luminosos. -En la naturaleza existen cuerpos dotados de luz propia, que se llaman luminosos (el Sol, estrellas...), y otros que, careciendo de luz, la reciben de los

anteriores y la devuelven total o parcialmente, por lo que se hacen visibles, llamándose a estos cuerpos iluminados (como los planetas).

336. Propagación. -La luz en los medios homogéneos parece llevar una dirección rectilínea, que se denomina rayo luminoso, según se hace visible al penetrar la luz solar por medio de un pequeño orificio en una habitación oscura; la reunión de rayos luminosos forma un haz, que puede ser convergente, divergente o paralelo, según se encuentren o separen cada vez más, o permanezcan paralelos los rayos que le forman.

Si la luz en su propagación se encuentra con cuerpos no luminosos, puede suceder que los atraviese completamente, o que sólo pase a su través una parte de luz, o que no pase nada, siendo absorbida o devuelta, diciéndose en estos casos que los cuerpos son, respectivamente, transparentes (cristal), semitransparentes (cristal esmerillado) y opacos (las rocas), si bien en estas cualidades influye el espesor (el oro en panes se hace semitransparente; las rocas talladas para el microscopio son casi transparentes).

337. Velocidad de la luz. -La luz se propaga tan velozmente que, tratándose de pequeñas distancias, puede admitirse, sin error sensible, que su propagación es instantánea; la velocidad de la luz se ha calculado por procedimientos astronómicos y por experimentos físicos, y como resultado medio de todas estas observaciones se ha fijado esta velocidad en el vacío en más de 300.000 kilómetros por segundo, y sensiblemente lo mismo en el aire.

338. Sombra y penumbra. -Si el haz luminoso que sale de un punto encuentra en su dirección un cuerpo opaco que intercepta parte de los rayos del haz, origina al otro lado de aquél un espacio

desprovisto de luz, que es a lo que se llama sombra (fig. 115); esta sombra está determinada por la parte de superficie cónica situada detrás del cuerpo y que tiene su vértice en el punto luminoso, siendo sus generatrices los rayos tangentes a la superficie exterior de cuerpo; pero como los focos luminosos son generalmente conjuntos de puntos, cada uno de éstos originará un cono de sombra, y habrá, por lo tanto, una región situada detrás del cuerpo, en la que coinciden parte de estos conos, y ésta es la sombra, y rodeando a ésta, otra región, P P, en la cual coincidirán parte de algunos conos, pero no todos, por lo que esta segunda región, llamada penumbra o casi sombra, se presentará algo iluminada, pero mucho menos que el espacio circundante.

Esta teoría de las sombras explica los eclipses, en los que el foco luminoso es el Sol, S, y los cuerpos opacos la Tierra, T, y su satélite la Luna, L, moviéndose éstos en sus órbitas respectivas, O O, O O.

399. Cámara oscura. -Consiste en una caja rectangular de paredes ennegrecidas interiormente y cuya cara anterior presenta un orificio por el que penetran los rayos luminosos, que por su propagación rectilínea pintarán en la cara opuesta una imagen invertida del objeto del que salen los rayos; con el fin de ganar en intensidad de luz sin perder perfección en la imagen, se utilizan orificios pequeños, pero provistos de lentes (figura 116, O) como medios de concentrar la luz, y una cámara en estas condiciones y una

tela plegada o fuelle para variar la distancia entre ambas caras, anterior y posterior, forma la llamada, por su aplicación, cámara obscura de fotógrafos.

400. Intensidad de la luz. -Se denomina intensidad de la luz de un foco luminoso la cantidad de luz que envía a la unidad de superficie en un segundo.

Esta intensidad, varía con la oblicuidad de los rayos respecto a la superficie, según una relación trigonométrica (que dice que es proporcional al coseno del ángulo que forman los rayos con la normal a la superficie); siendo de valor máximo en la incidencia normal a la superficie y obedece a la ley general para todos los agentes físicos, que dice en este caso: la intensidad de la luz recibida por una superficie bajo un ángulo constante varía en razón inversa del cuadrado de las distancias del foco a la superficie; cuya demostración se hace suponiendo que esa luz se reparte por superficies esféricas de radio doble, triple..., que, por tanto, estarán en la relación de 4: 9..., recibiendo, según esto, $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{9}$ de la intensidad de luz que recibe la primera, de acuerdo con lo indicado en la citada ley.

401. Fotometría. -La fotometría se propone determinar la intensidad de la luz de los focos luminosos, valiéndose de aparatos llamados fotómetros, fundados en la ley anterior; esta determinación se realiza por la comparación de dichas luces con la intensidad determinada de otra luz, tomada por unidad fotométrica, y que es distinta para los diferentes países.

Las principales unidades fotométricas son: la de Violle, o sea la luz emitida por un centímetro cuadrado de platino a 1775° , la cual es muy fija, pero poco práctica; el mechero Carcel, que es una lámpara que consume 42 gramos de aceite de colza en una hora, y la bujía decimal, de ácido esteárico, que consume 10 gramos de ácido por hora; para distancias se toma como unidad el metro.

402. Fotómetros. -El de Rumford (fig. 117), que consiste en una pantalla vertical de vidrio deslustrado, delante de la cual, y paralelamente a ella, se coloca una varilla; a partir de ésta, se traza una perpendicular a la pantalla y dos oblicuas arbitrarias, pero que formen ángulos iguales con la perpendicular; si sobre estas oblicuas se colocan las luces que se van a comparar, producirán en la pantalla dos sombras, y si dejando fija una de las luces se mueve la otra hasta que las dos sombras producidas por la varilla tengan igual intensidad, se habrá conseguido que ambas luces produzcan sobre la pantalla igual iluminación; ya sólo resta medir la distancia de las luces a la varilla y aplicar la ley antes citada.

El de Foucault, empleado en la fábrica de gas de París, es análogo al anterior y consta de una pantalla de porcelana translúcida o de vidrio almidonado y de un tabique vertical, perpendicular en su línea media a dicha pantalla, aunque algo separado de ella, pero a la que puede aproximarse o separarse a voluntad; si se colocan las luces a uno y otro lado del tabique, se iluminará cada mitad de la pantalla con una luz, lo que permite llegar a la igualdad de iluminación para aplicar la ley anterior a las distancias de la pantalla a los focos luminosos.

El de Bunsen (fig. 118) se funda en iluminar igualmente por ambos lados un disco que tiene un transparente de papel con una mancha central de grasa, la cual se hace

perfectamente visible cuando se ilumina desigualmente por ambos lados, y haciéndose poco o nada visible cuando esta iluminación sea igual; así, pues, si se coloca sobre una regla graduada la pantalla y a uno y otro lado las luces que se van a comparar L, L, y se mueve una de ellas hasta hacer casi invisible por ambos lados la mancha de grasa, se tendrá conocida la distancia que separa a ésta de las dos luces y, por tanto, será fácil calcular la relación fotométrica de ambas por la repetida ley de propagación; se facilita la observación simultánea de los dos lados de la pantalla, colocando ésta en la dirección del plano bisector de dos espejos que forman ángulo de 45° .

Capítulo II

Reflexión de la luz

403. Catóptrica. -El estudio de los fenómenos de reflexión de la luz constituye la parte de la óptica denominada catóptrica.

404. Reflexión de la luz. -La reflexión de la luz es el retroceso que experimentan los rayos luminosos al ser interceptados por un cuerpo opaco. Según que el cuerpo opaco que forma la superficie reflectante esté o no bien pulimentado, así los rayos, al reflejarse, lo harán saliendo todos en una sola dirección o, por el contrario, distribuyéndose en diferentes direcciones, lo que origina dos clases de reflexión luminosa; la primera, propia de los cuerpos pulimentados, llamada reflexión regular, que es la que por su regularidad se estudia principalmente, y la segunda, o de los cuerpos no pulimentados, llamada reflexión irregular o difusa, a la que se debe, en gran parte, la visión de los objetos que nos rodean.

En el fenómeno de la reflexión regular hay que tener presente el tecnicismo siguiente: al incidir un rayo de luz sobre una superficie reflectante, la dirección que traía se llama rayo incidente; el punto en que toca a la superficie, punto de incidencia; la dirección que toma después del fenómeno, rayo reflejado; la perpendicular a la superficie en el punto de incidencia se dice normal, y los ángulos que ésta forma con los rayos anteriores se llaman, respectivamente, ángulo de incidencia y ángulo de reflexión.

405. Leyes de la reflexión. -Este fenómeno luminoso, análogamente a lo indicado para el choque, el sonido y el calor, obedece a dos leyes principales, que son:

- 1.^a El ángulo de incidencia es igual al de reflexión; y
- 2.^a Ambos ángulos están en un plano, el cual es perpendicular a la superficie reflectante.

Se demuestran estas leyes con el aparato llamado de Silbermann (fig. 119), que consiste en un círculo A vertical graduado en dos semicírculos, a partir del diámetro vertical; este círculo, sostenido por un pesado pie de fundición, lleva en su centro un espejo horizontal y en la circunferencia dos alidadas movibles, la una provista de un espejito M que por su movimiento permite dirigir un rayo luminoso según un radio del círculo hasta el espejo central, y la otra con un disco P que lleva un papel para recoger el rayo reflejado y que se pinte en él la imagen del orificio de entrada de la otra alidada.

El experimento se practica una vez nivelado el aparato, poniendo la alidada del espejito de modo que envíe un rayo luminoso S (rayo incidente) a la superficie reflectante del espejo central; luego se mueve la otra alidada hasta que en ella se recoja el rayo reflejado, y entonces se verá que ambas alidadas distan igual número de grados del extremo del diámetro vertical (normal), o sea, que son iguales los ángulos de incidencia y de reflexión y que están ambos en el mismo plano, que es el del aparato.

406. Espejos. -Se llaman espejos todas las superficies pulimentadas capaces de reflejar la luz; por la superficie reflectante se dividen en planos y curvos, según sea plana o curva dicha superficie.

Se utilizan generalmente como espejos las superficies metálicas pulimentadas, y, en los usos domésticos, láminas pulidas de cristal, recubiertas en una de sus caras por una delgada capa de plata o de una amalgama de estaño denominada alinde.

407. Imágenes.-En los espejos, los rayos emanados de un punto luminoso, después de reflejarse, salen convergentes, paralelos o divergentes; y al encontrarse los rayos en el caso de la convergencia, o sus prolongaciones, en el de la divergencia, manifiestan al observador, en el punto de encuentro, la impresión de que en él está el punto luminoso, y a esta ilusión que nos presenta el punto luminoso donde no está, se llama imagen luminosa, la cual puede ser real cuando puede recogerse en una pantalla, por originarse en el encuentro de los rayos, y virtual, si no se puede recoger en la pantalla, por producirse en la intersección de las prolongaciones de los rayos y siendo solamente una ficción del observador la cual no tiene existencia real.

408. Espejos planos. -Son aquellos en los que la superficie reflectante es plana; la imagen de un punto luminoso O (figura 120), en un espejo plano m m, se produce en un punto O', situado detrás del espejo, sobre la perpendicular trazada a él desde el punto luminoso y a igual distancia que éste está del espejo; es decir, que esta imagen O' forma el punto simétrico del foco luminoso O.

Se demuestra esto trazando desde el punto O una perpendicular O H al espejo y dos rayos O R y O P cualesquiera, cuyas prolongaciones darán la imagen virtual O', en la que el observador creerá ver el cuerpo luminoso O; ahora bien, de la igualdad de los triángulos O R P y O' R P (pues tienen un lado común e iguales sus ángulos adyacentes), se deduce la de los otros triángulos O H R y O' H R (un lado común, dos iguales E igual el ángulo comprendido), y de esta igualdad, O H = O' H y ángulos en H iguales; pero siendo, por construcción, O H perpendicular al espejo, O' H también lo será; luego O' está sobre la perpendicular al espejo y a una distancia de él igual a O H.

Para hallar la imagen de un cuerpo A B (fig. 121) se construyen, según lo dicho, las imágenes de varios de sus puntos A y B, y uniendo estas diversas imágenes se obtendrá la imagen A' B' del objeto A B, la cual es virtual y simétrica del objeto, con relación al espejo M N.

409. Espejos formando ángulo (fig. 122) y paralelos.-Si se coloca un foco luminoso L entre dos espejos en ángulo M y N, cada uno de ellos producirá una imagen L' y L'', que a su

vez actuarán como focos luminosos, continuándose así hasta que la imagen L que se produzca esté situada en el ángulo opuesto al de los espejos, en cuyo caso no se reflejará nuevamente.

De esto se deduce que entre dos espejos en ángulo se produce un número de imágenes igual al número, menos uno, que expresa la relación entre la circunferencia completa y el valor del ángulo de los espejos; así, si el ángulo de estos espejos fuese de 90° el número de imágenes producidas sería $360/90 = 4 - 1 = 3$, y con el objeto cuatro imágenes vistas: L, L, L, L (siendo el punto O donde el ojo del observador recoge todos los rayos que le hacen visible las cuatro imágenes); si fuese de 60° , sería $360/60 = 6 - 1 = 5$, y con el objeto seis imágenes vistas, etc.; y, en general, al disminuir el ángulo va aumentando el número de imágenes, todas las cuales se encuentran en una circunferencia que tiene por centro el vértice del ángulo de los espejos y por radio la distancia de éste al punto luminoso.

Si los espejos son paralelos, el número de imágenes producidas es teóricamente infinito; pero en la práctica resulta limitado por las pérdidas de intensidad que experimenta la luz en las diversas reflexiones, y será tanto mayor cuanto mayor sea la intensidad del foco luminoso.

410. Aplicaciones de los espejos planos. -Se aplican los espejos planos en los usos domésticos; como adorno; en los aparatos llamados sideróstatos y helióstatos, que hacen constante la dirección relativa de los rayos de los astros, y en particular del sol; como medios para la fantasmagoría; y en la fabricación de juguetes cual el caleidoscopio, que es un tubo con dos o tres espejos en ángulo de 60° , con el cual se observan imágenes caprichosas, formadas por unos cuerpos coloreados e irregulares que se colocan en un disco situado en el extremo del tubo.

411. Espejos esféricos. -De los espejos curvos, los que presentan mayor interés general son los esféricos, o sean aquellos espejos en los que la cara reflectante es un casquete esférico; se dividen en cóncavos y convexos, según que la parte pulimentada que ha de reflejar la luz sea la parte interior o la exterior de la superficie esférica.

En todo espejo esférico (fig. 123), el círculo que limita el casquete es la base del espejo, y se representan estos espejos por el arco de círculo M N que resulta de cortarlos por un plano que pase por el centro de la esfera, de que es parte el casquete, y por el centro de la base; se llama centro de figura o vértice del espejo al punto medio O del arco que representa a éste; centro de curvatura o geométrico C, el centro de la esfera a que pertenece el espejo; eje principal, la recta C O de unión de ambos centros; ejes secundarios C I, todos los radios que van del centro de curvatura al espejo y que son las normales correspondientes a los puntos del espejo en que inciden, y abertura del espejo, el ángulo formado por los ejes que terminan en los extremos del mismo.

Al estudiar la reflexión de la luz en estos medios ópticos, se los considera como formados por multitud de elementos planos, en cada uno de los cuales se verifica la reflexión del modo anteriormente indicado y separándose los espejos cóncavos de los convexos y admitiéndose que tanto unos como otros son de pequeña abertura.

412. Espejos cóncavos; formación de focos. -Al incidir la luz (fig. 122) procedente de un punto luminoso sobre estos espejos, se produce la reunión de todos los rayos luminosos o sus prolongaciones, formando los llama dos focos, que pueden ser reales o virtuales, según lo antes indicado para las imágenes de un punto luminoso, y cuya posición respecto al espejo es diferente, dando con ello origen a los diversos casos que se estudian en la reflexión de la luz sobre estos espejos, y cuyo estudio se verificará suponiendo que el punto luminoso viene desde el infinito y sobre el eje principal acercándose al espejo. Estos casos son:

1.º Si el punto luminoso está en el infinito, los rayos que emite paralelos al eje principal, después de reflejarse, encuentran a éste en un punto F, llamado foco principal, que está sensiblemente en el punto medio del radio C O; la distancia F O se denomina distancia focal del espejo.

Se demuestra la posición del punto F construyendo, según las leyes de la reflexión, el rayo reflejado F I, correspondiente al incidente I punto, y la normal C I, y observando que el triángulo C I F es isósceles (pues ángulo, punto I C = ángulo I C F, y ángulo F I C = ángulo punto I C; luego ángulo F I C = ángulo I C F), por lo cual F I = F C, y admitiendo que, por ser el espejo de pequeña abertura, F I difiere, muy poco de F O, de aquí que FO es sensiblemente igual a F C.

2.º Si el punto luminoso está a una distancia grande P, pero finita, los rayos que emite después de reflejados encuentran al eje principal en un punto P situado entre el foco principal F y el centro de curvatura C, al que se llama foco conjugado, por tener propiedades recíprocas con el punto que ocupa el foco luminoso.

3.º Cuando el foco luminoso llega al centro de curvatura C, los rayos se reúnen después de reflejados en el mismo centro C, por llevar igual dirección los rayos incidente y reflejado.

4.º Si el punto luminoso P se sitúa entre el foco principal y el centro de curvatura, los rayos reflejados se reúnen sobre el eje principal en un punto P, que es el foco conjugado y que está del espejo a mayor distancia que el radio de curvatura; este caso es el inverso del segundo.

5.º Al colocarse el punto luminoso en el foco principal F, los rayos reflejados salen paralelos sin reunirse, siendo este caso inverso del primero.

6.º Y, por último, si el punto luminoso P está del espejo a menor distancia que la focal F O, los rayos reflejados salen divergentes, reuniéndose sus prolongaciones detrás del espejo en un punto P, que forma, por tanto, un foco virtual.

Si el punto luminoso estuviera fuera del eje principal, los focos producidos se formarían también fuera de ester eje, pero ocupando las mismas posiciones relativas indicadas, pues a las diversas posiciones del punto luminoso en un plano corresponden focos que determinan un plano focal que corta al eje principal, según lo dicho en los casos anteriores; los focos

correspondientes a estos puntos luminosos situados fuera del eje principal se determinan (figura 113, A y B) trazando desde el punto luminoso A o B dos rayos, uno paralelo al eje principal A R y que, por tanto, se reflejará pasando por el foco principal F, y otro A C S o B C S que pase por el centro de curvatura C, reflejándose, según se sabe, en la misma dirección; el punto de encuentro A o B de ambos rayos reflejados es el foco buscado.

413. Formación de imágenes. -Para construir las imágenes de los objetos (figura 124) bastará, de acuerdo con lo indicado, determinar las imágenes de sus diversos puntos, observando si éstos están o no sobre el eje principal, y luego unir estas imágenes para que resulte la imagen total del cuerpo; así se puede comprobar con las imágenes de una flecha A B, obtenidas por la unión de las de sus puntos A y B, que dará imágenes reales de tamaño variable, menos en el último caso, en que producirá una virtual, y mayor.

Se demuestran estos casos experimentalmente con un espejo de radio conocido, la llama de una bujía y una pantalla para recoger las imágenes; así, exponiendo el espejo al Sol, se pinta su imagen en

el foco principal, F (fig. 125); si la luz O se pone a una distancia finita y grande, se pinta la imagen entre el foco principal, F, y el centro de curvatura, C, siendo real, invertida y más pequeña (fig. 126); al estar la luz en el centro de curvatura, C, su imagen, I, se pinta en ese centro real, invertida e igual (fig. 127); si la luz se pone entre el foco principal, F, y el centro, C, la imagen se pinta más allá del centro, siendo real, invertida y de mayor tamaño (fig. 128); si la luz se pone en el foco principal, F, los rayos salen paralelos y no hay imagen (fig. 129); y si la luz, O, está dentro de la distancia focal, F M, los rayos prolongados dan una imagen, I, virtual, derecha respecto a la bujía y de mayor tamaño (fig. 130).

Los espejos cóncavos se usan para ampliar y como reflectores, y también para concentrar el calor solar.

414. Espejos convexos; focos e imágenes. -En estos espejos, cuya superficie convexa es la reflectante, pueden ocurrir los dos casos siguientes:

1.º Que los rayos vengan del infinito paralelamente al eje (figura 131); entonces se reflejan y salen divergentes, de modo que, prolongados convenientemente, se reúnen detrás del espejo en el foco principal, F, que ahora es foco principal de dispersión.

Para hallar la distancia focal en estos espejos, se ennegrecen, dejando dos pequeños orificios equidistantes del centro de figura, se expone luego el espejo al sol, recibiendo los rayos solares paralelamente al eje principal, siendo sólo reflejados los correspondientes a los dos orificios, los cuales se recogen en una pantalla, que se aleja o se acerca hasta que la distancia entre estos rayos sea doble que la existente entre los orificios, entonces la distancia del espejo a la pantalla es la distancia focal del espejo.

2.º Que los rayos vengan de distancia finita (fig. 132), sobre la prolongación del eje; en este caso salen, después de reflejados, divergentes, encontrándose sus prolongaciones entre el anterior foco y el espejo.

Los puntos situados fuera de la prolongación del eje formarían sus focos, según se ha dicho en los espejos cóncavos, y las imágenes de los objetos con estos espejos son siempre (fig. 132) virtuales, derechas y más pequeñas que el objeto.

Los espejos convexos se usan como adorno y como medio de reducir las imágenes de los paisajes (globos periscópicos, de vidrio estañado o amalgamado), para facilitar su reproducción por la pintura.

415. Aberraciones de esfericidad; cáustica por reflexión. -Si los espejos usados fuesen de gran abertura, entonces los rayos paralelos al eje correspondientes a los bordes, y, en general, a los puntos lejanos del centro de figura del espejo, después de reflejarse, cortarían al eje principal en puntos diferentes, originando así diversos focos, que harían perder claridad a la imagen obtenida; este fenómeno se llama aberración de esfericidad e indica la conveniencia de emplear espejos de poca abertura, o utilizar sólo su región central.

Cuando los distintos focos obtenidos por el efecto de aberración se unen entre sí, se obtiene, en lugar de un plano focal, una superficie focal curva, cuyo centro es el del espejo, y su sección sería una línea curva, constituyendo esas curvas las llamadas cáusticas por reflexión, observables en las vasijas que contienen líquidos opacos.

416. Fórmula de los espejos. -Todos los casos indicados en la reflexión de la luz en los espejos están comprendidos en la fórmula: $1/P = 1/P = \pm 1/F$, en la que P y P representan, respectivamente, la distancia del objeto y de su imagen al espejo, y F la distancia focal.

Se deduce esta fórmula de recordar que en el triángulo que forman un rayo incidente, su reflejado y el eje principal, la normal, por ser bisectriz del ángulo de los dos rayos, divide al lado opuesto en partes proporcionales a estos rayos; estableciendo, pues, la proporción y sustituyendo ambos rayos y la normal por los valores P, P y F, medidos sobre el eje principal, ya que el espejo tiene pequeña abertura, y haciendo las operaciones indicadas, se llega a esa fórmula.

De esta fórmula se deduce el valor: $P = P F/P \pm F$, que da la posición de la imagen cuando se conoce la distancia P del objeto luminoso al espejo y la distancia focal F de éste; si el valor obtenido para P fuese negativo, nos indicaría que la imagen se pintaba detrás del espejo, es decir, que era virtual.

La relación de tamaños entre el objeto y su imagen se deduce de comparar los triángulos semejantes que forman esos cuerpos con sus radios secundarios, de los que se deduce que: imagen es a objeto, como P es a P.

Capítulo III

Refracción de la luz

417. Dióptrica. -El estudio de los fenómenos de refracción de la luz constituye la parte de la óptica llamada dióptrica.

418. Refracción de la luz. -Se llama refracción de la luz la desviación que experimentan los rayos luminosos al pasar oblicuamente de un medio a otro de distinta densidad; numerosos hechos vulgares dan a conocer la refracción; así, al introducir oblicuamente un bastón en el agua, parece que éste se rompe en la superficie del líquido; el hacerse visible una moneda puesta en una vasija al echar en ésta agua, etc. Cuando los rayos pasan perpendicularmente de un medio a otro, no se desvían, modificándose solamente en su velocidad.

En la refracción de la luz (fig. 133) hay que tener presente los siguientes términos: todo cuerpo en el que se refracta la luz constituye un medio refringente; la dirección que traía el rayo luminoso antes de refractarse se denomina rayo incidente S I; la nueva dirección que toma después de la refracción, rayo refractado; el punto I de encuentro del rayo incidente con la superficie de refracción H, H, punto de incidencia; la perpendicular en este punto a dicha superficie de refracción, forma la llamada normal, N N, y los ángulos que ésta determina con los rayos incidente y refractado son los ángulos de incidencia, i , y de refracción, r , respectivamente.

En la refracción puede suceder que la desviación del rayo incidente, representada en la dirección que tiene el rayo refractado, sea aproximándose o separándose de la normal, según que el rayo luminoso pase de un medio menos refringente a otro más (de aire a agua o al cristal), o inversamente (de cristal o del agua al aire).

419. Leyes de la refracción. -La refracción de la luz obedece a dos leyes principales, llamadas también de Descartes, por ser quien las formuló, y que son:

1.^a El ángulo de incidencia y el de refracción están en un plano perpendicular a la superficie de refracción; y

2.^a El cociente de dividir el seno del ángulo de incidencia por el seno del ángulo de refracción (o sea las distancias a la normal desde los extremos de dos rayos incidente y reflejado de igual longitud) es una cantidad constante para cada dos medios,

Esta cantidad se llama índice de refracción y se representa generalmente por la letra n ; así: $n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$.

Se demuestran estas leyes con el aparato de Silbermann, ya descrito, reemplazando el espejo (fig. 134) por una cubeta semicilíndrica, cuyo eje coincida con el del círculo; del centro de éste parten dos alidadas C R y C A PP; la primera algo mayor que un radio y destinada a recibir el rayo refractado, y doble la segunda, destinada a proyectar, por un espejito M que tiene en su extremo superior, un rayo luminoso sobre la cubeta y a indicar,

por la posición inferior la prolongación del rayo incidente; una regla graduada L L y elevable, situada en la parte inferior del aparato, permite medir las distancias de las dos alidadas al eje vertical N N o sean los senos de los ángulos de incidencia y de refracción.

Para funcionar este aparato basta dirigir al agua de la cubeta A C B un rayo de luz, que se refractará saliendo inferiormente y sin refractarse de nuevo por seguir la dirección de un radio de la sección del cilindro, después se mueve la otra alidada C R hasta que en ella se recoja el rayo refractado; esta alidada y la parte inferior C P de la primera indican, en el círculo graduado, el valor de los ángulos de incidencia y de refracción, y elevando la regla L L hasta que toque primeramente en F y después en P, extremos de estas alidadas, se tendrán medidos los senos de los ángulos de incidencia y de refracción, cuya relación es el índice de refracción.

Este índice es del aire al agua igual a $4/3 = 1,333\dots$, y del vidrio al aire, $n = 3/2 = 1,5$, siendo estos valores siempre constantes; si la marcha de la luz fuese inversa, por ejemplo, del agua al aire o del vidrio al aire, el índice también sería inverso; es decir: $1/n = 3/4$; $1/n = 2/3$.

420. Construcción del rayo refractado. -De esas leyes se deduce la construcción del rayo refractado I R (fig. 135), correspondiente a un rayo incidente S I, conocido el índice n (por ejemplo, $n = 4/3$), pues basta describir desde el punto de incidencia I una circunferencia con radio arbitrario, dividir la distancia I P del rayo incidente a la normal contada sobre el diámetro horizontal, en un número de partes iguales al numerador del índice n (cuatro) y tomar sobre el mismo diámetro y al otro lado del centro I tantas partes iguales a esas como marca el denominador de n (tres), y trazando desde la última de estas partes una paralela H R a la normal N, ésta, N cortará a la circunferencia en un punto R que, unido al centro, determina el rayo refractado I R.

El físico Huyghens dio otro procedimiento (fig. 136), consistente en trazar desde I dos circunferencias de radios I N = 1 y I N1 = n, suponiendo $n > 1$, prolongar el rayo incidente S I, y en el punto C en que corta a la segunda circunferencia, trazar la tangente C T y después del punto T, de encuentro de la tangente y la superficie refractante, se traza otra tangente T C a la primera circunferencia y uniendo el punto de tangencia C con el punto I se tiene el rayo refractado pedido I C.

421. Ángulo límite. -La constancia del índice de refracción para cada dos medios hace que al variar uno de los ángulos y, por tanto, su seno, tendrá necesariamente que variar el otro, y cuando aquél llegue a su valor máximo, éste tendrá también un valor límite; así, si en el paso de la luz de un medio menos a otro más refringente, el ángulo de incidencia llega a su valor máximo, que es 90° , el ángulo de refracción, que es menor, tendrá un valor límite y se llama a este ángulo límite, que se define, por tanto, como el ángulo de refracción menor de 90° que corresponde a uno de incidencia igual a 90° ; el valor de este ángulo se deduce sabiendo que: $\sin 90^\circ = 1$, luego $n = 1/\sin r$; y $\sin r = 1/n$; es decir, que el seno del ángulo límite es inverso del índice de refracción; en la fig. 135 el ángulo límite es L I N, correspondiente al ángulo de incidencia N I B.

422. Reflexión total. -Si el rayo luminoso pasaran de un medio a otro menos refringente (fig. 137), por ejemplo, los rayos S A, S C, y S L, como entonces el ángulo de incidencia ha de ser menor que el de refracción, cuando aquél tome un valor igual al ángulo límite, éste será igual a 90° , y el rayo refractado saldrá tangente a la superficie M M; y si el ángulo de incidencia SP pasa del valor del ángulo límite, entonces el ángulo de refracción valdrá más de 90° , y el rayo refractado toma una dirección P Q dentro del mismo medio en que está el rayo incidente, no existiendo verdadera refracción, por lo que el fenómeno se llama reflexión total, que se origina, por tanto, siempre que los rayos luminosos, al pasar de un medio más a otro menos refringente, incidan sobre la superficie de refracción bajo un ángulo superior al ángulo límite; el ángulo límite del agua al aire tiene un valor de $48^\circ, 35$, y el del vidrio al aire, de $41^\circ, 48$.

423. Efectos notables de la refracción. -La refracción de los rayos solares en las capas atmosféricas origina la denominada refracción atmosférica, a la que se deben los crepúsculos, el aparecer los astros más altos que lo que realmente están y el verse algunos de ellos aún después de pasar el horizonte, y especialmente los fenómenos de espejismo o espejeo, que consisten en ver en las grandes llanuras, caldeadas por el sol, reproducidos los objetos como si estuvieran invertidos debajo de la tierra, la cual obra, en este caso, como un gran espejo.

Este fenómeno del espejismo (fig. 138), observado primeramente por Monge en el Egipto, se aprecia en las llanuras áridas, como en la región de la Mancha, en España, y se explica por un fuerte calentamiento de las capas inferiores de la atmósfera que están en contacto con el suelo, cuyo caldeo determina efectos especiales de refracción que originan este curioso fenómeno.

424. Medios refringentes. -Se dicen medios refringentes todos los que son capaces de refractar la luz, dividiéndose, según la forma y disposición de las superficies que los limitan, en tres grupos, que son: medios terminados por caras paralelas, prismas ópticos y lentes.

425. Medios limitados por caras paralelas. -En los medios ópticos de esta naturaleza se verifica que el rayo incidente se refracta al entrar en el medio refringente, y al salir de él origina un rayo emergente, que es paralelo al incidente, de lo que se deduce que estos medios sólo desvían paralelamente los rayos, siendo esta desviación tanto mayor cuanto más grande sea el espesor del medio; se emplean en las ventanas, balcones, cuadros, etc., y para hallar el índice de refracción de los cuerpos sólidos.

Se demuestra esto, sabiendo que al pasar la luz del aire al medio satisface al índice de refracción $n = \frac{\sin i}{\sin r}$, y al salir del medio al aire, su índice será inverso de éste $\frac{1}{n} = \frac{\sin i}{\sin r}$, y por tanto: $\sin i / \sin r = \sin r / \sin i$; pero como los ángulos r e i son iguales, por alternos internos, sus senos también lo serán; luego: $\sin i = \sin r$, o: $i = r$, y como estos ángulos tienen por construcción un lado paralelo, el otro también lo será; es decir, el rayo incidente es paralelo al emergente.

426. Prismas ópticos. -Son medios refringentes, limitados por caras planas no paralelas. Los usados generalmente son prismas de sección triangular, de vidrio o cristal, montados sobre un soporte (figura 139), que les permite toda clase de movimientos; en estos prismas, las caras por donde entra y por donde sale el rayo luminoso se llaman cara incidente y cara emergente; el ángulo que forman, ángulo refringente, y la arista de éste, arista refringente; la cara opuesta a esta arista (que puede faltar) se dice base, y la sección del prisma, sección principal del mismo.

Los prismas ópticos producen una modificación, llamada desviación, en la dirección de los rayos luminosos que pasan por ellos, y también, generalmente, determinan una alteración en la naturaleza de la luz, a lo que se denomina descomposición de la luz, y cuyo fenómeno se estudiará más adelante.

427. Refracción al través de los prismas. -Todo rayo de luz S (fig. 140), al incidir sobre una cara de un prisma óptico, atraviesa éste, saliendo por la cara opuesta; en este hecho se verifican dos refracciones: una al pasar el rayo del aire al prisma, y otra al salir de este prisma al aire; si un observador recogiese el rayo S al emerger del prisma, vería el cuerpo originario de la luz en la prolongación de dicho rayo, por lo cual la imagen del cuerpo aparecería como si estuviese más alta o más baja, según la colocación del prisma, de la posición que ocupa; y esto, que puede experimentarse mirando un objeto cualquiera al través de un prisma, constituye el fenómeno llamado desviación de la luz, que puede calcularse midiendo el ángulo de desviación D, o sea el formado por las prolongaciones de los rayos emergente e incidente.

428. Variaciones de la desviación. -El valor del ángulo de desviación en los prismas depende de las condiciones siguientes:

1.^a De la naturaleza del prisma, según se ve con el poliprisma (fig. 141), que es un prisma formado por la unión de otros varios, de substancias diferentes, con sus aristas en prolongación, en el que la luz incidente sale desdoblada en tantos rayos diferentemente desviados como prismas forman el poliprisma.

2.^a Del valor del ángulo refringente, como se prueba (figura 142) con una vasija en forma de prisma, con dos caras de cristal, m, n, movibles por una charnela para variar el ángulo que formarían si se prolongasen, el cual es el ángulo refringente; si en este prisma hueco se echa agua y se hace incidir un rayo de luz S por una de las caras de cristal, saldrá desviado por la otra, variándose esta desviación al girar una de esas caras sobre su charnela, lo que supone alterar el ángulo refringente.

3.^a Del ángulo de incidencia, como se demuestra experimentalmente mirando un objeto con un prisma y moviendo luego éste, con lo cual se alterará también la posición de la imagen vista.

429. Desviación mínima. -Si se observa un objeto al través de un prisma y se hace girar este prisma, se verá variar la desviación del objeto con relación a la posición real que tiene y llega un momento en el que se produce la menor desviación posible; el ángulo de

desviación en este caso es el ángulo de desviación mínima, que corresponde a aquella dirección del rayo en que resultan iguales los ángulos de incidencia y de emergencia (figura 140, $i_1 = i_1'$), o en la cual la bisectriz del ángulo refringente es perpendicular a la dirección I, I, que lleva el rayo en el interior del prisma.

430. Uso de los prismas. -Los prismas son usados como objetos de adorno, también como reflectores, diciéndose entonces prismas de reflexión total, y presentando generalmente la forma de prismas triangulares rectángulos; empléanse también los prismas en la Física para calcular el índice de refracción de las sustancias y para descomponer la luz blanca.

431. Lentes: definición y división. -Se llaman lentes los medios transparentes limitados por una o dos caras curvas; si estas caras son partes de superficie esférica, las lentes se denominan entonces lentes esféricas, las cuales se dividen en dos grupos: uno, que comprende las que tienen sus bordes delgados y reúnen los rayos luminosos que las atraviesan, llamadas lentes convergentes, y otro, en el que se incluyen las lentes de bordes gruesos, que separan los rayos de luz y se denominan lentes divergentes.

En cada uno de estos dos grupos se consideran tres tipos diferentes de lentes, que son (fig. 143): las biconvexas A, plano-convexas B y cóncavo-convexas C, o meniscos convergentes, para el primer grupo, y las bicóncavas D, plano cóncavas E y convexo-cóncavas F, o meniscos divergentes, para el segundo, cuyos nombres están indicando la forma de las superficies limitantes; los meniscos se distinguen entre sí por la disposición de sus superficies, puesto que mientras en el menisco convergente la superficie envuelta es de mayor radio que la envolvente, en el menisco divergente sucede lo contrario, siendo la envuelta de menor radio que la envolvente.

432. Elementos de las lentes. -En el estudio de las lentes es preciso conocer los términos siguientes (figura 144): se llaman centros de curvatura los centros C, C de las esferas que limitan las lentes; eje principal, la recta que une estos centros C, C, y en las lentes que tienen una cara plana será la perpendicular trazada a esta cara desde el centro único de curvatura; vértices, los puntos A y B de intersección de las caras con el eje; espesor, la distancia A B existente entre los vértices; sección principal, la sección de la lente producida por un plano que pasa por el eje principal; abertura de la lente, el ángulo formado por los radios que terminan en los extremos; ejes secundarios, todas las rectas que pasan por el centro óptico O.

Se llama centro óptico el punto O del eje principal que tiene la propiedad de que los rayos que pasan por él no sufren desviación al atravesar la lente; este centro se determina trazando desde los centros de curvatura C, C dos radios paralelos entre sí, y uniendo los extremos de estos radios, el punto O, en que esta línea de unión corta el eje, será el centro óptico buscado, el cual está en el interior de la lente en las biconvexas y bicóncavas, ocupando el punto medio de la línea que mide el espesor si son simétricas, y fuera de la lente en los dos meniscos, así como en las lentes que tienen una cara plana, está en el punto de intersección de la cara curva con el eje.

433. Refracción en las lentes esféricas. -Para facilitar este estudio se suponen las lentes de pequeña abertura y de espesor despreciable, y se toman como tipo la biconvexa o la bicóncava, simétricas, representadas en su sección principal; análogamente a lo hecho en los espejos, se empezará por hallar las imágenes de un punto para determinar luego las de los cuerpos.

Las lentes pueden mirarse como formadas por elementos prismáticos y aplicar a ellas lo dicho para la refracción en los prismas.

434. Lentes convergentes; formación de focos. -En la determinación de la imagen de un punto luminoso ocurren varios casos que se deducen de considerar que el punto se va acercando desde el infinito a la lente:

1.º Si el punto está en el infinito y envía un haz de rayos paralelos al eje, éstos, después de refractarse en la lente, se reúnen al otro lado de ella en un punto del eje que se llama foco principal F (fig. 145); la distancia de este foco a la lente es la distancia focal; si en las mismas condiciones se recibiesen los rayos paralelos al eje por la otra cara de la lente, se marcará a igual distancia de ésta otro foco principal, puesto que estos medios poseen dos focos reales a distinto lado y a igual distancia de la lente.

Como en las lentes la posición de los focos depende del índice de refracción n y de los radios de curvatura R y R' de las dos superficies limitantes, se determinaría la distancia focal por la fórmula, deducida de la de los prismas: $1/F = (n-1) [1/R + 1/R']$, cuya cantidad $1/F$ se denomina poder de convergencia de la lente y se aprecia en dioptrías, o sea el poder de una lente de distancia focal igual a un metro.

Aplicando la fórmula anterior a las lentes simétricas de crown glass, en las que $n = 3/2$, resulta $F = R$, o sea que la distancia focal es igual al radio de curvatura.

2.º Si el punto luminoso está en el eje y a una distancia grande, pero finita (fig. 146), los rayos que envía en haz divergente se refractan, reuniéndose después en un punto del otro lado de la lente, situado entre el foco principal y el doble de la distancia focal, al que se llama foco conjugado, por tener propiedades recíprocas con el lugar que ocupa el punto luminoso.

3.º Cuando el punto se coloca (fig. 147) en el doble de la distancia focal, sus rayos, después de refractarse, se reúnen al otro lado de la lente y a igual distancia de ella.

4.º Si el punto se pone en el eje entre el doble de la distancia focal y el foco principal (fig. 148), los rayos, después de refractados, se reúnen en el otro lado de la lente, más allá del doble de la distancia focal; caso inverso del segundo.

5.º Colocado el punto luminoso en el foco principal (fig. 149), los rayos salen por el otro lado paralelos; caso inverso del primero.

6.º Si el punto está en el eje entre el foco y la lente (fig. 150), los rayos, después de refractarse, salen divergentes; pero, prolongados convenientemente, encontrarían al eje del lado del punto luminoso y a mayor distancia de la lente que aquella a que está dicho punto.

Si el punto luminoso estuviera fuera del eje principal, produciría focos, que también corresponderían fuera del eje, lo mismo que en los espejos, pero conservando respecto a la lente la relación de distancias indicadas; estos focos se determinarían trazando desde el punto luminoso dos rayos, uno paralelo al eje principal, que se refractará pasando por el foco principal, y otro que pase por el centro óptico, el cual se refractará en su misma dirección.

435. Formación de imágenes. -Las imágenes de los objetos en estas lentes se obtienen por la unión de los focos de sus diversos puntos, y pueden experimentarse con una bujía, una lente y una pantalla, viéndose así: 1.º, que los rayos paralelos se encuentran en el foco principal (fig. 145); así, es un medio de determinar experimentalmente el foco principal o la distancia focal de una lente exponerla a los rayos solares y medir la distancia a que hay que poner una pantalla para que se pinte en ella más pequeña y brillante la imagen del Sol; que si el objeto se coloca a gran distancia, pero finita (fig. 146), produce una imagen real, invertida y más pequeña que el objeto, más allá del foco y menos del doble de la focal; si estuviese en el doble de la focal, la imagen sería real, invertida y de igual tamaño, estando a una distancia doble de la focal (fig. 147); al colocarse entre la focal sencilla y la doble produce una imagen real, invertida y de mayor tamaño, más allá de la doble focal (fig. 148); si se pusiese en el foco principal, los rayos saldrían paralelos sin formar imágenes (fig. 149), y, finalmente, si la luz se pone dentro de la distancia focal (fig. 150), los rayos divergentes determinan una imagen virtual, derecha y de mayor tamaño, estando del mismo lado de la lente que el foco luminoso.

436. Lentes divergentes. -En la refracción de la luz en estas lentes se distinguen dos casos principales (fig. 151):

1.º Si el punto luminoso está en el infinito y envía un haz de rayos paralelos al eje, éstos, después de refractarse, salen divergentes; pero, prolongados convenientemente, se encuentran en un punto del eje situado al mismo lado de la lente que el foco luminoso, cuyo punto se llama foco principal de dispersión.

Este foco principal puede determinarse por la fórmula expuesta para las convergentes, teniendo presente los signos de R y R , tomando como positivos los contados desde la lente en sentido opuesto a los rayos incidentes, y también se puede fijar ese foco experimentalmente ennegreciendo una cara de la lente, menos en dos puntos de la sección principal equidistantes del eje, poniéndola a los rayos solares paralelamente al eje y recibiendo en una pantalla las imágenes de esos dos puntos, se mueve luego la pantalla hasta que la distancia entre estas dos imágenes sea doble que la existente entre los dos puntos de la lente, y la distancia de la pantalla a la lente es la distancia focal pedida, que determina el foco principal.

2.º Cuando el punto está en el eje y a cualquier distancia, pero finita, los rayos refractados salen también divergentes y prolongados, se encuentran en el eje al mismo lado de la lente.

Las imágenes de los cuerpos en estas lentes se determinan como en las convergentes, uniendo los focos que corresponden a diversos puntos del cuerpo, cuyos focos se hallarían igualmente en la intersección del rayo paralelo al eje después de refractarse y el que pasa por el centro óptico; las imágenes obtenidas todas son virtuales, derechas (fig. 151 a imagen de A B) y de menor tamaño que el objeto, por lo cual estas lentes se tienen como medios ópticos de disminución de imágenes.

Todo esto podría demostrarse experimentalmente con una lente bicóncava y una bujía.

437. Aberración de esfericidad: cáustica. -En el caso de ser la lente de gran abertura, los rayos paralelos al eje correspondientes a puntos alejados del centro de la lente cortarían a ese eje más cerca que los rayos de la región central, originándose así varios focos que perjudican a la claridad de la imagen, lo que constituye la aberración de esfericidad; y uniendo en la sección de las lentes estos diversos focos, se origina una curva denominada cáustica por refracción, que también se marca en el espacio en forma de una traza de bastante brillantez.

Esta aberración indica la conveniencia de usar lentes de pequeña abertura; si bien Fresnel corrigió este fenómeno en las grandes, formándolas con un sistema de lentes que tiene una lente central, plano-convexa, rodeada de una serie de coronas de lentes soldadas entre sí, estando calculada la curva de estas coronas para que los rayos paralelos de cada una terminen en el foco de la lente central, con lo que los rayos que parten de este foco, después de refractarse, salen paralelos. Este sistema se llama de lentes escalonadas y es de gran aplicación en los faros.

438. Fórmula de las lentes. -Todos los casos de la refracción en estos medios están comprendidos en una fórmula, llamada de las lentes, que se deduce por consideraciones geométricas, o sea trazando en una lente sin espesor un rayo incidente d , su refractado d' , el eje principal y un eje secundario paralelo al rayo incidente, el cual cortará a d en un punto C , y comparando los lados de los dos triángulos semejantes que se forman y sustituyendo después estos valores por los considerados como iguales, medidos sobre el eje principal, $d = p$; $d' = p'$ y $d C = F$, se tendrá, hechas las oportunas transformaciones, la fórmula pedida, que es: $1/p + 1/p' = \pm 1/F$ en la que p , p' y F representan, respectivamente, la distancia del punto luminoso, de la imagen y del foco principal a la lente; el signo de F depende de que la distancia focal se mida en sentido contrario, o en el mismo sentido que la distancia p , siendo en el primer caso positivo, y negativo en el segundo.

Si al aplicar la anterior fórmula, para conocer la distancia p' a que está de la lente la imagen buscada, se encuentran valores positivos, la imagen es real, como sucederá en los cinco primeros casos de las lentes convergentes; pero si el valor contado fuese negativo, la imagen será virtual, cual acontece en el sexto caso de las lentes convergentes, y en todos los de las divergentes.

El tamaño I de la imagen de un cuerpo O se hallará, como en los espejos, por la relación $I/O = p/p$.

Capítulo IV

Dispersión de la luz. -Espectros

439. Dispersión de la luz. Fenómenos generales. -Si se hace pasar por un orificio pequeño o un rayo de luz solar (fig. 152), al recogerlo en una pantalla se pinta en ella una imagen blanca del Sol; pero al interponer un prisma P se marca entonces en la pantalla una imagen alargada R V y formada de una gama de colores en la que se consideran siete principales, que son, a contar de la parte superior de la imagen: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo y violado, cuyos colores se difunden en sus límites con los siguientes, por lo que no puede marcarse una precisa separación entre ellos; este desdoblamiento del rayo de luz solar por la acción del prisma se llama dispersión de la luz, y la imagen coloreada que se produce, espectro solar, así como a los siete colores que principalmente le forman, colores del espectro, y también colores del arco iris, por ser visibles en este fenómeno meteorológico.

440. Análisis y síntesis de la luz blanca. -La dispersión de la luz se ha explicado por Newton, admitiendo que la luz solar está compuesta de varios colores desigualmente refrangibles, por lo que al atravesar un prisma se descompone en siete haces luminosos que se colocan unos a continuación de otros, desde el menos refrangible que es el rojo, al de mayor refrangibilidad, o sea el violeta.

Este desdoblamiento de la luz solar constituye su análisis, por el cual se ve que esta luz está formada de siete colores principales, los cuales son simples, pues no se descomponen al atravesar un prisma, y de refrangibilidad creciente desde el rojo hasta el último, o violado, pues sus imágenes se pintan en distintos puntos de la pantalla, no obstante incidir todos al formar el rayo de luz blanca con igual inclinación sobre el prisma.

Se comprueba esta teoría reuniendo los siete colores citados y viendo con ello formarse la luz blanca, cuyo fenómeno constituye la síntesis de la luz blanca, que se puede verificar de varios modos: bien recogiendo los rayos en que se ha descompuesto un haz de luz blanca que atraviesa un prisma, por otro prisma (fig. 153) que se coloca en posición inversa del primero o por una lente convergente o un espejo cóncavo, lo que produce la luz blanca; bien recibiendo los siete rayos procedentes de la descomposición en siete espejitos convenientemente inclinados, para que al reflejar esos rayos los reúnan en un punto, que se iluminará con luz blanca; y también usando un disco de cartón giratorio, disco de Newton, que tiene pintados en sectores iguales los siete colores, los cuales, por el giro, determinan imágenes que se superponen en la retina, haciendo que aparezca el disco de color más o menos blanquecino.

De esto se deduce que se dicen luces simples las que no se desdoblan (luces monocromáticas o de un solo color), y luces compuestas las susceptibles de desdoblarse por los prismas, diciéndose luces complementarias las que, reunidas, forman la luz blanca: así, por ejemplo el verde y rojo, el amarillo y violado.

441. Aberración de refrangibilidad: sistemas acromáticos. - Uno de los efectos de la dispersión consiste en que al atravesar la luz blanca las lentes, como se descompone y los distintos rayos simples se reúnen en puntos diferentes, dada su desigual refrangibilidad, las imágenes producidas aparecen rodeadas de franjas irisadas, perdiendo con ello claridad y limpidez cuyo defecto, llamado en las lentes aberración de refrangibilidad o cromática, puede corregirse combinando convenientemente varias lentes o prismas para formar un sistema acromático, o sea un medio óptico que refracte la luz blanca sin descomponerla.

Un sistema acromático lo forman una lente convergente de crown-glass y otra divergente de flint-glass, de adecuada curvatura, para que coincidan sus focos en un mismo punto; también dos prismas invertidos, de distintos poder dispersivo e índice de refracción, que determinarían la acromatización para dos colores, generalmente el rojo y el amarillo.

442. Colocación de los cuerpos. -Los cuerpos no luminosos, al ser iluminados por una luz cualquiera, hacen experimentar a ésta ciertas modificaciones, reflejándose más o menos en la superficie del cuerpo y siendo absorbida en cantidad variable, y aun diferentemente para las diversas radiaciones coloreadas que forman la luz iluminante, originándose como resultante de estas modificaciones el llamado color de los cuerpos.

Así, pues, el color de los cuerpos no luminosos es una cualidad dependiente de la naturaleza y modificaciones que sufre la luz que los ilumina, según se experimenta iluminando el mismo cuerpo con luces de distinta coloración y viendo que entonces ofrece diferentes colores (el lacre, rojo a la luz blanca, presenta otros colores iluminado con la luz amarilla, verde...) y también observando que en la oscuridad esos cuerpos no nos ofrecen color alguno.

Los cuerpos que reflejan totalmente la luz blanca, o los que la absorben por completo, se dice, respectivamente, que tienen color blanco o color negro, siendo así que en estos casos no hay verdadero color; los cuerpos transparentes que no absorben la luz se llaman diáfanos, y son incoloros, a no ser que absorban alguna radiación, que entonces les da color, como se observa en las masas de aire y de agua.

443. Espectro solar. -Si la luz solar que penetra por una pequeña hendidura se recoge en un prisma de flint-glass (vidrio a base de plomo), orientado en la posición de la desviación mínima, se producirá, en una pantalla colocada convenientemente, un espectro solar muy claro, en el cual se puede ver que la zona del anaranjado es la menos extensa, y la más, la del violeta, así como que el máximo de iluminación corresponde a la región del amarillo.

Estudiando este espectro solar, se ha visto por Wollaston que no era continuo, pues presenta en dirección paralela a la arista del prisma gran número de rayas oscuras, llamadas rayas o bandas del espectro, de las que, según los estudios de Fraunhofer, ocho eran fijas y más visibles, por lo que las designó con las ocho primeras letras del alfabeto latino, y las

restantes (que elevó a unas 600, aunque otros físicos modernos las han hecho ascender a más de 3.000) las supuso originadas por la absorción en la atmósfera de los colores, a los que sustituyen las rayas en el espectro, por lo que las llamó atmosféricas o telúricas. En las luces blancas no solares se varía la posición, y a veces el aspecto, de las rayas fijas.

444. Espectros calorífico y químico. -Cuando el espectro obtenido con un prisma de sal gema, que por su adiaternancia hace más visible el fenómeno, es recorrido por un termómetro, se observa que la temperatura va aumentando sensiblemente del verde al rojo, y aún más allá, lo que prueba la existencia en el espectro solar de otro espectro calorífico que comprende desde el color verde a una región más allá del rojo, llamada ultrarroja.

Análogamente, si en el espectro solar se estudia el efecto que sus colores producen sobre una sal de plata descomponible por la luz, se observará que la descomposición de esta sal se verifica más rápidamente y con mayor intensidad a partir del color verde, creciendo esta facilidad para alterar la sal o poder fotoactínico hasta el violado y aun más allá, probándose con ello que en el espectro solar se puede admitir también un espectro químico, que comprende desde el color verde a una región ultraviolada.

La producción de los colores se refiere, por los físicos, al número de vibraciones luminosas que se producen en un segundo, análogamente a lo dicho para el tono en los sonidos, existiendo colores que no llegan a afectar la vista, como algunos sonidos no impresionan el oído.

445. Espectros de focos luminosos artificiales. -Si en lugar del sol se emplean cuerpos luminosos, se ve que sus luces ofrecen espectros característicos; los sólidos incandescentes y los líquidos enrojecidos (platino, fundición de hierro...) presentan un espectro continuo sin rayas (también el gas del alumbrado, por el carbón incandescente que tiene en la llama); y los vapores y gases incandescentes dan espectros discontinuos con líneas brillantes, variables en color y posición para cada gas y separadas por espacios oscuros.

La incandescencia de los gases, necesaria para observar su espectro, se realiza por acción eléctrica en los tubos de Geisler; y la producción de vapores de un cuerpo cuyo espectro se quiere analizar se obtiene humedeciendo un hilo de platino en una disolución de sal volátil de dicho cuerpo (las más aplicadas, por ser generalmente las más volátiles, son los cloruros) y poniendo este hilo al calor en un mechero de Bunsen para que se produzcan los vapores y puedan analizarse espectralmente.

446. Inversión de las rayas del espectro. -Los estudios de Kirchhof han demostrado que los cuerpos tienen la propiedad de absorber las mismas radiaciones que emiten, o sea que, como en el calor, su poder emisivo es igual al absorbente; así, el sodio que produce en el espectro una raya amarilla (correspondiente a la raya de Fraunhofer), interpuestos sus vapores en un espectro continuo, producen en éste una raya negra en el lugar de la raya D del espectro solar, demostrando que si bien el sodio emite principalmente rayos amarillos, absorbe también los mismos rayos, produciendo en el espectro una raya negra, perteneciente a un espacio falto de color amarillo.

Esta sustitución de las rayas brillantes por las oscuras se denomina inversión de las rayas y explica en estos espectros con rayas negras, llamados por ello espectros de absorción, las rayas de Fraunhofer, que, tratándose del espectro solar, se consideran como el efecto de la absorción por la atmósfera solar (fotosfera) de los espectros brillantes correspondientes a los vapores metálicos que forman parte del espectro continuo emitido por el núcleo solar incandescente y que se encuentran también en dicha atmósfera y cuya emisión es muy débil: las rayas telúricas serían debidas, principalmente, a la absorción que produce el vapor acuoso atmosférico.

447. Análisis espectral. Espectroscopios. -Siendo diferentes los espectros de los diversos gases y vapores, pueden utilizarse estos espectros para investigar la presencia de muchos cuerpos, aunque estén en cantidades muy pequeñas. Este sensible y preciso medio de investigación se denomina análisis espectral, el cual se realiza sometiendo el cuerpo a una solución de alguna de sus sales al calor del mechero de Bunsen, con lo que se originan los vapores del cuerpo que han de producir el espectro a estudiar.

Los aparatos utilizados para la conveniente producción y observación de los espectros se llaman espectroscopios, de los que el más usado se debe a los físicos Bunsen y Kirchhoff, y consiste, en esencia (fig. 154), en una prisma de dispersión colocado sobre una pequeña plataforma sostenida por un pie y rodeado de tres tubos horizontales: uno de ellos, que es fijo, conduce la luz del foco luminoso al prisma, graduada su cantidad por una abertura variable mediante un tornillo, llamada colimador, teniendo en sus extremos unas lentes convergentes convenientemente puestas para que la luz incida paralela al eje del tubo; el segundo tubo, movable en plano horizontal, sirve para observar el espectro producido, llevando una lente de aumento, y el tercero lleva en su extremo una escala milimétrica reducida y negativa (líneas blancas sobre fondo negro) que se ve coincidiendo con el espectro, lo que permite fijar la posición de los colores y de las rayas de éste.

A veces, para la observación muy detallada, el aparato consta de varios prismas convenientemente colocados, y también suelen tener los espectroscopios en la parte superior de la ventana colimador del primer tubo citado, un prisma de reflexión total, que no deja pasar la luz del foco luminoso, y sí la luz solar, o la de otro foco, produciéndose así en el campo del segundo tubo, superiormente el espectro solar, e inferiormente el originado por luz que viene del foco, lo que facilita el estudio comparativo de los espectros.

448. Aplicaciones del análisis espectral. -Por este radio se han descubierto cuerpos que existen en cantidades pequeñísimas, como el cesio, rubidio, galio, talio, etc., así como se ha reconocido: la composición de la fotosfera; la naturaleza de la luz del sol y de las estrellas, el estado gaseoso de las nebulosas, la presencia de atmósfera en los planetas Júpiter y Saturno (por presentar espectros de absorción) y la carencia de ella en la Luna, y otros varios hechos de interés en la Física y en la Astronomía.

449. Fosforescencia y fluorescencia. -La fosforescencia es una excepción a lo dicho respecto al color en los cuerpos no luminosos, y consiste en la propiedad que tienen algunos cuerpos no luminosos de emitir la luz en la oscuridad cuando han sido expuestos a diferentes acciones, determinándose de varios modos: por acciones químicas, no bien conocidas (fósforo, algunos seres vivos), o por acciones físicas diversas, como el choque,

percusión, insolación, acción del calor, de los rayos X, etc., siendo ejemplos de substancias fosforescentes el diamante, mica, sulfuros alcalinos y alcalino-térreos, urano, etc.

La fluorescencia es la propiedad que tienen ciertos cuerpos de brillar con color especial breves momentos por la acción de radiaciones luminosas, cesando el brillo cuando se interrumpe esta acción; así, por ejemplo, la fluorina, iluminada por el sol, se rodea de un limbo de luz violada o verdosa; también se nota la fluorescencia en las soluciones de fluoresceína, algunos sulfatos alcalinos, en los platinocianuros, compuestos de urano, ácido tartárico, etc.

Capítulo V

Visión humana. -Aparatos ópticos

450. Teoría de la visión humana. -Conocida la estructura del ojo humano, es fácil darse cuenta de su funcionamiento; así, colocado el objeto que emite los rayos luminosos delante del ojo, éste recibe parte de ellos, los cuales atraviesan la córnea y humor acuoso, refractándose algo y llegando al tabique iris, en el cual unos rayos se reflejan (contribuyendo a formar el color de los ojos) y otros pasan por la pupila atravesando el cristalino, en el que se refractan y luego el humor vítreo con nueva refracción hasta terminar en la retina o expansión del nervio óptico, donde se pinta, por intermedio de los elementos histológicos llamados conos y bastoncitos y de una substancia roja que se forma en la oscuridad y se destruye por la luz, llamada púrpura retiniana, una imagen invertida del objeto, cuya impresión es llevada por el nervio óptico al cerebro, donde se convierte en sensación.

El ojo humano, por tanto, puede asemejarse a una cámara oscura, con sus lentes anteriores y diafragma (iris), la pared ennegrecida (red coroidea), y placa para la proyección, que es la retina, que en este caso actúa de placa sensible, si bien esta sensibilidad tiene su máximo en una región de la placa llamada mácula lútea o mancha amarilla, así como existe un punto de sensibilidad nula, denominado punctum coecum o punto ciego; aunque la imagen proyectada se pinta invertida, se ve, no obstante, derecha, sin que de ello pueda darse una explicación satisfactoria, suponiéndose que pudiera ser efecto de la educación de la vista y una rectificación de los juicios por los otros sentidos, y más generalmente se admite que es un efecto psíquico por el que el cerebro refiere las imágenes a la prolongación de los rayos que impresionan el nervio óptico, es decir, al objeto mismo.

Se llama ángulo visual o diámetro aparente del objeto el ángulo bajo el cual se ven los objetos, y que está formado por los rayos que desde los extremos del objeto observado van al centro óptico del ojo, dependiendo la magnitud de este ángulo, y por ello la de la imagen del objeto, de la distancia a que se encuentra éste, y de su tamaño.

451. Poder de acomodación. -El ojo humano tiene sus medios refringentes dispuestos para ver claramente los objetos a una distancia, llamada distancia de la visión distinta, que es de 20 a 30 centímetros; pero, no obstante esto, los procesos ciliares pueden variar la curvatura del cristalino, y con ello su distancia focal, permitiendo la clara visión de los objetos situados a diferentes distancias, a partir de una mínima llamada punctum proximum, y hasta otra que constituye el límite máximo, o punctum remotum; esta cualidad de visión a distintas distancias forma el llamado poder de acomodación, bien manifiesto desde la visión distinta al infinito en un ojo normal o emетро.

452. Anomalías de la visión. -Cuando se disminuye la distancia de la visión distinta y la del punto remoto por excesiva curvatura del cristalino o de la córnea, o por una imperfección en las relaciones de densidades de los medios transparentes del ojo, se produce la anomalía llamada miopía (o cortedad de vista), en la que las imágenes se pintan antes de la retina, que se corrige, aproximando los objetos, o con las lentes divergentes; y si contrariamente dichas distancias se aumentan en relación con el ojo normal por falta de curvatura en los medios refringentes, se tiene la hipermetropía, en la que las imágenes se pintarían más allá de la retina, de la que es muy análoga la presbicia (vista cansada), consistente en falta del poder de acomodación para la visión próxima por debilidad de los procesos ciliares, siendo, como es lógico, propia de los ancianos y corrigiéndose, como la hipermetropía, con lentes convergentes.

También son anomalías el astigmatismo o cualidad de no ver igualmente clara toda la imagen por falta de regularidad en el cristalino, corregible con lentes cilíndricas, y el daltonismo, o confusión de colores.

453. Visión binocular. -La visión binocular es la que se realiza simultáneamente con los dos ojos, diciéndose ángulo óptico el formado por los ejes de ambos ojos que se encuentran en un punto, y explicándose el hecho de no verse nada más que una imagen por la correlación que existe entre los filetes nerviosos de ambos nervios ópticos, que se unen en el quiasma a poco de su origen en los tálamos ópticos del cerebro; el efecto principal de esta doble visión es, además de contribuir a la apreciación de las distancias, el verse las imágenes más claras y dotadas de relieve. En esto se funda el aparato llamado estereoscopio, que una armadura en cuyo fondo se colocan dos fotografías, según se ven los objetos con cada ojo, obtenidas por un aparato fotográfico adecuado, visibles bajo un ángulo igual al de los ejes de los ojos, las cuales, al ser miradas simultáneamente por los dos ojos aplicados a las dos lentes, se ven con el relieve correspondiente.

454. Persistencia de las imágenes en la retina. -Las imágenes retinianas persisten durante algún tiempo, siempre pequeñísimo, en la retina, como se experimenta haciendo girar por un hilo un carbón enrojecido, o también con el disco de Newton, ya descrito, con la confusión de los radios en una rueda que gira velozmente, etcétera, y en este hecho se fundan aparatos de recreo, cual el estroboscopio, que consiste en un aparato giratorio con ventanas estrechas en su pared y dentro del cual se coloca una tira de papel en la que están representadas acciones sucesivas de un movimiento continuado, las cuales, al pasar rápida e intermitentemente ante nuestra vista por las ranuras del aparato, nos representan el movimiento mismo.

Si el anterior aparato se perfecciona, reemplazando la tira de papel por una cinta o película fotográfica, la cual se hace que en su movimiento pase por delante de la lente objetiva de una linterna de proyección, alternando con el movimiento de unas aspas o de otro medio mecánico que separe rítmicamente las imágenes continuas, se produce una proyección amplificada de los movimientos de la vida previamente fotografiados, y el aparato constituye el llamado cinematógrafo, hoy bastante conocido.

455. Aparatos ópticos. -Son aparatos formados por medios refringentes y destinados a favorecer la visión de los objetos; por su fin se dividen en tres grupos: 1.º, aparatos de amplificación de imágenes, o microscopios; 2.º, aparatos de aproximación de imágenes, o anteojos y telescopios, y 3.º, aparatos de proyección, o cámaras de proyección y linternas.

456. Microscopios. -Los microscopios, según dice su etimología, son aparatos destinados a ampliar imágenes, facilitando así el estudio de los objetos pequeños, pudiendo por su sencillez óptica ser simples o compuestos, según que estén formados de uno o dos sistemas de lentes.

457. Microscopio simple. -Consiste fundamentalmente en una lente bi o plano-convexa, que produce una imagen virtual y amplificada de los objetos puestos dentro de su distancia focal; para mayor comodidad, esta lente suele montarse en una armadura, y según la forma de ésta se dice lupa y cuentahilos.

Para trabajos más delicados, cual los de disección, el microscopio simple se forma (fig. 155) con un sistema de dos lentes plano-convexas sujetas en una montura, la cual se sostiene por un soporte sobre una plataforma agujereada en su centro y a la que se hace llegar la luz por un espejo inferior para que ilumine al objeto que se sujeta en esa plataforma; esta disposición, con otros detalles de comodidad, como la existencia de planos laterales para apoyar los brazos, forma el llamado microscopio de disección, de gran interés en anatomía.

Los movimientos que por un tornillo se comunican a la lente, permiten colocar ésta de modo que la imagen se vea con claridad y pureza de detalles, lo que se llama enfocar o afocar el objeto; y el aumento de este microscopio será tanto mayor cuanto menor sea la distancia focal de la lente.

458. Microscopio compuesto. -Este microscopio está formado (fig. 156) de dos sistemas de lentes montados en los extremos de un tubo metálico; uno, que es por donde se mira, llamado ocular, y el otro que se pone junto al objeto y se dice objetivo.

El tubo, portador de los sistemas de lentes, se sujeta a una columna sostenida por un pesado pie de fundición, generalmente en forma de herradura, y puede inclinarse a voluntad para facilitar la observación; debajo del tubo va una plataforma o platina, agujereada en su centro, sobre la que se colocan los objetos a observar, los cuales se iluminan por la acción de un espejo inferior o de un sistema concentrador de luz, llamado condensador, graduándose la cantidad de luz por unos discos, con orificios de diámetro variable, que se ponen en el agujero de la platina y se llaman diafragmas, o por una pieza circular formada de sectores que se aproximan a voluntad mediante un tornillo, dejando en su centro un

orificio variable; este sistema se dice diafragma iris; los movimientos del tubo, necesarios para buscar la mayor claridad y perfección en la imagen vista, o sea para enfocar el objeto, se determinan a mano, o más comúnmente por una cremallera y un tornillo, si se trata de movimientos bruscos; pero para los movimientos lentos y de gran precisión suelen llevar estos microscopios un tornillo micrométrico, puesto sobre la columna.

Los oculares, que están formados por dos lentes plano-convexas, la inferior llamada lente del campo por ampliar la zona de observación, puestas en una armadura tubular, se colocan en el tubo a simple frotamiento, y los objetivos, constituidos por tres lentes en una armadura, de las que la inferior o frontal es de foco muy corto, se unen al citado tubo, bien atornillándolos en su extremo, o bien por una unión especial, llamada escape de bayoneta por su semejanza con el modo de unión de esta arma a su fusil; frecuentemente lleva el extremo inferior del tubo porta-objetivo una pieza giratoria en la que se pueden atornillar dos o tres objetivos, que de este modo, por simple rotación, se colocarán para funcionar, y se llama objetivo revólver.

Sobre esta base esencial se han hecho modificaciones, ya en la parte mecánica del aparato, ya en su parte óptica; como hacer la platina giratoria; construir de dos partes enchufables a voluntad el tubo del microscopio, con lo cual pueden separarse gradualmente los sistemas ocular y objetivo; emplear objetivos de inmersión, o sea que funcionan metiendo la lente frontal en una gota de un líquido puesta sobre el cristal cubre-objetos, a fin de evitar la pérdida de luz, puesto que ésta entonces pasa del cristal a un medio más denso que el aire, ya sea el agua (inmersión en el agua) ya de un líquido tan refringente próximamente cual el vidrio del objetivo y del cubre-objetos (inmersión homogénea) como el aceite de cedro o el monobromuro de naftalina; usar oculares de proyección, o también micrométricos, es decir, que tienen una división con rayas muy finas que sirven para medir los objetos..., etc.

La observación microscópica se verifica poniendo el objeto previamente preparado, en un cristal porta-objetos y cubriéndole con un medio refringente y una delgada lámina de cristal, o cubre-objetos, colocándole luego en la platina del microscopio, con lo cual, una vez enfocado, el objetivo producirá una imagen real, invertida y amplificada del objeto, que, correspondiendo dentro de la distancia focal del ocular, determina la producción por éste de otra imagen virtual, derecha y amplificada de la primera imagen, lo que explica el que los objetos se vean invertidos en este aparato.

El aumento de los microscopios es igual al producto de los aumentos del ocular y del objetivo, determinable experimentalmente por los micrómetros.

459. Aparatos de aproximación. Anteojos. -Estos aparatos están destinados a aproximar aparentemente los objetos al observador, aumentando su diámetro aparente y facilitando así su detallada observación: son los anteojos y los telescopios.

Los anteojos son aparatos formados de la combinación conveniente de lentes y dedicados a la observación de los objetos lejanos, siendo tres los principales modelos.

460. Anteojo astronómico. -Está destinado a la observación de los astros, y consiste (fig. 157) en un tubo metálico T, ennegrecido interiormente, que lleva en un extremo una lente convergente de gran abertura, que es el objetivo, y en el otro extremo penetran, a favor de un tornillo V y una cremallera, uno o dos, A y B, tubos de los que el primero lleva la lente convergente C o sistema de lentes, ocular, provisto de un retículo, o sean dos hilos finísimos cruzados, estando el punto de cruce en la línea de los centros ópticos del objetivo y del ocular, y, además, este aparato suele llevar encima, y paralelamente, otro anteojo pequeño e, llamado buscador, que por tener un gran campo óptico facilita la visión, en el campo del anteojo, del astro que se quiere observar. Como en estos aparatos el objetivo produce una imagen real e invertida del astro, y el ocular otra virtual y derecha de la imagen objetiva, de aquí que las imágenes vistas con este anteojo sean invertidas respecto al astro.

El aumento de estos anteojos está dado, aproximadamente, por la relación F/f de las distancias focales del objetivo y del ocular.

Como ejemplar de extraordinario tamaño merece citarse el presentado en la Exposición de París de 1900, que tenía 60 metros de largo y 1,5 de diámetro, con un objetivo de 1,25 metros de diámetro, y 60 metros de distancia focal; su fin era la observación de la Luna, de la que daba una imagen de más de medio metro de diámetro; para hacer esta observación, dada la fijeza del aparato, se utilizaba un gran sideróstato.

Estos anteojos, muy usados en los Observatorios astronómicos, suelen montarse a veces en direcciones adecuadas para observar bien los astros, y se dicen, según su orientación, anteojos meridianos, o anteojos ecuatoriales.

461. Anteojo terrestre, o de larga vista (fig. 158). -Es análogo en su forma al anterior, aunque más pequeño, y tiene entre el ocular y el objetivo dos lentes convergentes de igual distancia focal y con sus focos coincidentes en un punto, sirviendo estas lentes con la ocular, llamadas en conjunto ocular terrestre, para ver derechas las imágenes, aunque se producen por ello pérdidas de luz a causa de las muchas refracciones que se verifican; generalmente están formados estos anteojos por varios tubos metálicos que penetran a voluntad unos en otros.

Actualmente son muy usados unos anteojos llamados prismáticos (fig. 159), que con pequeña longitud producen gran amplificación y claridad en las imágenes, lo que les hace ventajosos respecto a los anteojos. En ellos los rayos atraviesan el objetivo y sufren en dos sistemas de prismas varias reflexiones totales para luego ir a un ocular formado por dos lentes plano-convexas; se suelen reunir dos a modo de los gemelos de teatro para facilitar la visión.

462. Anteojo de Galileo. -Es un anteojo que tiene una lente convergente objetiva y una divergente como ocular, la cual, recogiendo los rayos procedentes del objetivo antes de que se reúnan, produce una imagen virtual y derecha del objeto; ambas lentes deben estar a una distancia próximamente igual a la diferencia de sus distancias focales, lo que hace que el aparato sea corto y, por ello, cómodo, pero de poco campo visual; siendo su aumento la relación de las distancias focales del ocular y objetivo.

Cuando se reúnan dos de éstos en una misma armadura, teniendo los oculares en tubos independientes y movibles por un tornillo y una cremallera, se forman los llamados gemelos o anteojos de teatro.

463. Telescopios. -Estos aparatos, destinados a la observación de los astros, están formados por la combinación de lentes y espejos, siendo, en lo general, de gran tamaño, por lo que resultan pesados, costosos, sustituyéndose actualmente por los anteojos. Los telescopios, cuya instalación exigía frecuentemente grandes departamentos, pueden reducirse a tres tipos diferentes.

464. Telescopio de Gregory. -Está formada por un gran tubo, que lleva en su fondo un espejo con un orificio en la región central de éste, donde se coloca el ocular; los rayos del astro reflejados en este gran espejo, dan una imagen pequeña e invertida, que reflejada en otro espejo menor puesto a distancia conveniente y frente al primero, daba otra imagen ampliada e invertida de ella, la cual, al ser mirada por el ocular, aparecía como una nueva imagen ampliada y derecha de la anterior, resultando como final una imagen derecha del astro.

465. Telescopio de Newton. -Consiste (fig. 160), en un gran tubo T T, que en su fondo lleva un gran espejo metálico esférico C, que al recibir los rayos del astro, produce una imagen de éste a b, la cual es luego reflejada por un espejo plano m (o un prisma de reflexión total), colocado con una inclinación de 45° y observada por medio de una lente C D, que produce una imagen a b virtual, derecha y ampliada de la primera imagen.

466. Telescopio de Herschell.- Este telescopio tiene en el fondo del tubo que le forma, el espejo convenientemente inclinado para que, al reflejarse en él los rayos del astro, produzcan una imagen invertida cerca del borde donde está el ocular, el cual produce otra segunda imagen directa y ampliada de la anterior.

Foucault modificó los espejos esféricos metálicos, de mucho peso y coste, a causa de su difícil construcción, por espejos de cristal plateado y parabólicos, los cuales resultan más ligeros, de más fácil construcción, y tienen muy corregida la aberración de esfericidad.

467. Aparatos de proyección. -Estos aparatos se proponen representar las imágenes, generalmente ampliadas, en un plano, siendo las principales las cámaras clara y oscura y las linternas de proyección.

468. Cámara clara. -Se utiliza para dibujar fielmente una imagen en un plano, proyectándola sobre el mismo y siguiendo luego sus contornos con un lápiz.

La cámara de Wollaston (fig. 161) consta de un prisma de vidrio A B C D, de lados no paralelos, y cuyos ángulos opuestos A y C valen 135° y 90° , y $67,5^\circ$ cada uno de los otros dos B y D; puesto éste prisma de modo que la cara A D del ángulo recto sea horizontal, los rayos L, que viniendo horizontalmente atraviesan la cara vertical A B, sin desviarse, sufren en la cara opuesta C B la reflexión total, por incidir bajo un ángulo de $67,5^\circ$ superior al ángulo límite del vidrio, y al incidir sobre la otra cara C D vuelven a sufrir otra reflexión

total, saliendo casi normalmente a la cara A D por cerca de su arista D, y siendo recogidos por el ojo del observador, que así verá simultáneamente, en un papel puesto debajo del prisma, la imagen producida por el rayo L y la punta de un lápiz L apoyado sobre el plano o papel, no habiendo ya más que seguir con éste los contornos del dibujo.

Modernamente se han ideado otros muchos modelos de cámaras claras, especialmente para reproducir con exactitud las imágenes vistas al microscopio.

469. Cámara oscura. -El modelo más común es el descrito (véase fig. 105); tiene esta cámara un tubo porta lentes y dos bastidores unidos por un fuelle (cámara de fotógrafos) o en forma de dos cajas, entrante la una en la otra, y el bastidor posterior de cristal esmerilado, en donde se ve la imagen invertida, si bien para dibujarla cómodamente se sustituye esta lámina por un espejo plano, colocado en el fondo de la cámara, con inclinación de 45° , para que refleje la imagen pintándola sobre un cristal de la cara superior, en donde puede dibujarse con un lápiz.

Otro modelo de cámara es el del constructor francés Chevalier, que consiste en un prisma triangular de reflexión total, con sus caras horizontal y vertical cóncava y convexa, respectivamente, encerrado en un estuche metálico abierto por un lado; este prisma se pone en el vértice de una tienda de campaña, en cuyo interior se colocan el observador y un plano para dibujar, en el que se marca la imagen del objeto por sufrir los rayos la reflexión total, en el prisma.

470. Linterna de proyección. -Consiste en esencia (fig. 162) en una caja ennegrecida, con un potente foco luminoso L interior, bien de petróleo, acetileno, gas, y mejor aún, de electricidad en forma de un arco voltaico; los rayos emanados de este foco, reflejados en un reflector posterior M, son recogidos y concentrados en un sistema de una o más lentes C D, llamado condensador, y enviados a una lámina de cristal A B, que lleva el dibujo atravesándola, y recogidos a continuación por un sistema objetivo O R, de foco corto, son proyectados, pintando la imagen A B, invertida y amplificada, sobre el lienzo de proyección E S; por esto las figuras a proyectar, que suelen ser fotografías positivas en cristal (diapositivas), deben ponerse invertidas, y para su colocación debe quedar un espacio entre la linterna propia y el objetivo, variándose las posiciones de éste para el enfoque por medio de tornillos. Cuando este aparato es muy sencillo en sus detalles y de aceite o petróleo, forma un medio de recreo infantil, y se llama linterna mágica.

471. Microscopio de proyección. -Son estos aparatos una variedad de las anteriores linternas, en la que el objetivo, por su gran convergencia, proyecta amplificadas imágenes de objetos microscópicos; consisten estos microscopios en un foco luminoso, que puede ser el Sol, dirigidos sus rayos por un espejo portaluz y un helióstato en el llamado entonces microscopio solar, o un arco voltaico en el denominado microscopio fotoeléctrico, que envía sus rayos a una lente colectora y después a otra condensadora, cuyo foco corresponde al sitio en que se pone el objeto, que por lo común es una preparación microscópica, para que, iluminando fuertemente a ésta, vayan después, los rayos a un objetivo de foco muy corto, que producirá después del enfoque una imagen real y amplificada.

472. Aplicaciones de estos aparatos. -Además del gran interés que tienen las proyecciones en microfotografía y ser estos aparatos medios notables para la enseñanza, de extraordinario valor didáctico, hallan especial aplicación en el cinematógrafo, o proyección animada de escenas de la vida, sorprendidas de modo continuo y rápido en una cinta fotográfica de celuloide, llamada película, do que es la que luego se proyecta convenientemente con la linterna; en los faros o sistemas ópticos potentes de proyección paralela, que por medio de sistemas adecuados de lentes emiten rayos paralelos muy convenientes para indicar a los navegantes los accidentes de las costas; los reflectores o proyectores que existen en los fuertes y en los barcos para proyectar la luz y explorar el espacio en la oscuridad, y en la fotografía.

473. Idea de la fotografía. -La fotografía es el arte de grabar las imágenes por la acción de la luz. Tuvo su origen en los trabajos de Niepce y del pintor Daguerre, en el pasado siglo, y desde el procedimiento primitivo, llamado del daguerreotipo, en el que la imagen se pintaba sobre una placa de plata sensibilizada por los vapores de yodo, se ha ido perfeccionando hasta la época actual, en la que la substancia sensible es una sal de plata (cloruro o bromuro, por lo general), que impregna una capa finísima de gelatina o colodión, extendida sobre una lámina de vidrio, formando las llamadas placas secas, o sobre una cinta de celuloide (películas), en las que se pinta, mediante determinadas operaciones, la imagen, originando el llamado cliché o negativo, del que a modo de matriz pueden obtenerse sobre papeles sensibilizados por sales de plata o platino, principalmente, otras imágenes positivas que forman las propias fotografías.

Las operaciones fundamentales que comprende la obtención de negativas son: exposición de la placa a la luz en un estuche especial (chassis), dentro de la cámara oscura; revelación de la placa en una habitación iluminada por luz roja, metiendo dicha placa en líquidos llamados reveladores (solución de amidol, de hidroquinona, de ácido pirogálico...) fijación de la imagen revelada en la placa, metiendo esta placa en un baño de hiposulfito sódico, disolvente de las sales argentícas no impresionadas por la luz; y lavado en agua abundante, resultando, después de secarse, la negativa o cliché, en la que los tonos de color resultan inversos del original.

La obtención de positivas, cuya idea se debe a Talbot, comprende: exposición de la placa a la luz puesta sobre el papel sensibilizado y en una prensa especial de fotografía, hasta que se vea bien la imagen en el papel: viraje o inmersión del papel en un baño alcalino de sal de oro, que origina un tono violado más agradable y fijo; fijación en baño de hiposulfito, lavado en agua, y, finalmente, secar, pegar en una cartulina y abrillantar por el satinado la positiva o fotografía.

Los detalles técnicos del arte fotográfico no son propios del científico, el cual sólo desea conocer sus fundamentos.

El problema de la reproducción fotográfica de los colores naturales parece encontrarse resuelto ya de modo más científico que práctico por un método debido al físico francés Lippman, fundado en la teoría de las interferencias, que exige aparatos de alguna complejidad, pero que produce sin embargo, fotografías inalterables y bastante perfectas, y actualmente la casa francesa de Lumière prepara placas especiales ortocromáticas, con las

cuales resulta relativamente fácil, y por tanto práctica, la producción de fotografías en cristal coloreadas.

Capítulo VI

Nociones de Óptica física

474. Definición. -Se denomina Óptica física la parte de la óptica que comprende el estudio de todos aquellos fenómenos que dependen directamente de la naturaleza del agente luz.

Los hechos referentes a las cuestiones propias de esta parte de la Física son en extremo complejos; pero su extraordinario interés obliga a dar una ligera idea de ellos.

475. Interferencias de la luz.-Admitido, según la teoría de las ondulaciones, que la luz es el resultado de un movimiento vibratorio, se deduce que las ondas procedentes de focos luminosos idénticos pueden encontrarse y producir otra onda resultante, de intensidad igual a la suma algébrica de las primeras; este fenómeno constituye las interferencias de la luz, las cuales pueden originar aumento o disminución en la intensidad de una luz (según que los rayos que interfieren se diferencien en un número par o impar de semilongitudes de onda) y a veces anulación completa, lo que origina la proposición que luz, más luz, puede producir menos luz y a veces oscuridad.

Estas interferencias fueron demostradas experimentalmente por Fresnel, siendo a la vez este experimento una nueva comprobación de la teoría ondulatoria; el experimento es bastante complejo, y en síntesis consiste en dirigir un rayo de luz entre dos espejos en ángulo obtuso y recoger en una pantalla los rayos reflejados, con lo que por interferir éstos se pintará una franja luminosa, con bandas alternativas claras y oscuras, que se explican considerando las zonas claras como el resultado de encontrarse las ondas que están en igual fase de oscilación, y las oscuras, como el efecto de encontrarse las que están en fase opuesta, lo que produce el reposo vibratorio, es decir, la oscuridad.

476. Anillos coloreados de Newton. -A estas interferencias realizadas entre las ondas correspondientes a los distintos colores espectrales reflejados en las superficies de las láminas, tanto en la exterior como en la interior, se debe la producción de colores o zonas luminosas y oscuras, si la luz es simple, en los cuerpos diáfanos reducidos a láminas delgadas, y de anillos coloreados, si el espesor de éstas no es uniforme, variando gradualmente a partir de un punto, como se ven claramente en el vidrio, láminas de yeso y mica, en las burbujas de jabón, en las gotas de aceite extendidas sobre el agua, etc., y que fueron estudiadas por el físico Newton y se conocen con el nombre de anillos coloreados de Newton; si la luz que ilumina las láminas fuese monocromática, los círculos producidos serían alternativamente claros y oscuros.

477. Difracción de la luz. -También se explica hoy por las interferencias el fenómeno llamado difracción de la luz, que consiste en una modificación que sufre este agente al rozar con los bordes de una hendidura estrecha, o al bordear el contorno de un cuerpo, por lo que aparece iluminado en una pantalla un espacio mayor que el que debía producirse según determina la correspondiente construcción geométrica, presentando la parte iluminada franjas coloreadas, variables.

Este fenómeno, al que se deben las aureolas observables al mirar al través de barbas de plumas, pelos y, en general, cuerpos muy finos, se suponía antes que era debido a una desviación de los rayos luminosos que pasaban por los bordes de los cuerpos opacos, por lo que el P. Grimaldi le llamó difracción; hoy se ha visto que es un efecto de las interferencias.

478. Doble refracción. -Es un fenómeno consecuente a la propagación de la luz en los medios anisótropos (o de elasticidad no igual en todas direcciones) y consiste en la propiedad que tienen ciertos cuerpos de desdoblar el rayo incidente que cae sobre ellos en dos rayos refractados.

Esta propiedad fue observada primeramente por Bartholino el espato de Islandia, donde se experimenta fácilmente, pues colocando un prisma de este cuerpo sobre un escrito, se ve éste doble, y estudiada en los diversos cuerpos, ha hecho ver que unos la presentan, y por eso se llaman birrefringentes, y otros no, y son los denominados monorretrringentes; en los primeros existe una o dos direcciones, llamadas ejes ópticos, en las cuales no se produce la doble refracción, y de aquí que los cuerpos birrefringentes puedan ser uniaxiales (o con un eje óptico) y biaxiales (o con dos ejes).

Los cuerpos uniaxiales pertenecen a los sistemas hexagonal y rómbico (espato, el cuarzo, turmalina) y coinciden en ellos el eje óptico con el de cristalización.

De los dos rayos originados en el fenómeno de la doble refracción, uno obedece a las leyes de Descartes, por lo que se llama, rayo ordinario, pero el otro no satisface a dichas leyes y por ello se denomina rayo extraordinario, así como las imágenes que forman, respectivamente, se dicen también ordinaria y extraordinaria.

479. Polarización de la luz. -La luz que se refleja o refracta en condiciones determinadas adquiere propiedades especiales, entre las que están las variaciones de intensidad y el no poderse reflejar o refractar de nuevo en ciertas circunstancias; esta modificación de la luz, descubierta por Malus, se llama polarización, y la luz que la experimenta se dice que está polarizada; atribúyese este fenómeno a un cambio en la dirección de las vibraciones luminosas, pues mientras en la luz natural las vibraciones son transversales y en todos sentidos, en la luz polarizada estas vibraciones están orientadas en una sola dirección determinada, por lo cual la polarización de la luz es la limitación a un solo plano de las vibraciones transversales de la luz natural.

480. Medios de polarizar la luz. -Son dos los principales: la reflexión y la refracción, ya sea ésta simple, ya doble.

La polarización por reflexión se experimenta haciendo incidir un rayo de luz natural bajo un ángulo de $54^{\circ}35'$ sobre un espejo y dirigiendo el rayo reflejado a otro espejo paralelo al primero, pero que puede girar alrededor del rayo reflejado, con lo cual se observará que no se refleja produciéndose dos mínimos de luz cuando los planos de incidencia son perpendiculares, o sea que están cruzados, realizándose la reflexión que determina dos máximos de luz, en el caso de estar ambos planos paralelos; así, pues, en una rotación completa del espejo superior se producirán variaciones de intensidad de luz que pasarán por dos máximos y por dos mínimos.

Si se variase el ángulo de incidencia del rayo de luz normal sobre el espejo, el fenómeno se produciría, pero más incompletamente; de aquí que el ángulo de incidencia para el cual se produce la polarización del rayo reflejado más completamente, se dice ángulo de polarización, el cual, según Brewster, está ligado por una relación trigonométrica con el índice de refracción del medio reflectante (la tangente trigonométrica de dicho ángulo igual al índice) y corresponde a la posición del rayo incidente en que el rayo reflejado es perpendicular al refractado.

La polarización por refracción simple se obtiene haciendo incidir bajo la incidencia más favorable, que es el ángulo de polarización citado, un rayo de luz sobre una lámina transparente; y para que el fenómeno resulte mejor se suelen poner varias láminas superpuestas sin tener contacto, lo que forma la denominada pila de cristales.

Y la polarización por doble refracción, que es la más usada, por ser la más perfecta, tiene lugar cuando la luz atraviesa un cuerpo birrefringente, pues los dos rayos, ordinario y extraordinario, están polarizados en planos perpendiculares entre sí, coincidiendo el del primero con el plano de incidencia.

481. Aparatos de polarización. -Son aquellos que sirven para polarizar la luz y observar el rayo polarizado; constan, en general, de dos partes: el polarizador, que es el que polariza el rayo, y el analizador, que permite la observación de la luz polarizada. Los medios de polarización más usados son: un espejo en vidrio ennegrecido, la pila de cristales, un prisma, llamado de Nicol, y láminas de turmalina.

El prisma de Nicol consiste en un cristal de espato de Islandia, cortado según su diagonal menor y pegadas las dos mitades con bálsamo del Canadá, y metido en una armadura metálica; este prisma tiene la propiedad de retener el rayo ordinario, dejando sólo salir al extraordinario; y las turmalinas son sustancias mineralógicas que se tallan en láminas delgadas y tienen la cualidad de absorber el rayo ordinario, dejando sólo pasar el extraordinario, que está polarizado en plano normal a la sección principal de la turmalina.

Cuando dos de estos medios se combinan adecuadamente, se tienen los llamados polariscopios, cual el de Norremberg (fig. 163), en el que, sostenido por una armadura formada con dos columnas y unas plataformas circulares y graduadas, se coloca un polarizador, que puede ser un espejo, A, B, o un nicol, y otro analizador, S, también espejo o nicol, pero giratorio, para observar las variaciones de intensidad del rayo polarizado; y las

pinzas de turmalina (fig. 164), que son dos láminas de turmalinas talladas paralelamente a sus ejes, que se engastan en dos discos de corcho unidos por un alambre en forma de pinza.

Si en un microscopio se colocan convenientemente un nicol inferiormente como polarizador y otro superior como analizador, se tiene un microscopio polarizante.

482. Polarización rotatoria y cromática. -Ciertos cuerpos, como el cuarzo y varios líquidos, cuando son atravesados por los rayos polarizados, modifican su plano de polarización; es decir, que el rayo al salir continúa polarizado, pero en un plano distinto del de antes; este fenómeno se llama polarización rotatoria y fue dado a conocer por Arago, denominándose cuerpos dextrogiros los que desvían el plano de polarización hacia la derecha (solución de azúcar de caña, dextrina...), y levogiros si la desviación es hacia la izquierda (levulosa, esencia de trementina, etc.); esto se utiliza para reconocer el azúcar en los líquidos, construyéndose para este fin unos aparatos llamados sacarímetros, tan usados en los análisis.

Cuando un rayo de luz blanca polarizado atraviesa una lámina delgada de un cuerpo birrefringente y un analizador, origina colores muy variados, cuyo fenómeno se dice polarización cromática, y si, dejando fijo el polarizador, se hace girar el analizador, se nota un cambio en los colores de las imágenes; a esto se deben los círculos brillantes y coloreados (fig. 165), atravesados por una cruz negra, que se notan cuando se miran los cristales uniáxicos tallados perpendicularmente al eje óptico entre dos láminas de turmalina con sus ejes cruzados y a luz blanca, o las lemniscatas, especies de elipses (fig. 166) con sus focos rodeados de bandas negras, de forma y disposición variables, según la talla, que se aprecian en los cristales biáxicos.

Estos fenómenos tienen gran interés en los análisis sacarimétricos y en los petrográficos.

Parte tercera

Electrología y magnetismo

Nociones preliminares

483. Generalidades. -La Electrología es la parte de la Física que estudia los fenómenos originados por el agente electricidad.

La electricidad es un agente físico, desconocido en su esencia, al que se debe gran número de fenómenos, cual las atracciones que ejercen ciertas substancias sobre los

cuerpos ligeros; esta atracción, descubierta por los antiguos en el ámbar, o electrón de los griegos, dio origen al estudio de la electricidad.

La importancia del estudio de este agente se deduce de las múltiples aplicaciones que de él se hacen y de las que cada día se van conociendo, así como también del misterio con que se realizan los fenómenos eléctricos, a causa de carecer el hombre de un sentido especial para su apreciación; la electricidad constituye hoy un medio de aprovechamiento de las fuerzas de la Naturaleza, lo que es de sumo interés para la vida de la humanidad.

484. División de la Electrología. -Admítase, para facilitar el conocimiento de los fenómenos eléctricos, que la electricidad actúa como si fuese un fluido, llamado fluido eléctrico, el cual puede permanecer en los cuerpos al estado de equilibrio, no afectando a los sentidos, en tanto no se manifiesta exteriormente, o puede estar en movimiento al través de cuerpos llamados conductores; de aquí que se divida el estudio de la Electrología en dos ramas: electricidad estática, o que comprende el estudio de la electricidad en equilibrio, y electricidad dinámica, o estudio de la electricidad en movimiento por los conductores.

Aceptada esta división por su valor didáctico, aunque sea poco fundamental, y teniendo en cuenta la gran analogía entre los fenómenos eléctricos y magnéticos, puede hacerse tres secciones de esta parte de la Física, que son: electrostática, magnetismo y electricidad dinámica.

Sección 1.^a Electricidad estática o electrostática.

Capítulo I

Generalidades. Electrización de los cuerpos

485 Fenómenos generales. -Ciertas sustancias, como el vidrio, resina, cera, etc., al ser frotadas con una piel de gato o una tela de lana, adquieren la propiedad de atraer los cuerpos ligeros (papel, barbas de pluma...), por lo que se dice que están electrizados, lo que se observa aproximando dichos cuerpos a una esfera de médula de saúco colgada por un hilo de seda de un pie de vidrio (péndulo eléctrico) (fig. 167).

486. Electrización por frotamiento. -De lo anterior se deduce que los cuerpos se electrizan por frotamiento, habiéndose comprobado que esto es un hecho general siempre que las superficies frotadas sean de distinta naturaleza; y si algunos cuerpos, como los metales, por ejemplo, no manifiestan la electricidad cuando se les frota, esto se debe a que

la electricidad desarrollada por el frote no permanece localizada en los puntos frotados del cuerpo, marchándose al través de toda la masa de éstos y de los cuerpos que les rodean.

487. Cuerpos buenos y malos conductores. -Experimentos realizados por Gray hicieron ver que mientras en unos cuerpos al frotarlos sólo se desarrollaba electricidad en los puntos frotados, quedando allí como localizada, en otros esa electricidad se comunicaba a toda la superficie del cuerpo, y si éste se tenía en la mano, se marchaba por el cuerpo del observador a la tierra, que hacía, por lo tanto, de depósito común; esto hizo que a los primeros se los llamase malos conductores de la electricidad, o dieléctricos (vidrio, resina, cera, etc.), y a los segundos, buenos conductores o aneléctricos (metales, cuerpo humano, la tierra, etc.); todos los cuerpos mojados o simplemente húmedos se hacen buenos conductores.

488. Cuerpos aisladores. -Entre los cuerpos malos conductores existen algunos que, por presentar muy marcada su mala conductibilidad, se denominan cuerpos aisladores; puesto que cuando rodean a los buenos conductores evitan el que se marche de éstos su electricidad, aislándolos, por lo tanto, del receptáculo común, que es la tierra: entre estos aisladores están el aire seco (hoy se discute sobre las causas de ser el aire un aislador, admitiéndose generalmente que este efecto es independiente del vapor de agua, obediendo su conductibilidad circunstancial a otras causas), la seda, vidrio; porcelana, gres, caucho, ebonita, etc., siempre que estén bien secos.

489. Electrificación por contacto. -Lo dicho respecto a los cuerpos buenos conductores demuestra que éstos pueden electrizarse también por simple contacto con otro cuerpo electrizado, y que este contacto, verificado en un solo punto, determina la electrificación de toda la masa del cuerpo, por la buena conductibilidad de éste.

490. Atracciones y repulsiones eléctricas. -Cuando se aproxima una barra de vidrio D, electrizada por frotamiento, a la esfera de saúco A del péndulo eléctrico (fig. 167), se ve que ésta es atraída por el vidrio y se electriza por el contacto, para ser repelida en seguida, por estar igualmente electrizados el cuerpo y la bola de saúco; si se hace lo mismo con una barra de resina en otro péndulo, se notarán idénticos efectos; si hecho esto se aproxima la barra de resina al primer péndulo, se observará que hay atracción, lo mismo que si se aproxima la barra de vidrio al segundo péndulo, así como si un tercer cuerpo electrizado se acerca a los dos péndulos anteriores, respectivamente, atraído por el uno y repelido por el otro; todos estos experimentos hacen ver que el vidrio y la resina tienen distintas electricidades, a las que se llamó, respectivamente, electricidad vítrea y resinosa, y, mejor aún, por el efecto opuesto que producen, positiva y negativa, sin que estas palabras prejuzguen idea ninguna de cantidad, escribiéndose con los signos + o .

Al frotar entre si dos cuerpos de distinta naturaleza, se cargan ambos de igual cantidad de electricidad y de distinta clase, como puede probarse con el péndulo eléctrico, que le atrae el uno y le repele el otro, no ejerciendo acción cuando están los dos cuerpos reunidos, por neutralizarse mutuamente ambas electricidades.

491. Ley de las atracciones y repulsiones eléctricas. -De estos experimentos se ha deducido una ley, que dice: los cuerpos cargados con la misma clase de electricidad se

repelen, y si tienen electricidades contrarias, se atraen; más sintéticamente: electricidades de nombre contrario se atraen y del mismo nombre se repelen.

Estas atracciones obedecen a la ley general de las atracciones de masas; es decir, que se verifican en razón inversa del cuadrado de las distancias, según demostró Coulomb con un aparato, al que llamó balanza de torsión, en el que la acción atractiva de dos esferas electrizadas se equilibra por la torsión de un hilo metálico muy fino.

492. Distribución de la electricidad en los cuerpos. -En los cuerpos conductores, como consecuencia de la repulsión mutua que existe entre las partículas eléctricas que forman la carga, la electricidad se reparte solamente por la superficie del cuerpo, como se prueba con una esfera metálica hueca, que tiene un orificio en la parte superior; si esta esfera, que está sostenida por un pie aislador, se electriza y se toca con una varilla que tiene un disco de talco (plano de prueba), primero el interior y después la superficie exterior, se verá con el péndulo eléctrico que la varilla no se ha electrizado en el primer caso y sí en el segundo.

Análogamente se vería con los hemisferios de Biot, que son los hemisferios metálicos con unos mangos aisladores, para colocarlos sobre una esfera metálica, formando entonces su parte exterior; y también por medio de la manga de Faraday, que es una manga de gasa, cónica, que puede volverse por un hilo sujeto al vértice, cambiando con ello, después de la electrización, la superficie externa en interna; e igualmente se vería con una caja metálica aislada y electrizable, según experimentó Faraday.

493. Densidad eléctrica. -Siendo la electricidad sólo apreciable por sus efectos, se ha comprobado por la experiencia que las acciones ejercidas por los cuerpos electrizados dependen de su estado eléctrico, que, por lo tanto, interesa conocer; así se dice densidad eléctrica de un conductor la electricidad que se acumula en cada unidad de superficie; esta densidad depende de la carga del conductor y de la forma de su superficie, pues en un conductor esférico sería uniforme, y en otro elipsoidal la densidad estaría en los extremos de los ejes, en la misma relación en que están éstos.

494. Tensión eléctrica. -La electricidad se retiene en los conductores por la presión y mala conductibilidad del aire exterior en estado de sequedad, lo que prueba la existencia en los conductores de una fuerza que, en virtud de la repulsión eléctrica, trata de vencer la resistencia del medio aéreo circundante, llamada tensión eléctrica o presión electrostática, o sea la fuerza con que la electricidad tiende a marcharse de los cuerpos, difundándose en la atmósfera o en otros cuerpos; esta tensión actúa normalmente a la superficie de los conductores y es proporcional al cuadrado de la densidad.

495. Poder de las puntas. -Uno de los efectos de la relación entre la densidad y la forma de los conductores es que si se supone éste un elipsoide muy alargado, en los extremos de dicho eje tendrá el conductor una gran densidad eléctrica, y por ello una gran tensión; y si terminase en punta, la tensión llegaría a su máximo y, por tanto, la electricidad se escaparía por la punta.

Esta propiedad de la electricidad de marcharse por las puntas forma el llamado poder de las puntas, que se experimenta viendo cómo se inclina una llama colocada junto a un

conductor en punta puesto en un manantial eléctrico por el llamado viento eléctrico, que es un efecto de repulsión de las moléculas de aire electrizadas, pudiéndose probar también con el torniquete eléctrico, que es un eje metálico que lleva superiormente, y en plano perpendicular a él, dos varillas cruzadas entre sí y acodadas en sus extremos, el cual, al ponerlo sobre una máquina eléctrica, deja escapar la electricidad por las puntas acodadas de la cruz y al vencer la resistencia del aire hace girar el aparato en sentido contrario al de los codos de las varillas.

496. Electrización por influencia. -Es otro modo de electrización de los cuerpos, que se realiza siempre que un conductor en estado neutro se pone próximo a un cuerpo electrizado, pero sin tener contacto con él; también se denomina este procedimiento inducción electrostática, designándose el cuerpo electrizado con el nombre de cuerpo influyente o inductor, y el que se va a electrizar, influido o inducido.

Se experimenta la inducción electrostática (figura 168) poniendo un conductor aislado B C, provisto de unos péndulos de saúco en sus extremos, enfrente de una esfera electrizada A y observando que en seguida los péndulos divergen por haberse electrizado el conductor, siendo de nombre opuesto, las electricidades de los extremos de éste, de acuerdo con la ley de las atracciones; así, si el cuerpo inductor A tiene fluido positivo, el extremo B quedará cargado de negativo, y el C de positivo también.

Si se separan los dos cuerpos o cesa la electrización del inductor, el conductor recobra su estado natural, lo que prueba que se neutralizan sus electricidades contrarias, y si se une el conductor a tierra, tocando con el dedo en un punto, cual el extremo C, el péndulo correspondiente vuelve a la vertical y el del extremo B se separa más, por acumularse entonces en él mayor cantidad de fluido que estaba equilibrado con el que se ha marchado, y si entonces se retira el dedo y la esfera A, el conductor queda cargado con electricidad de nombre contrario al de la esfera, cuyo fluido se reparte por todo el conductor.

Faraday, valiéndose de un cilindro inducido en el que introducía una esfera inductora, probó que la electricidad inductora es igual a la carga de electricidad contraria inducida.

497. Electroscopios. -Son aparatos destinados a reconocer el estado eléctrico de los cuerpos, estando fundados en la electrización por contacto y por inducción.

El más sencillo es el péndulo eléctrico (fig. 154), formado por una bolita de médula de saúco, suspendida por medio de un hilo de seda, de un soporte de vidrio; las atracciones y repulsiones de la esfera de saúco se producen al electrizarse ésta por la influencia de los cuerpos que se aproximan, y para reconocer la naturaleza del fluido eléctrico de un cuerpo con el péndulo, es preciso que éste se encuentre aislado y cargado previamente con fluido de signo conocido.

El electroscopio de panes de oro (fig. 169) consiste simplemente en una campana de cristal atravesada por una varilla que termina exteriormente en una esfera A e interiormente en dos laminas de pan de oro a, a, las cuales se separan entre sí cuando se aproxima a la esfera un cuerpo electrizado C; esto en el supuesto de que el aparato estuviese en estado neutro, pues si se encontraba cargado con fluido de nombre conocido, entonces las láminas

podrían separarse o aproximarse más, según que el conductor que se acerca a la esfera tuviese electricidad del mismo o de nombre contrario a la del aparato, lo cual permite reconocer el signo de la electricidad del conductor.

Los aparatos destinados a medir la carga de los conductores eléctricos se denominan electrómetros, siendo, en general, de diferentes modelos, bastante complejos en su construcción y funcionamiento.

Algunos electroscopios se modifican para darles el aspecto de electrómetros imperfectos, según se verifica con el péndulo eléctrico en el llamado electrómetro de Henley, que consiste en un péndulo de saúco sostenido por una lámina de ballena que se mueve sobre un semicírculo, graduado, adaptado a un soporte; sobre este semicírculo se marca la separación del péndulo, que crecerá con la carga del aparato, si bien estas indicaciones no tienen más que un valor empírico; análogamente podría hacerse con el electroscopio de panes de oro, colocando un arco graduado que marcarse el cuánto de la separación de las láminas.

498. Hipótesis sobre los fenómenos eléctricos. -Entre las varias hipótesis hechas para explicar la naturaleza de la electricidad, sólo tuvieron en los tiempos antiguos aceptación dos de ellas: la primera, debida a Franklin, suponía que el agente electricidad era un fluido único imponderable, cuyas moléculas estaban en constante repulsión y del cual los cuerpos tenían cada uno un cuántum determinado que constituía el estado neutro del cuerpo sin manifestarse al exterior, pero que al aumentar o disminuir esa cantidad por diversas causas (rozamiento, contacto), ya el cuerpo se manifestaba electrizado positivamente en el primer caso y negativamente en el segundo.

La hipótesis debida al físico inglés Simmer suponía los dos fluidos vítreo o positivo, y resinoso o negativo que en cantidades iguales se encontraban en los cuerpos neutros y que se separaban por el frote, acumulándose cada fluido en uno de los cuerpos frotados; esta teoría ha sido la más aceptada, y aunque se ha abandonado la idea de los fluidos imponderables para explicar lo fundamental de las acciones eléctricas, se admite por su sencillez para darse cuenta clara de algunos fenómenos eléctricos.

Más modernamente Maxwell consideró la electricidad como un movimiento del éter productor de vibraciones, análogamente a como se explican los agentes calor y luz; así, pues, la electricidad podría mirarse, según esto, como una fuerza central sujeta a las leyes newtonianas, lo que se experimenta con la balanza de torsión, diciéndose campo eléctrico todo el espacio donde se hace sensible la acción eléctrica de un conductor aislado y electrizado; líneas de fuerza, las trayectorias que describe la carga unidad positiva sometida únicamente a las acciones de los diversos puntos del conductor creador del campo, cuyas líneas varían con la forma del conductor, y fuerza eléctrica, la causa determinante del movimiento de los cuerpos puestos en un campo, la cual varía con la carga del conductor creador de éste y con la distancia entre el cuerpo y el conductor.

499. Potencial eléctrico. -El hecho experimentado de que uniendo un conductor electrizado con un electrómetro por medio de un hilo largo y fino, se marca siempre la misma indicación en el aparato, cualquiera que sea el punto que se una del conductor, y

aunque éste no sea esférico (lo que supone distinta densidad en sus diferentes puntos); así como el no observarse paso de electricidad al través de un hilo conductor, fino, que uniese dos conductores igualmente cargados por un mismo generador, han hecho admitir el concepto de potencial eléctrico como la causa que conduce a moverse la electricidad de unos a otros conductores al través de hilos también conductores.

Los cuerpos que están a igual potencial no realizan entre sí paso de electricidad cuando se unen; pero si estuviesen a distinto potencial, se produciría un paso de la electricidad positiva del que tiene mayor al cuerpo que presentase menor potencial, hasta igualarse los dos cuerpos en un potencial intermedio. Admitiéndose como igual a cero el potencial de la tierra y tomándole como tipo de comparación, se dirá potencial positivo el superior al de la tierra, y negativo el inferior; por lo que, unido un conductor por un hilo metálico a la tierra, la electricidad se dirigirá del conductor a la tierra si aquél era de potencial positivo, y de la tierra al conductor, si éste es de potencial negativo; es decir, siempre de mayor a menor potencial.

Como el potencial al mover la electricidad realiza un trabajo mecánico, de aquí que pueda definirse el potencial por el trabajo que realiza, diciendo que es el trabajo correspondiente para separar la unidad de la electricidad positiva desde el suelo o punto del infinito al conductor; la diferencia de potenciales entre dos puntos será el trabajo que se realice para mover entre ellos la unidad de electricidad positiva, y si este trabajo fuese nulo, ambos puntos estarían en una superficie del conductor llamada equipotencial, o superficie de nivel, cual las esferas concéntricas con el conductor, si éste fuese esférico; la tierra es una superficie equipotencial de potencial igual a cero.

Todos los efectos del potencial pueden compararse a los de la gravedad, a los de la temperatura de los cuerpos independiente de su cantidad de calor y especialmente al movimiento de los líquidos en vasos comunicantes, sólo dependiente de los diferentes niveles del líquido.

500. Capacidad de un conductor. -La capacidad eléctrica de un conductor aislado y sin acciones eléctricas exteriores se refiere en los conductores a la cantidad necesaria para elevar su potencial en una unidad, cuya capacidad depende de la forma del conductor, y se obtiene dividiendo la cantidad de carga de éste por el potencial.

Todo conductor electrizado es, por efecto del potencial, un manantial de energía eléctrica transformable cuando está en comunicación con la tierra.

Capítulo II

Máquinas eléctricas. -Condensadores

501. Máquinas eléctricas. -Son aparatos productores de electricidad que se almacena en un conductor a un cierto potencial; según el modo de producir la electricidad, se dividen en máquinas de frotamiento y máquinas de influencia, existiendo algunas de carácter mixto.

502. Máquinas de frotamiento. -Entre las máquinas de frotamiento, hoy de escaso interés, puede citarse como modelo la de Ramsden (fig. 170), que en esencia consiste en un disco de cristal que gira por medio de un manubrio en el interior de un montante, siendo frotado por dos pares de almohadillas de cuero unidas por unas láminas de estaño con sus superficies impregnadas de oro musivo (bisulfuro de estaño), las cuales están situadas en la parte superior e inferior, respectivamente, de este montaje; en la dirección del diámetro horizontal del disco existen unas abrazaderas metálicas, provistas de puntas, llamadas peines, que están en contacto con uno o con dos conductores paralelos entre sí, sostenidos por pies aisladores sobre una mesa baja, que forma el soporte del aparato; ambos conductores están unidos transversalmente por otro conductor.

El funcionamiento de esta máquina es sencillo; por el frotamiento, el disco desarrolla electricidad positiva, la cual, descomponiendo el fluido neutro de los conductores, atrae, por intermedio de los peines, la electricidad negativa de estos conductores, que, por lo tanto, quedan cargados de electricidad positiva; el fluido negativo de las almohadillas marcha a la tierra por un conductor o cadena que establece la comunicación de aquéllas con el suelo. El rendimiento de esta máquina depende de la superficie del disco y de la velocidad de la rotación.

503. Máquinas de influencia. -En las máquinas de influencia merecen citarse el electróforo y la máquina de Wimshurst.

El electróforo (fig. 171) es una torta de resina, sobre la que se coloca por medio de aisladores (seda o mango de vidrio) un disco metálico; al golpear la torta con una piel de gato, se desarrolla fluido negativo, el cual descompone por influencia el neutro del disco y uniendo éste con el dedo o una cadenita a tierra, se marcha el negativo al depósito común tierra, quedando entonces dicho disco cargado de electricidad positiva.

La máquina de Wimshurst consiste (fig. 172) en esencia en dos discos A y B de ebonita o cristal, giratorios en sentido opuesto por unas poleas y un manubrio; los discos tienen unas zonas de papel de estaño en la dirección de los radios y dos varillas conductoras con escobillas metálicas a y b perpendiculares entre sí e inclinadas 45° con respecto al diámetro vertical y que establece comunicación entre dos zonas diametralmente opuestas; también lleva unos peines P, en relación con dos conductores terminados en esferas M M, que pueden aproximarse o separarse a voluntad para la descarga por unos mangos de vidrio o ebonita.

La teoría de esta máquina es algo compleja, consistiendo lo fundamental en que al girar por el manubrio los discos en sentido opuesto el uno del otro, el roce de los sectores con las escobillas produce por inducción en éstas una carga inicial a expensas de la cual, y por inducción, se electrizan los discos con electricidad de nombre contrario en las dos mitades de cada disco, y en cada sector del uno y el correspondiente del otro: de este modo mantenidas las cargas contrarias en cada sector y su opuesto, que marchan en sentido

inverso, al pasar por los peines atrae, para su neutralización, la electricidad de nombre contrario, y los conductores quedan así cargados, el uno con electricidad positiva y el otro con negativa, con lo cual se recoge el fluido de signos contrarios en cada peine colector, pasando a las ramas M M, entre las que se hace saltar la chispa en la descarga. Se aumenta la energía de esta máquina poniendo los conductores en comunicación con dos condensadores C + C unidos entre sí D + D y con el suelo, y, sobre todo, construyéndolas, como se hace hoy (en España se construyen modelos muy notables), con seis, ocho y hasta doce discos, cuyos modelos son de extraordinaria energía.

El modelo debido al constructor alemán Holtz tiene uno de los discos fijo; y el construido por Carré es del tipo mixto, con dos discos giratorios, uno de cristal, que se electriza por frotamiento, y otro de caucho, que lo hace por influencia.

Todas estas máquinas apenas se usan hoy, pues su aplicación se reduce a los laboratorios de Física y de Medicina casi exclusivamente.

504. Condensadores eléctricos. -Fundándose en el hecho casualmente descubierto por el físico Cuneus en la ciudad de Leyde (Holanda), y hoy fácilmente experimentable, de aumentarse la capacidad de un conductor cuando se aproxima a otro del que le separa un dieléctrico, se han construido los llamados condensadores, que son sistemas de conductores dispuestos para aumentar grandemente la capacidad eléctrica de uno de ellos, lo que permite acumular en él cantidades grandes de electricidad.

Están formados los condensadores por un sistema de dos conductores o armaduras, separados por un dieléctrico y dispuestos de modo que uno de ellos, llamado colector, unido a una máquina generadora de electricidad, admita por la influencia del otro platillo, que debe estar en comunicación con la tierra, una carga más grande que la que admitiría aisladamente; este segundo platillo se denomina condensador.

El condensador de AEpinus fue el primero que se construyó, y consiste en esencia en dos discos metálicos (colector y condensador), sostenidos por pies aisladores, separados entre sí por otro de cristal, también aislado, pudiéndose los primeros aproximar a voluntad al segundo.

505. Botella de Leyden. -Son más convenientes para su uso los condensadores cerrados, cual el llamado botella de Leyden (en recuerdo de la ciudad del experimento de Cuneus), que consta (fig. 173) de una vasija de vidrio en forma de botella, recubierta exteriormente de papel de estaño hasta cerca de su cuello, cuya cubierta forma la armadura externa, y que tiene dentro láminas de pan de oro en contacto con una varilla metálica que sale al exterior por el cuello de la botella, terminando, por lo general, en forma de gancho, para poderse colgar fácilmente; estas láminas y la varilla constituyen la armadura interna; el dieléctrico está representado por el vidrio, de aquí que sea conveniente que el cuello y parte no cubierta de la botella estén protegidos por un barniz aislador.

Se carga esta botella colgándola de la máquina, y comunicando su armadura externa con el suelo; el aumento en la capacidad, y con ello en la carga, depende del potencial del generador, del poco espesor del dieléctrico y más prácticamente del aumento en las

dimensiones de las armaduras, por lo cual pueden reunirse varias botellas, por lo general con su boca ancha o bocales, de modo que comuniquen, por sus armaduras internas, en una caja de fondo metálico, el cual sirve de medio de unión a sus armaduras externas, originándose así las llamadas baterías eléctricas, de bastante energía (batería en superficie); también podrían asociarse uniendo cada botella por su armadura externa con la interna de la siguiente (batería en serie o en cascada).

Volta utilizó estas teorías para reemplazar la esfera de su electroscopio por un disco barnizado, sobre el que colocaba otro disco, también barnizado, formando un condensador cuyo dieléctrico eran las capas de barniz (electroscopio condensador de Volta).

506. Influencia del dieléctrico. -En estos condensadores, el dieléctrico es de gran interés, pues en sus caras es donde realmente se retiene en su mayor parte la electricidad, según se ve con una botella de Leyden desarmable, o botella de armaduras movibles, que cargada primero y desarmada después, no manifiesta la electricidad en sus armaduras, y sin embargo se hace claramente visible al armar nuevamente el aparato.

507. Descarga de los condensadores. -El modo más frecuente de descargar los condensadores es haciendo saltar la chispa eléctrica entre las armaduras, lo que sucede a causa de vencerse la resistencia del dieléctrico, y se practica cogiendo la botella con una mano por la armadura externa y aproximando la otra a la interna (figura 173); si bien, para evitar las conmociones desagradables que acompañan a la descarga, se suele realizar ésta valiéndose de una especie de compás metálico cuyas ramas P, P son las que tocan con ambas armaduras, formando el llamado excitador, que está comúnmente provisto de mangos aisladores de vidrio M, M y que permite hacer la descarga A, sin ningún cuidado.

Además de este modo brusco de descarga, denominada descarga disruptiva, pueden descargarse los condensadores uniendo ambas armaduras con un conductor, el cual entonces aumentará de temperatura, constituyendo este procedimiento la llamada descarga conductiva, y aun lentamente se puede descargar todo condensador a través de los gases más o menos enrarecidos, lo que se denomina descarga convectiva, como se ve poniendo un péndulo de saúco entre ambas armaduras para que las atracciones y repulsiones gasten el fluido, o, mejor, valiéndose de un sencillo aparato formado de una botella con su armadura interna, terminada en un timbre y puesta en una tabla sobre la que existe un soporte con otro timbre y un gancho, del que cuelga un péndulo de saúco; este soporte comunica por una lámina de estaño con la armadura externa de la botella, con lo que este pendulillo, atraído y repelido por ambos timbres, gasta la electricidad de la botella.

508. Efectos de la descarga eléctrica; efectos mecánicos. -Son éstos muy variados, clasificándose según su naturaleza.

EFFECTOS MECÁNICOS; entre ellos están el llamado campanario eléctrico (fig. 174), formado por una barra que tiene dos timbres T T, sostenidos por cadenas metálicas y otro intermedio T unido a tierra por otra cadenita, pero suspendido de un hilo de seda; entre estos timbres se colocan dos péndulos de medula de saúco, b, b, pendientes también por un hilo de seda, y colgado el aparato de una máquina eléctrica, las atracciones y repulsiones de los péndulos producen un fuerte repiqueteo; el granizo eléctrico, formado por bolitas de

médula de saúco metidas en una vasija de cristal, con el suelo y un plano interior paralelo a él, metálicos, entre los que saltan estas bolitas cuando, puesto a tierra el suelo del aparato, se comunica el plano superior con una máquina eléctrica: el taladracartas, que consiste en dos conductores puestos en una armadura y entre los que se coloca un papel, tarjeta y aun una lámina de vidrio, las cuales se taladran al saltar la chispa con intensidad proporcionada a la resistencia de estos medios; molinete eléctrico y el viento eléctrico, ya descritos, y otros menos importantes.

509. Efectos térmicos. -Tales son el enrojecimiento, y a veces fusión, de los hilos metálicos, según se practica en un aparato formado por dos conductores metálicos movibles que pueden aproximarse lo que se quiera y apoyarse en una pequeña plataforma, formando el llamado excitador universal; la volatilización de muchas substancias, cual el éter en un mortero tapado por una bolita, que es lanzada por la fuerza elástica del vapor de éter (mortero eléctrico), y la inflamación de los cuerpos inflamables y explosivos; el pistolette de Volta, que es una vasija metálica atravesada inferiormente por un conductor entre el cual y la pared opuesta se hace saltar la chispa para que determine la combinación del oxígeno e hidrógeno que se ponen dentro, lo que se verifica con explosión y lanzando el tapón del pistolette; el porta-retratos de Franklin consiste en volatizar por la chispa una lámina de pan de oro puesta dentro de una prensa adecuada, que tiene en cartón y en forma trepanada el retrato del citado sabio y debajo una lámina de seda en la que se marca con oro reducido, y por ello de color violado, el indicado retrato.

510. Efectos luminosos. -Entre ellos están: la chispa eléctrica, que es un trazo rectilíneo, si es muy corto, en zig,-zag, y brillante si fuese algo largo, que se produce con un ruido seco (debido a la modificación brusca del aire), determinando en el gas en que se produce una luminosidad variable con la naturaleza del gas, según se ve con el huevo eléctrico (fig. 175), que es una vasija ovoidea, de vidrio, en la que pueden introducirse y enrarecerse diversos gases, variando así el aspecto de la chispa, que salta entre unos conductores interiores a, b; el tubo centelleante y el cuadro fulminante, que son un tubo y una lámina en los que se marca una espiral o una figura con trocitos rómbicos metálicos que no se tocan, con la cual, al saltar la chispa, los espacios discontinuos se iluminan y marcan así la espiral o la figura, representada en luz brillante; los tubos de Geissler, que son tubos de vidrio de forma caprichosa, en los que se ponen, gases diferentes enrarecidos y se notan luminosidades variables, frecuentemente estratificadas.

511. Efectos químicos. -Son estos efectos las combinaciones y descomposiciones de muchos cuerpos, como la del amoníaco, la ozonización del oxígeno, la unión del oxígeno e hidrógeno en un tubo resistente llamado eudiómetro, etc.

512. Efectos fisiológicos. -La acción de la chispa sobre un ser vivo produce una impresión desagradable, y aun puede ocasionar la muerte, como se ve poniendo un pequeño animal en la plataforma del excitador universal y haciendo saltar una chispa fuerte; la electrización de un ser vivo, que se consigue poniéndole sobre un banquillo aislador, es decir, con pies de vidrio, y en contacto con un generador electrostático, con lo cual el ser se carga de electricidad, pudiéndose sacar chispas de su cuerpo y notándose cierta tendencia a enderezarse el cabello, por escaparse por él, en virtud del poder de las puntas, algo de electricidad; la cadena humana, o sea el paso de la chispa al través de una serie de personas

unidas por sus manos en forma de cadena y que toquen la primera y la última las armaduras externa, e interna respectivamente, de la botella; al saltar la chispa, todos notarán una conmoción especial en las articulaciones de los brazos, proporcionada a la intensidad de la descarga, por lo que se aconseja que ésta sea moderada; y, finalmente, los notables efectos que como agente terapéutico está produciendo en muchas enfermedades nerviosas.

Sección 2.^a Magnetismo

Capítulo I

Efectos generales del magnetismo

513. Definición. -Se llama magnetismo la propiedad que tienen ciertos cuerpos de atraer las limaduras de hierro y de algunos otros metales que por ser atraíbles en todos sus puntos se dicen sustancias magnéticas.

514. Imanes naturales y artificiales. -El magnetismo fue conocido en un mineral llamado magnetita o imán natural, de fórmula Fe_3O_4 , que se supone se encontró en Magnesia, localidad del Asia Menor.

Este imán transmite el magnetismo por simple frote al hierro dulce o al acero templado, los cuales se convierten en imanes artificiales, que son los más frecuentemente usados, a causa de lo cómodo de su empleo y de la forma regular que se les suele dar.

515. Polos de un imán. -Cuando un imán (fig. 176) se pone en limaduras de hierro, éstas se acumulan en los extremos del imán, disminuyendo la adherencia hasta la línea media, en que es nula; hacia los extremos existen, por lo tanto, dos centros de atracción, que son los puntos de aplicación de la resultante de las acciones magnéticas ejercidas por cada mitad del imán, llamados polos del imán, y en el centro, una línea neutra, la línea que une esos polos es el eje magnético del imán; también es frecuente la presencia, por mala imanación, de polos intermedios, a los que se llama puntos consecuentes.

516. Distinción de polos. -Si a un imán se le da la forma de rombo prolongado, se tiene la llamada aguja magnética; y cuando ésta se cuelga o suspende (fig. 177), convenientemente de su centro de gravedad, se ve que en seguida se orienta su eje, según, aproximadamente, la línea N. S. de la Tierra, por lo que el extremo dirigido hacia su polo Norte se llama, por la generalidad de los físicos, polo Norte de la aguja, marcándose con la letra N o con un tinte azulado, y el opuesto, polo Sur.

Si dos agujas imanadas se aproximan por sus polos se verá que se atraen o se repelen, según que los polos próximos sean de nombre contrario o del mismo; es decir, que en el magnetismo sucede que polos de nombre contrario se atraen y los del mismo nombre se repelen.

517. Procedimientos de imanación. -Son los medios de transmitir la cualidad magnética a una barra metálica, generalmente de hierro dulce o de acero, notándose que mientras el primer cuerpo se imana fácilmente, perdiendo el magnetismo con la misma facilidad, el acero es difícil de imanar, conservando largo tiempo el magnetismo adquirido, lo que se atribuye a una fuerza, llamada coercitiva, muy desarrollada en el acero.

La imanación puede practicarse por el frote de la barra que se va a imanar, ya con un imán (contacto simple), ya con dos que, unidos formando un pequeño ángulo, se corren del centro a cada extremo de la barra puesta sobre los polos opuestos de dos fuertes imanes, levantándolos al llegar a los extremos para volver al centro y repetir varias veces la operación (doble contacto independiente), o con dos unidos por sus polos opuestos y que se corren continuamente de un extremo a otro (doble contacto).

También se realiza esta imanación por acción de la Tierra, y, comúnmente, por acción eléctrica, según se verá más adelante; varias substancias magnéticas cual el hierro, se iman por inducción o influencia al aproximarse a un imán, diciéndose magnéticas (hierro, níquel...) O diamagnéticas (bismuto, antimonio...), según que presenten la polaridad en el mismo o en sentido opuesto que el imán inductor.

A los imanes formados se les suele dar la forma de herradura (fig. 178) para poder utilizar simultáneamente los dos polos, A y B, y es frecuente aumentar la acción de un imán reuniendo paralelamente, y con los polos del mismo nombre juntos, varias barras para formar el llamado haz magnético, según se practica en los imanes potentes, llamados imanes Jamin; para conservar sin pérdida de intensidad magnética los imanes, se aplican a sus polos unas piezas de hierro dulce, llamadas armaduras de los imanes, de las que conviene tener colgados pesos moderados.

518. Hipótesis sobre el magnetismo. -Admítase actualmente completa analogía entre los efectos eléctricos y los magnéticos, abandonando con ello la antigua hipótesis que consideraba el magnetismo como la unión de dos fluidos, boreal y austral, unidos en el estado neutro y separables por la imanación; así, pues, considéranse las acciones eléctricas y magnéticas como manifestaciones de una misma causa, y, según esto, el magnetismo es una fuerza central que satisface a las leyes de Newton, como se puede comprobar con la balanza de torsión.

Siendo el magnetismo apreciable por sus efectos para, una vez comparados éstos, deducir la comparación de las causas magnéticas productoras, hay que admitir la unidad de masa magnética en el sistema C. G. S., que es la masa que repele a otra igual puesta a un centímetro con la fuerza de una dina; campo magnético de un imán es el espacio donde se exterioriza la acción magnética, siendo las direcciones en las que se manifiesta esta acción con el movimiento de las masas magnéticas, las llamadas líneas de fuerza, las cuales se experimentan en el fenómeno del espectro magnético, que consiste en poner limaduras de hierro sobre un cartón colocado encima de los polos de un imán, con lo cual esas limaduras se colocarán en líneas curvas a partir de los polos, representativas de las líneas de fuerza, siendo más abundantes y próximas en donde presenta el campo mayor intensidad; el potencial magnético, análogo en su significación al eléctrico, representa la fuerza con que

un polo magnético, considerado aisladamente, es solicitado a moverse en un campo según una línea de fuerza.

Los campos magnéticos se dicen uniformes cuando son de constante dirección e intensidad, siendo sus líneas de fuerza, rectas paralelas, según acontece en los espacios siempre pequeños que consideramos en la superficie terrestre.

519. Estructura de los imanes. -Cada imán es un conjunto de imanes moleculares no orientados, por lo que no manifiestan su magnetismo hasta que se orientan sus moléculas magnéticas, lo que se realiza con la imanación; esto explica el por qué un imán, al romperse, origina dos nuevos imanes con sus respectivos polos, y éstos producirían otros dos, y así sucesivamente al ir fragmentando los nuevos imanes, de modo que cada molécula tiene los dos fluidos magnéticos, a diferencia de los conductores eléctricos, que en lo general sólo tienen una clase de electricidad.

Capítulo II

Magnetismo terrestre

520. Imán terrestre. -Al actuar la tierra sobre una aguja magnética libre de toda influencia, determina en ella una acción directriz solamente (como se ve poniendo la aguja sobre un flotador y observando que no se traslada), orientándola, es decir, haciendo que dicha aguja tome una dirección determinada, que próximamente es la Norte-Sur de la Tierra.

Esta acción sirvió a Gilbert para mirar a la Tierra como un vasto campo magnético que tuviese en su centro un corto y poderoso imán, situado próximamente en la línea Norte-Sur terrestre, el cual ejercería su acción sobre las agujas terrestres de acuerdo con la ley de las atracciones, por lo que el polo Norte de una aguja corresponde al austral de la Tierra, y el Sur, al boreal.

Así, pues, una aguja cuyos polos son el Norte o austral y el Sur o boreal recibe la acción de la Tierra, que obra sobre ella actuando como un par de fuerzas y determinando la orientación de la aguja, sin que puedan admitirse una componente vertical, porque no se aumenta el peso por la imanación, ni otra horizontal, por no tomar la aguja movimiento de traslación; este par de fuerzas se llama par terrestre y explica las variaciones del imán.

En toda aguja magnética orientada en un lugar, el meridiano magnético de ese lugar se determina por el plano vertical que pasa por el eje magnético de la aguja, cuyo meridiano frecuentemente forma ángulo con el geográfico del mismo lugar; y si dicha aguja pudiera moverse en un plano vertical, no quedaría horizontal, formando un cierto ángulo con el plano del horizonte que pasa por su centro de sustentación.

521. Declinación magnética. -Se denomina declinación magnética para un lugar de la Tierra el ángulo que forman el meridiano magnético y el geográfico de dicho lugar; esta declinación, que será oriental u occidental, según que el polo Norte de la aguja quede al Este o al Oeste del meridiano geográfico, se mide por un aparato llamado brújula de declinación (figura 179).

Consiste esta brújula en una aguja magnética sujeta en el centro de un círculo sobre el cual puede moverse libremente; este círculo tiene marcados los puntos cardinales, y su circunferencia está graduada, correspondiendo el cero al extremo de la línea Norte-Sur: este plano tiene un borde en forma de caja A, y está sobre otro círculo azimutal, graduado, movable por un tornillo y que sirve para fijar el meridiano geográfico; en el borde lleva dos montantes B que forman una armadura, que gira, y cuyo giro se mide con un sector graduado, la cual sostiene un antejo L móvil alrededor de su eje F P y un nivel de aire, estando todo el aparato sostenido por un pie provisto de tornillos calantes para la nivelación.

El funcionamiento consiste en nivelar la brújula y después orientarla de modo que el eje del antejo y la línea Norte-Sur coincidan con la traza del meridiano geográfico; el ángulo que forma el extremo Norte de la aguja con la línea Norte-Sur o 0 180° será la declinación pedida, y aún mejor, para corregir errores, como el eje magnético no suele coincidir con el geométrico de la aguja, se hace que ésta sea móvil, para después de hacer la lectura indicada, colocarla invertida y repetir la lectura, sumar los resultados obtenidos ambas veces y dividir por dos (método de inversión).

522. Compás de marinos. -Los marinos usan una brújula, llamada compás o aguja de marear (fig. 180), que consiste en una caja cerrada con un cristal, sostenida por medio de una suspensión cardano y en cuyo fondo hay un pivote que lleva una aguja magnética, a la que va pegada una lámina de talco o mica que tiene representada la rosa de los vientos; la aguja coincide con la dirección Norte-Sur; sobre la pared interior de la caja está marcada una línea llamada línea de fe, d, que representa la dirección del eje mayor de la embarcación. Colocado este aparato en el puente de la nave y conocido por las cartas marinas el rumbo que ha de seguirse, basta manejar el timón de modo que la línea de fe coincida con ese rumbo.

523. Inclinación magnética. -Se llama inclinación magnética el ángulo que forma la porción austral de la aguja con el plano horizontal que pasa por el centro de gravedad de la misma.

Se mide esta inclinación por la llamada brújula de inclinación que consiste en un círculo vertical graduado, sobre el que puede moverse una aguja, y colocado por intermedio de una armadura sobre otro círculo horizontal graduado, con su nonius, y todo ello sostenido por un pie provisto de tornillos para la nivelación.

Para funcionar, se coloca el círculo vertical en la dirección del meridiano magnético (lo que se consigue por la brújula de declinación, o haciendo mover el aparato hasta que la aguja esté vertical, y después dándole un giro de 90°), y se hace la lectura de la inclinación en la división del círculo.

524. Variaciones de la declinación e inclinación magnéticas. -La declinación sufre variaciones de poco tiempo, diurnas y anuales, que alcanzan su máximo en las horas de sol y en el estío, respectivamente, y su mínimo durante la noche y en el invierno.

Las variaciones anuales producen con el tiempo otras de importancia, llamadas seculares (así, en París era de $19^{\circ} 30'$ y oriental en 1580; y en 1814 era de $22^{\circ} 34'$ occidental y empezó a decrecer hasta valer hoy $14^{\circ} 48'$); también varía la declinación en los distintos lugares de la Tierra y la línea que une los de igual declinación en una época determinada se llama línea isogónica, de gran interés para los navegantes; existen, por último, variaciones accidentales, debidas a las auroras polares, volcanes, terremotos, etc., que en general se llaman tempestades magnéticas.

La inclinación experimenta también variaciones diurnas, anuales y seculares de poco interés. Las variaciones producidas por los lugares se ven en el aumento que sufre la inclinación con la latitud, hasta llegar a 90° en el polo magnético, que, según el explorador Ross, está a unos 20° del polo Norte de la Tierra; en el ecuador magnético la inclinación es nula, y en el hemisferio austral se inclinará el polo boreal hasta valer el ángulo 90° en el polo Sur magnético de la Tierra, que no se ha determinado hasta el día; las líneas que unen puntos de igual inclinación magnética se llaman líneas isoclinas.

En Madrid la declinación e inclinación magnéticas tienen un valor aproximado de 16° Oeste la primera y 58° la segunda.

525. Sistemas astáticos. -Son aquellos en los que está neutralizada total o parcialmente la acción de la Tierra sobre un imán; el más usado consiste en dos agujas igualmente imanadas, puestas paralelamente la una sobre la otra y con los polos invertidos; si los polos de las dos agujas fuesen de igual intensidad, el sistema sería completamente astático, y, por lo tanto, demasiado sensible; pero como esa igualdad es muy difícil que exista, el sistema resulta con un efecto astático igual a la diferencia de las dos acciones que ejerce la Tierra sobre las dos agujas; Thomson ha buscado la compensación poniendo sobre la aguja una barra manada, llamada imán compensador, que actúa en sentido inverso del imán terrestre, graduándose la compensación por la variación de distancia entre el imán y la aguja.

Sección 3.^a -electricidad dinámica

Capítulo I

Ideas generales. -Pilas eléctricas

526. Definición. -La electricidad dinámica constituye una sección de la electrología, en la que se estudia la electricidad en movimiento, así como los efectos que produce.

527. Generalidades. -El estudio de la electricidad dinámica tuvo su origen en ciertos hechos observados casualmente por Galvani en unas ranas, las cuales, después de muertas y

desolladas, experimentaban contracciones siempre que se ponían en contacto en ellas, por dos varillas metálicas, los nervios lumbares con los músculos crurales; este hecho fue explicado por el citado físico comparando la rana con un condensador, en el que las armaduras eran los músculos, y los nervios y los metales hacían el papel de excitador.

Esta hipótesis, puramente fisiológica, fue combatida tenazmente por Volta, quien suponía que la causa de los anteriores hechos era el contacto de los dos metales, que desarrollaban las dos electricidades, las cuales se recomponían en el cuerpo del animal, que, por lo tanto, hacía de verdadero excitador; es decir, que, para Volta, el contacto de dos cuerpos heterogéneos establecía entre ellos una diferencia de potenciales, a la que llamaba fuerza electromotriz, sólo dependiente de la naturaleza y temperatura de los cuerpos, comprobando este principio con experimentos que verificó valiéndose de su electrómetro condensador, y generalizándolo para una cadena formada de varios metales a igual temperatura, la cual presenta una diferencia de potenciales entre los metales extremos igual que si éstos estuviesen unidos directamente (ley de los contactos sucesivos): para este físico eran cuerpos malos electromotores los líquidos y las sustancias no metálicas.

Esta teoría, aceptada en aquella época, fue sustituida luego por otra que atribuía el origen de las corrientes a las acciones químicas que se realizan en el contacto de los cuerpos; hipótesis muy racional, pues de no admitir estas acciones, sería tanto como determinar la creación de la energía eléctrica por el simple contacto, cosa opuesta al principio de la conservación de la energía, además de que experimentalmente se prueba que no se produce corriente si no hay reacción química.

528. Pilas eléctricas. -Estas pilas son aparatos generadores de electricidad en movimiento, en los que se mantiene constante la diferencia de potenciales entre dos conductores de la pila unidos por un alambre metálico.

Teniendo en cuenta la causa productora de esa electricidad, se dividen en pilas hidroeléctricas y termoeléctricas, según que esta causa sean las acciones químicas o el calor producido por un manantial térmico adecuado.

529. Pilas hidroeléctricas; pila de Volta. -Son aquellas en las que el trabajo químico se transforma en electricidad; la primera que se construyó es la llamada pila de Volta (fig. 181), que consiste en una serie de discos alternados de cobre y zinc, estando separado cada grupo de estos dos metales del grupo siguiente por una rodaja de paño impregnada de ácido sulfúrico; cada pareja de los metales, para Volta, o cada pareja con el paño de agua acidulada, para los físicos posteriores, forma el llamado par voltaico o elemento de la pila; el conjunto de elementos de esta pila se coloca sobre una lámina aisladora y entre tres varillas de cristal, de modo que formen una columna (o pila) en la que se unen por un conductor metálico P el disco superior de cobre C, con el zinc Z, del último par; de aquí que esta pila se llame también pila en columna.

Para evitar que la presión de los discos escurriese, y, por lo tanto, secase la rodaja de paño, se modificó esta pila introduciendo cada par voltaico, independiente de los otros, en una artesa que tenía el agua acidulada, y ésta era la llamada pila de artesa; también se modificó por Wollaston, poniendo la lámina de cobre en forma de U, y colocando en su

interior la de zinc para sumergir cada par en una vasija con agua acidulada, uniendo los cobres por unas tiras del mismo metal; a esta pila constituye la llamada de Wollaston.

530. Corriente eléctrica. -En toda pila hidroeléctrica, los metales extremos de la serie de pares voltaicos, en los que se recogen las dos clases de electricidad, forman los polos de la pila, diciéndose electrodos a la parte de ellos sumergida en los líquidos, y reóforos, a los hilos del conductor que se unen directamente a los polos; de estos polos, es positivo el que está a más alto potencial y es menos atacado por el líquido, y negativo el otro; y cuando ambos se unen por un conductor, determinan el movimiento de la electricidad, produciendo la corriente eléctrica, que siempre va del polo positivo al negativo.

El camino que sigue la corriente forma el circuito, constituido de parte o circuito exterior (del polo positivo al negativo por el conductor exterior) y circuito interior (del polo negativo al positivo por dentro de la pila); si el circuito forma un todo continuo, se dice circuito cerrado, y si se interrumpe forma el circuito abierto.

531. Polarización de las pilas. -Todas las pilas indicadas tienen el inconveniente de irse debilitando hasta anularse la corriente, bien por gastarse el ácido, bien por cubrirse el electrodo cobre de hidrógeno, cuya resistencia consume, para ser vencida, bastante energía, o porque al recombinarse los productos originados producen corrientes de sentido opuesto, actuando de fuerza contraelectromotriz; todas estas pérdidas constituyen la polarización de las pilas, evitada hoy casi por completo con el empleo de sustancias despolarizantes, ricas en oxígeno y ávidas de hidrógeno, pudiendo ser sólidas o líquidas y de naturaleza salina, ácida o ser un óxido.

Muchos son los modelos existentes, de los cuales se citarán algunos.

532. Pila de Daniell (fig. 182). -Formada por un vaso V de cristal o gres con agua acidulada, en el que se introduce un cilindro de zinc Z abierto según una generatriz; un vaso poroso D con una disolución saturada de sulfato de cobre como despolarizante y un cilindro de cobre C interior a este vaso, como polo positivo; esta pila es muy constante y se modificó por Marie-Davy sustituyendo el sulfato de cobre por el mercurioso, y el cobre por el carbón de retortas; Minotto y Callaud hicieron otra modificación suprimiendo el vaso poroso y realizando la separación de los líquidos por sus densidades.

533. Pila de Bunsen. -Es muy análoga a la anterior, y tiene un vaso con agua acidulada, el zinc, un vaso poroso con ácido nítrico concentrado como despolarizante, y un carbón de retortas, que es el polo positivo; esta pila es enérgica (cerca de dos voltios), pero desprende vapores nitrosos perjudiciales.

534. Pila de Grenet (fig. 183). -Es de bicromato potásico, y consta de una vasija en forma de botella donde se pone una solución en agua acidulada del despolarizante bicromato potásico; la tapa es de ebonita y lleva una lámina de zinc Zm entre dos de carbón c, c, sumergibles en el líquido anterior, la de zinc a voluntad, y comunicando al exterior por unos botones en los que se sujeta el conductor; esta pila es enérgica (más de dos voltios), pero de imperfecta despolarización, la que se realiza formándose alumbre de cromo, a expensas del hidrógeno, cuyo alumbre se disuelve en el agua.

535. Pila de Leclanche (fig. 184). -Consta de un vaso en el que se pone una solución de sal amoníaca, sumergiéndose en ella un cilindro de cinc, Z (polo negativo, A), y una lámina de carbón (polo positivo, B), rodeado de dos conglomerados formados con carbón de cok y bióxido de manganeso (despolarizante), o metida en un vaso poroso y rodeada de dicha mezcla; esta pila es de poca energía (1,4 de voltios), pero muy económica, y por ello muy usada; en su funcionamiento se produce cloruro de cinc, y la polarización produce, por el hidrógeno, agua y sesquióxido de manganeso.

En todas las pilas que tienen cinc conviene sustituir éste por el cinc amalgamado, que presenta la ventaja de ser sólo atacado a circuito cerrado.

536. Pilas secas. -Las llamadas pilas secas pueden referirse a la pila de Volta, en la que el paño está sustituido por una substancia higrométrica; o la de Leclanche, inmovilizando el clorhidrato con gelatina o agar-agar; así, la de Zamboni consta de más de 1.000 discos de papel estañados por una cara y cubiertos de bióxido de manganeso, por la otra.

537. Asociación de pilas. -Para utilizar el efecto simultáneamente de varias pilas, pueden éstas reunirse o asociarse de modos diferentes,

En serie o tensión (fig. 185), que es cuando cada polo, A o B, de una pila se une al contrario de otra, quedando libres el primer polo positivo, P, y el último negativo, N, entre los cuales se produce una diferencia de potenciales igual a la suma de las diferencias de cada elemento en particular.

En batería o superficie (fig. 186), o sea cuando se unen los polos del mismo nombre, A y B, y se ponen en contacto estas uniones, P, N, lo que produce una diferencia de potenciales igual a la de un solo elemento, disminuyéndose la resistencia de la pila y determinándose el efecto como si se aumentase la superficie de ésta. Así, pues, este sistema conviene cuando la resistencia exterior del circuito, C, es menor que la interior, y, en caso contrario, el primer sistema; también pueden emplearse sistemas mixtos de asociación.

538. Pilas termoeléctricas. -Estas pilas, que pueden producir corrientes intensas, aunque no resultan económicas, tienen su fundamento en el experimento de Seebeck, que consiste en soldar a una barra de bismuto otra de cobre encorvada en forma de circuito (a cuyo conjunto se denomina par termoeléctrico), y calentar una de las soldaduras, con lo que se produce una corriente de la soldadura fría a la caliente, apreciable por la aguja magnética; si, por el contrario, se hubiese enfriado la soldadura con hielo, la corriente se hubiera producido en sentido inverso del anterior, pero siempre con una intensidad proporcional a la diferencia de temperatura de las soldaduras.

También se produciría el mismo efecto con un solo alambre metálico calentado en algunos puntos, siempre que se destruya su homogeneidad por varias torceduras del alambre; la corriente producida así sería muy débil.

539. Pila de Nobili. -Entre estas pilas termoeléctricas están la de Nobili (fig. 187), formada de barras de bismuto y antimonio, soldadas con las soldaduras pares a un lado y

con las impares al otro; estas barras se ponen en una caja rectangular de cobre, P, que sólo deja visibles las soldaduras del mismo nombre que forman las caras de la pila y que tienen los polos X, Y; para su funcionamiento han de estar las dos caras de este prisma a diferentes temperaturas. Ya se ha indicado la aplicación de esta pila en el aparato llamado termomultiplicador.

540. Otras pilas termoeléctricas. -Existen otros modelos de estas pilas, cual la de Clamond, muy práctica, formada de discos superpuestos de hierro y una aleación de cinc y antimonio, calentándose las soldaduras por un mechero de gas; y la moderna de Gülcher, en la que se disponen ingeniosamente en serie lineal los elementos (generalmente 66 en dos series de 33, agrupados en tensión), siendo los electrodos positivos tubos de argenta, por los que sale el gas que se inflama en una pequeña llama y calienta una pequeña pieza de acero o hierro forjado, que conexas estos tubos o electrodos positivos con unos cilindros huecos de aleación de antimonio; éstos son los electrodos negativos y tienen al exterior unas bandas de cobre que sirven en parte a enfriar y en parte a reunir los elementos; produce unos 4 voltios con un consumo de unos 170 litros de gas por hora.

541. Intensidad de las corrientes. -Conocido ya el sentido de las corrientes en los conductores, hay que considerar la intensidad de la corriente, o sea la cantidad de electricidad que atraviesa por una sección del circuito cada segundo; esta intensidad es constante e igual en todos los puntos del circuito, una vez que éste ha llegado a su régimen permanente, siendo proporcional a la fuerza electromotriz, e inversamente proporcional a la resistencia del circuito, o sea a la que ofrece el conductor al paso de la corriente.

542. Resistencia de los conductores; ley de Ohm. -La resistencia que ofrecen los conductores al paso de la corriente varía con la naturaleza de éstos, y se llama conductibilidad eléctrica; el estudio de esta propiedad ha hecho ver que los metales, en general, son buenos conductores, y principalmente la plata y el cobre, y que los líquidos son, por lo común, malos conductores, salvo algunas mezclas, como el agua acidulada al 10 por 100; también se ha experimentado que en un conductor la resistencia aumenta con la longitud y disminuye con el aumento de grueso o sección.

Estas tres cantidades, intensidad I, fuerza electromotriz E, y resistencia R, están ligadas por la fórmula $I = E/R$, llamada ley de Ohm, midiéndose dichas cantidades en relación con unidades que se indicarán más adelante.

543. Fenómenos electrolíticos. -Cuando se interpone en un circuito un líquido, puede suceder que éste sea un aislador y la corriente se interrumpa (agua pura, alcohol...), o que, por el contrario, el líquido sea conductor y, descomponiéndose por la corriente, no interrumpa el circuito (ácidos, disoluciones de bases y de sales); en este segundo caso, el fenómeno se llama electrolisis; el líquido descompuesto, electrolito; los conductores sumergidos, electrodos positivo o negativo, respectivamente, según el polo a que corresponde, o también catodo el negativo y anodo el positivo, y los productos de la descomposición, iones, y según el electrodo sobre el que se depositan, que es el de nombre contrario a su carácter eléctrico (ley de las atracciones), catión y anión, respectivamente.

Estas acciones se han aplicado para determinar los polos con el llamado papel buscapolos que son tiras de papel de filtro impregnadas de disolución de sulfato sódico y de fenolftaleína (como reactivo de las bases, coloreable en rojo). Si en este papel humedecido se colocan los extremos de los conductores puestos en los reforos, el polo negativo (catodo) hace una señal roja por ir a él el sodio en la descomposición electrolítica y forma con el agua, sosa que colorea en rojo a la fenolftaleína.

544. Voltámetro. -Esta electrolisis ha sido aplicada para la descomposición de muchos cuerpos compuestos de la Química, y utilizada en la industria, según se dirá en la Electrotecnia; esta descomposición electrolítica se experimenta para el agua, descomponiendo este líquido en una vasija de vidrio llamada voltámetro (fig. 188), que tiene en su fondo dos láminas de platino en comunicación con los dos polos de una pila; si se coloca agua acidulada (para su mejor conductibilidad) y sobre cada lámina se pone invertida una probeta con el mismo líquido y se hace pasar la corriente, el agua de estas probetas se va descomponiendo en hidrógeno, que ocupará la probeta del polo negativo (por ser dicho cuerpo positivo con relación al oxígeno), y oxígeno, que irá a la probeta del polo positivo, ocupando sólo la mitad del volumen que ocupa el hidrógeno, lo que indica que la composición del agua estará expresada en la fórmula H_2O .

545. Teoría de la electrolisis. -Esta descomposición electrolítica, explicada por el físico Grotthus como el resultado de una orientación de las moléculas del electrolito entre los polos, previo el desdoblamiento en sus dos fluidos, que se neutralizan con los de las moléculas próximas, formando así una cadena hasta las moléculas, que por no tener con quien unirse se depositan sobre los electrodos, se trata de explicar modernamente por la llamada teoría de los iones, debida a Arrhenius, según la cual, las disoluciones suponen la disociación parcial, tanto mayor cuanto menor sea la concentración y la separación de los componentes del cuerpo disuelto, ya sean simples, ya compuestos, diciéndose en este último caso propiamente hidrolisis, los cuales se cargan de electricidad, convirtiéndose en iones (ionización), y son los encargados de transportar la corriente, dirigiéndose ellos a los electrodos de nombre eléctrico contrario para depositarse sobre él, siendo esta acción tanto más enérgica, cuanto mayor sea el número de iones separados.

546. Pilas secundarias o acumuladores. -Los generadores eléctricos, en los que se utilizan las corrientes secundarias originadas por la polarización de los electrodos, se fundan en el hecho de que haciendo pasar por ciertas pilas corrientes de sentido contrario al que ellas producen, se determinan fenómenos químicos contrarios, lo que se denomina reversión de las pilas, y produce cuerpos que, al descomponerse, dan una nueva corriente que se puede utilizar; esto justifica el nombre de pilas secundarias, que se da a estos aparatos, o el de acumuladores, porque la gran superficie de sus electrodos permite la acumulación eléctrica.

El primer acumulador se construyó por Planté, y consta (fig. 189) de una vasija con agua acidulada al 10 por 100, cerrada por un disco de ebonita, en la que se ponen láminas de plomo en forma plana o en forma de hélices, paralelas, pero separadas entre sí y unidas las de orden par y las de orden impar; al pasar una corriente por esta pila, procedente de un par de elementos Bunsen, el hidrógeno que se desprende va al polo negativo, y el oxígeno al positivo, oxidando la lámina de plomo, lo que se llama cargar el acumulador, que debe

sostenerse hasta que se desprendan burbujas gaseosas; y si entonces se unen las láminas con un conductor, la fuerza contraelectromotriz produce la corriente de descarga, reduciéndose a protóxido el peróxido antes formado, y oxidándose la lámina que recibió el hidrógeno durante la carga; estas operaciones de carga y descarga deben repetirse muchas veces durante varios meses para formar el acumulador; es decir, para que produzca una descarga de mucha duración, por haberse hecho sus láminas bastante esponjosas.

Para simplificar el largo período de formación, Faure ideó recubrir desde luego las láminas de plomo de una capa de minio con agua retenida en una hoja de fieltro, y modernamente se hacen las láminas en forma de placas enrejadas, cuyos huecos llevan las sustancias activas; tales son los modelos de Tudors, Peyruson, Gadot, etc.

Los acumuladores bien contruidos suelen rendir hasta un 85 por 100 de la carga recibida, con una fuerza electromotriz de unos dos voltios, siendo variable su capacidad, o sea la cantidad máxima de electricidad que pueden almacenar, siendo estos aparatos muy utilizados, no obstante el inconveniente de su excesivo peso, pues no se ha encontrado otro metal hasta el presente que pueda reemplazar al plomo en la formación de estos aparatos.

Capítulo II

Electromagnetismo y electrodinámica

547. Definiciones. -El electromagnetismo comprende las acciones mutuas que se realizan entre las corrientes y los imanes, así como la electrodinámica estudia las acciones recíprocas que se verifican entre las corrientes.

548. Acciones de las corrientes sobre los imanes. -Los experimentos realizados por el físico (Ersted, basadas en un hecho casual de observación, permitieron afirmar que las corrientes eléctricas actuaban sobre las agujas magnéticas colocadas en el circuito con su eje paralelo a éste, moviéndolas hasta ponerse más o menos en cruz con la dirección de la corriente; más tarde, Ampère, fundándose en los experimentos anteriores, dio una regla para conocer en todos los casos el sentido de la desviación de una aguja magnética puesta en un circuito, la cual se expresa diciendo: si se supone a un observador echado sobre el conductor y mirando la aguja de modo que la corriente vaya en la dirección de sus pies a la cabeza, el polo austral de la aguja se desviará siempre hacia la izquierda del observador; esta determinación se dice personificación de la corriente.

Así, en la figura 190, X es el conductor orientado paralelamente a la aguja A-B, en su dirección Norte-Sur, por el que marcha la corriente en el sentido de la flecha, con lo cual el polo austral A se desviará en el sentido A, tomando la aguja la dirección A·B.

549. Galvanómetros. -Son aparatos fundados en los anteriores principios, que sirven para reconocer la existencia, dirección e intensidad de las corrientes, utilizando para ello la regla de Ampère, y el cuánto de desviación de la aguja magnética.

En el caso de que la corriente fuese muy débil y apenas contrarrestase la acción magnética terrestre, se aumenta su acción arrollando alrededor de la aguja y en el plano vertical de su eje, sobre un marco, muchas vueltas del conductor (multiplicador de Schweigger); y para neutralizar casi la acción terrestre, según Nobili, se usa un sistema semiestático con una aguja interior y otra exterior al circuito; el sistema completamente asiático no es conveniente, pues con su excesiva sensibilidad impediría medir la intensidad, porque cualquier corriente, por débil que fuese, pondría la aguja perpendicular al circuito.

El galvanómetro de Rumkorff (fig. 191), consiste en un multiplicador A B de hilo conductor cubierto de seda que lleva dentro una aguja de un sistema semiestático, cuya aguja superior se mueve sobre un plano circular y graduado de cobre m, estando ambas agujas suspendidas por medio de una armadura de un hilo sin torsión C, y todo el aparato protegido por un fanal de cristal D D; un tornillo V permite preparar el aparato, y los bornes M M sirven para que entre y salga la corriente que viene por el conductor P.

El galvanómetro debido al físico francés Bourbouze (fig. 192), aunque poco sensible, es muy didáctico por la magnitud de la desviación de la aguja, y en él el circuito M M es vertical y en su interior tiene una barra imanada, que descansa sobre un plano de ágata, moviendo una aguja de latón C sobre un cuadrante vertical graduado; una masa m puesta sobre la aguja permite variar la posición del centro de gravedad de dicha aguja, aumentando así la sensibilidad del aparato, y dos pequeñas masas, puestas en los extremos de una barra paralela a la barra imanada, contrarrestan la acción del par terrestre.

550. Shunt de un galvanómetro. -Para corrientes demasiado intensas se pueden hacer, por un conductor adecuado, derivaciones de corriente en proporción conocida, de modo que sólo pase por el aparato una fracción de la corriente total, lo que se llama shunt de un galvanómetro, o emplear galvanómetros diferenciales, en los que hay dos hilos recorridos por corrientes de sentido opuesto, de las cuales una suele ser conocida, de modo que la aguja se mueve por el efecto de la diferencia de ambas; de ser éstas iguales, la aguja no variaría.

551. Rotación de imanes y de corrientes. -Al actuar una corriente sobre un imán, dispuesto convenientemente, o sea flotante, en una probeta llena de mercurio, se observa que este imán toma movimiento giratorio, y si, inversamente, se somete a la acción de un imán una corriente móvil, usando para ello un aparato adecuado, la corriente toma movimiento giratorio hasta cruzarse con el imán, de modo que el polo austral de éste quede al lado izquierdo del sentido de la corriente; la Tierra ejercer también acción sobre las corrientes móviles, poniéndolas cruzadas con el meridiano magnético, cuya acción se evita por medio de conductores, compensadores o astáticos.

552. Electrodinámica. Acción mutua de las corrientes. -Para hacer el estudio de estas acciones se necesitan circuitos susceptibles de moverse, por los que pasan las corrientes

(corrientes móviles), consiguiéndose esta movilidad generalmente con el aparato llamado mesa de Ampère (fig. 193), formada por dos soportes verticales metálicos, C, C, terminados en dos brazos horizontales, que llevan en sus extremos dos tacitas a, a de ágata con mercurio, para el contacto eléctrico, de las que se cuelgan, por medio de unos ganchos, los circuitos de forma variable, los cuales pueden moverse fácilmente.

Con estas corrientes móviles se experimenta que si se aproxima paralelamente a una corriente móvil otra fija, ambas se atraen o repelen, según que vayan las corrientes en el mismo o en sentidos opuestos; y si las corrientes son angulares, se atraen o repelen, según que las dos lleven el mismo sentido con relación al punto de cruce, o que, por el contrario, la una se aleje y la otra se aproxime a dicho punto.

Toda corriente sinuosa tiene la misma acción que una rectilínea que terminase en sus extremos, pues se considera como dos hilos paralelos muy próximos que llevan corrientes contrarias, las cuales se anulan. También si una corriente fija y rectilínea actúa sobre otra móvil perpendicular a ella, hace moverse a ésta paralelamente en el mismo o en sentido opuesto que la fija, según que ambas corrientes tiendan a separarse o a encontrarse; y si ambas estuviesen en el mismo plano, igualmente se movería la corriente finita alrededor del centro fijo; análogos fenómenos se observarían en las corrientes móviles cerradas, todo lo cual constituye la llamada rotación de corrientes, de fácil experimentación, que fueron estudiadas por el físico Augusto de la Riva.

553. Solenoides. -Como la energía de los circuitos aumenta con el número de vueltas iguales y paralelas que los constituyen, Ampère ideó los llamados solenoides, que son sistemas de corrientes circulares próximas, iguales y paralelas, cuyos planos son perpendiculares a una línea que une los centros de los círculos limitados por esas corrientes y que es el eje del solenoide; pero siendo este modo de constitución irrealizable en la práctica, el solenoide usado se forma (fig. 194) con una hélice de cobre, forrada de seda, cuyos extremos se encorvan en C y D para constituir dos líneas paralelas al eje de las vueltas, que luego se doblan en ángulo recto para terminar en unos ganchos, P y Q, que permiten colgarlos como los circuitos.

Los solenoides actúan como los imanes, orientándose convenientemente por la acción de la Tierra o de una corriente y verificando atracciones y repulsiones de acuerdo con la ley de las atracciones de los imanes, cuando se ponen próximos a otro solenoide o a un imán.

554. Teoría magnética de Ampère. -La analogía entre imanes y solenoides condujo al eminente Ampère a mirar el magnetismo como el efecto de corrientes eléctricas que circulaban en todos los sentidos, neutralizándose mutuamente, pero que se orientaban por la imanación de tal modo, que en cada imán las corrientes en su polo austral iban en sentido inverso al movimiento de las agujas de un reloj, y en el boreal sucedía lo contrario.

La Tierra sería, según esto, un solenoide de corriente ecuatorial cerrada que circularía en el Norte, de Este a Oeste y cuyo eje está dirigido, así de Norte a Sur, estando algo inclinado con relación al de la Tierra.

555. Imanación por las corrientes. -Electroimanes.-Otro efecto de las corrientes es la imanación del hierro y del acero. En efecto: si en el interior de un conductor en hélice se introduce una barra de hierro, ésta se imana por la acción de la corriente, y cuando cesa ésta, cesa también la imanación; de aquí que al imán así formado se le llame imán temporal, electroimán o simplemente electro; si la barra fuera de acero templado, también se produciría la imanación, y el imán formado sería permanente, por lo que la industria usa de preferencia, en los imanes de acero, este medio de imanación.

A los electroimanes se les da, generalmente, la forma de herradura (fig. 195), poniendo en las dos ramas dos carretes de cartón, madera o ebonita, que favorecen la rapidez en la desimanación, cuyos hilos están arrollados en sentido inverso A, +B para que se originen polos opuestos; a veces se forman con dos barras paralelas unidas por una de hierro dulce, lo que evita la fuerza coercitiva que se origina en el anterior imán al encorvar la barra en herradura.

Todo carrete con hilo conductor aislado que en su interior presenta una barra, la cual se imana por la corriente, constituye una bobina de gran aplicación industrial.

En los electroimanes puede cambiarse a voluntad la polaridad invirtiendo el sentido de la corriente excitadora, y variarse su intensidad, pues la imanación aumenta con la intensidad de la corriente y con el número de vueltas del conductor, influyendo también la naturaleza del hierro empleado.

Capítulo III

Inducción electrodinámica. -Máquinas de inducción

556. Definición. -La inducción electrodinámica es un modo de originar corrientes, debido a Faraday, y consiste en la producción de corrientes llamadas de inducción o inducidas en un conductor, por la influencia que ejercen sobre éste otra corriente o un imán, los cuales forman el sistema denominado inductor.

De esto se deduce que existen dos clases de inducción: inducción voltaica, en la que la influencia se determina por otras corrientes, e inducción magnética, si es producida por imanes o por la tierra, y por tanto dos clases de corrientes inducidas, denominadas, respectivamente, corrientes dinamoeléctricas y corrientes magneto-eléctricas.

Las corrientes inducidas son de mucha intensidad, y por ello de gran aplicación industrial, pudiendo aumentarse todavía en la inducción voltaica poniendo en la bobina inductora una haz de hilos de hierro dulce, que al imanarse producen corrientes que se suman a la corriente inducida obtenida.

557. Inducción voltaica; corrientes dinamoeléctricas. -Los fenómenos de inducción voltaica se experimentan (fig. 196) con una bobina B, formada de hilo de cobre aislado,

largo y fino, en comunicación por C y D con un galvanómetro C, dentro de la cual se puede meter otra bobina inductora A de menor diámetro, constituida por un hilo conductor aislado, más grueso y corto, y cuyos extremos se unen a los polos de una pila P.

Si se introduce esta bobina inductora en el hueco de la primera, o inducida, se cierra el circuito de la pila citada, se produce en esta última una corriente inducida instantánea de sentido opuesto a la inductora, según indica el galvanómetro; y si entonces se interrumpe, valiéndose de un interruptor de mercurio, la corriente del circuito inductor se determina otra corriente en el inducido, instantánea y en igual sentido que la inductora. Análogos fenómenos ocurrirán si se introduce o se saca bruscamente la bobina inductora en la inducida, o si se aproximan o separan ambas bobinas, o si se aumenta o disminuye el flujo de la corriente inductora de la pila.

Así, la inducción voltaica obedece a estas leyes. Toda corriente que empieza, desarrolla una inducida de sentido inverso, y al cesar aquélla, produce una inducida directa.

Toda corriente que se aproxima al inductor o aumenta de intensidad produce una corriente inducida de sentido inverso, y si se aleja o disminuye de intensidad, la inducida que produce es directa.

558. Inducción magnética. Corrientes magnetoeléctricas. -Esta inducción, en la que el sistema inductor es un imán, se experimenta con la bobina inducida del experimento anterior, en la que se introduce bruscamente un imán, con lo que se produce una corriente inducida, instantánea e inversa con relación al solenoide a que se refiere el imán, y si después se saca este imán, se produce una nueva corriente inducida, instantánea y directa; los mismos resultados se obtienen aumentando y disminuyendo, respectivamente, la acción magnética. Igualmente se realizarían los experimentos introduciendo en el hueco del inducido un haz de alambres de hierro dulce, al que se aproximaría o del que se alejaría el imán.

559. Ley de Lenz.-Este célebre físico dio a conocer una ley que comprende todos los casos de inducción, y que dice: cuando un circuito cerrado se mueve en la proximidad de una corriente o de un imán, el sentido de la corriente inducida que se produce es tal, que las acciones electromagnéticas que desenvuelve tienden a oponerse al movimiento.

Es decir, que si se aproxima el conductor a la corriente, la inducida que se produce en él es inversa (según se ha indicado en la inducción), y, por tanto, es rechazada por la del inductor (en virtud de la acción mutua entre corrientes de sentido inverso), cuya repulsión se opone a que se aproximen; y si se aleja, como la corriente producida, es directa y atraída, por tanto, por el inductor, esta atracción se opone a que se separen.

Esta ley permite conocer el sentido de la corriente inducida en un circuito, producida por las variaciones de posición entre los inductores y el circuito.

560. Autoinducción. -Al establecerse una corriente por un conductor, en virtud del fenómeno general de inducción, produce en su mismo circuito otra corriente inducida, inversa de la primera, que disminuye la intensidad de ésta, y al interrumpir la corriente se

produce una inducida de sentido directo, que se suma a la principal; ambas corrientes se llaman extracorrientes, siendo la segunda más rápida que la primera, y muy intensa aquélla en los electroimanes.

Estos fenómenos de inducción se denominan de autoinducción o self-inducción y explican el por qué no se producen chispas al cerrar el circuito de un carrete y si cuando se abre o interrumpe dicho circuito.

561. Transformadores. -La ventajosa aplicación de las corrientes inducidas, respecto a las ordinarias, ha determinado la necesaria construcción de aparatos llamados transformadores eléctricos, cuyo fin es modificar las condiciones de las corrientes, ya en su continuidad o alternancia, ya en sus caracteres de potencial y de cantidad; esta transformación se funda en la conservación de la energía mientras duran los fenómenos de inducción, puesto que en ambas corrientes, inductora e inducida, se verifica $e \times i = e \times i$.

Todo transformador consta de una bobina con núcleo de alambre de hierro y dos circuitos: uno de alambre fino y largo, que es el que corresponde a la corriente que se desea transformar, y se llama primario o inductor, y otro, que es el secundario o inducido, de hilo corto y grueso, en el que se produce la corriente inducida por aquélla; los transformadores son de gran uso en la industria, y a ellos se refiere, el llamado carrete de Rumkorff.

562. Carrete de Rumkorff. -Es un transformador utilizado para transformar las corrientes continuas de bajo potencial y gran intensidad en otras alternativas de alto potencial; con este aparato se evita el inconveniente de la corta duración de las corrientes inducidas, pues se logra que éstas se sucedan continuamente y con tal rapidez, que sus efectos pueden mirarse como continuos, lográndose esto por interrupciones rapidísimas de la corriente inductora, valiéndose de interruptores adecuados.

Consiste este aparato (fig. 197) en una bobina con su núcleo formado por un haz de alambres de hierro, que tiene arrollado un hilo de cobre aislado, corto (unos 50 metros) y grueso (de 1 a 2 milímetros), que es el inductor y que comunica con los polos del generador de corriente continua, y encima, perfectamente aislado, otro hilo arrollado muy fino (0,25 de milímetro), cubierto de seda, y largo (a veces de más de 100 kilómetros de longitud), que forma el inducido y termina en dos tornillos o bornes, a los que puede unirse el conductor de la corriente indicada, o entra los que puede saltarse la chispa.

Como interruptores para abrir y cerrar rápidamente el circuito inductor, pueden citarse: el de martillo, formado sólo por una palanca que, al descansar en una columna de hierro o en una armadura metálica, cierra el circuito, con lo que se imana el núcleo de la bobina y atrae la palanca, la cual entonces se separa de la columna y por ello abre el circuito, desimanándose el núcleo y volviendo la palanca por su elasticidad a la posición primitiva, y repitiéndose a continuación los hechos del mismo modo.

El interruptor de mercurio consta de una palanca horizontal, sostenida por un eje que por un extremo puede tocar al núcleo de la bobina y por el otro lleva una o dos puntas de platino que se introducen en unos vasos con mercurio (y encima algo de alcohol o vaselina líquida, que evita el caldeo por las chispas), cerrando entonces el circuito, imanándose el

núcleo que atrae la palanca, con lo que se separan las puntas de platino del mercurio, interrumpiéndose así el circuito y volviendo los platinos a penetrar en el mercurio para cerrar nuevamente el circuito, continuando así sucesivamente; Foucault empleó un interruptor análogo, si bien un extremo de la palanca lo comunicaba con un electro, que excitaba por una corriente independiente; estos interruptores producen de diez a quince interrupciones por segundo; pero para interrupciones muy vivas (más de 50) se usan otros interruptores más complejos de motor y aun de fundamentos químicos.

Este carrete se suele montar sobre una peana y lleva frecuentemente un conmutador para variar el sentido de la corriente, y un condensador (láminas de estaño separadas entre sí por hojas de papel parafinado o tafetán) en la peana, para recoger las extracorrientes, que estropearían el aparato y dos reóforos entre los que salta la chispa.

La energía de estos aparatos depende de la longitud de los hilos, construyéndose algunos que, con un inducido de 400 y más kilómetros, producen chispas de más de un metro de longitud.

563. Máquinas de inducción. -Son aparatos destinados a transformar el trabajo mecánico en energía eléctrica, bajo la forma de corrientes inducidas que se producen por los cambios de posición que se realizan entre un imán y un conductor colocado en el campo magnético de aquél; estas máquinas pueden ser: magnetoeléctricas, si la inducción se realiza en ellas por imanes permanentes, y dinamoeléctricas o dinamos, cuando la inducción es producida por electroimanes.

564. Principio general de estas máquinas. -Cuando un conductor circular se coloca en el campo de un imán cortando sus líneas de fuerza, de modo que su eje corresponda a la línea de los polos, este conductor se imana por influencia, asemejándose a dos imanes circulares unidos por sus polos del mismo nombre y con su línea neutra en la dirección del diámetro vertical; si ahora se supone una hélice conductora arrollada al anillo y que se mueve a partir de la línea neutra del imán superior, se tendrá, aplicando la ley de Lenz, o también teniendo presente las variaciones de flujo que recibe, que van de un máximo positivo a otro negativo, pasando por cero, que la corriente inducida que se produce en esta hélice cambia dos veces de signo en cada vuelta completa, cuyo cambio se realiza según la dirección del diámetro perpendicular a la línea de los polos del imán, cuya línea, por lo común vertical, representa el plano de conmutación.

565. Elementos de las máquinas de inducción. -Estas máquinas constan, por lo general, de un inducido formado de un conductor metálico cubierto de un hilo de cobre, cuyo inducido se mueve entre unos imanes que constituyen el sistema inductor, del que le separa un espacio llamado entreferro, que debe ser muy pequeño, produciéndose en este movimiento una corriente inducida que cambia dos veces de sentido en cada rotación y la cual se saca al circuito exterior por unos aparatos llamados conmutadores.

Estos conmutadores, o bien se limitan a determinar la salida de la corriente del inducido tal como se produce con su alternancia de sentido en cada vuelta, o bien, por una especial disposición, además de producir la salida de la corriente, hacen que ésta vaya siempre en el mismo sentido por el conductor exterior.

La corriente sin modificación constituye la llamada corriente alterna, y las máquinas que la producen se dicen máquinas de corriente alterna, o alternadores; y si la corriente se modifica en su alternancia, se tiene la corriente continua, y las máquinas que la producen se llaman máquinas de corriente continua, y, mejor aún, enderezadoras.

566. Sistema inductor. -El sistema inductor está formado de imanes permanentes en las máquinas magnetoeléctricas, siendo entonces de poca intensidad, y de electroimanes en las dinamos, en cuyo caso la imanación de éstos, llamada excitación, se realiza por corrientes independientes (excitación independiente), o por la misma corriente que produce la máquina (autoexcitación), bien aprovechada para ello en totalidad (autoexcitación en serie) o parcialmente (autoexcitación en derivación); iniciándose el funcionamiento de las máquinas a expensas magnetismo remanente de los electros.

567. Sistema inducido. -El más usado es el de Gramme (fig. 198), que consta de un núcleo anular P de alambres de hierro aislados entre sí (para evitar corrientes formadas por la autoinducción en el interior del eje, y llamadas parásitas), y alrededor se arrollan diferentes espirales de hilo de cobre B, B, unidas por el mismo hilo y por unas láminas de latón aisladas entre sí por láminas de mica y fijas a un cilindro de madera L, que es el conmutador y está montado sobre el eje de rotación.

El inducido construido por Siemens tiene forma de tambor y en él se arrolla el hilo en sentido de su longitud, lo que disminuye grandemente el hilo interior del inducido Gramme, que no se aprovecha en la inducción; pero con esta ventaja ofrece el inducido Siemens algunos inconvenientes de importancia.

568. Conmutadores. -Son los aparatos para sacar del circuito interior las corrientes producidas; el de corrientes alternativas se reduce a dos láminas metálicas unidas a los extremos del circuito, que descansan en dos aros puestos sobre el eje de rotación y unidos a los extremos del hilo inducido.

El de corriente continua o colector es un cilindro giratorio con líneas salientes que comunican con las series de espiras del hilo inducido, y sobre esas líneas se van apoyando dos láminas o escobillas unidas al circuito exterior y situadas según el plano de conmutación, o, mejor aún, algo desviadas, logrando con este pequeño ángulo de desviación, llamado ángulo de las escobillas, evitar la producción de chispas fuertes entre el colector y las escobillas.

569. Máquinas de corriente continua. -Prescindiendo de las máquinas magnetoeléctricas, que, construidas primeramente por Pixii en 1832, y modificadas, luego por Clarke y por Gramme, apenas se usan actualmente, por el mucho peso y poca energía de los imanes, puede citarse como tipo de dinamo de corriente continua la dinamo autoexcitatriz de Gramme (fig. 199), formada por dos electros E, terminados en piezas polares A, B, entre las que gira el inducido de la forma descrita, por la acción de la polea R; las escobillas son dobles, P, P, y la corriente producida excita los imanes pasando por su hilo arrollado; otros modelos tiene el inducido Siemens, antes descrito, diferenciándose los restantes en los detalles de construcción.

570. Máquinas de corriente alterna. -Las usadas son dinamoeléctricas, y carecen propiamente de colector, pues éste queda reducido a dos anillos aislados, sobre los que se apoyan las escobillas; las corrientes que producen cambian de sentido en cada rotación, diciéndose período el tiempo que pasa de un cambio al siguiente, y frecuencia, el número de períodos por segundo.

Como tipo de estas máquinas, hoy muy usadas, está la de Gramme, que tiene el inducido fijo, formado de un eje de alambres de hierro dulce, al que se arrollan varios carretes planos en ocho series de cuatro, unidos entre sí y directamente con el circuito exterior, y dentro se mueve el inductor, formado por ocho carretes colocados en forma de estrella; esta máquina produce corrientes de un solo período o monofásicas, con una frecuencia rapidísima.

571. Corrientes polifásicas. -Si se dispone el inductor de modo que las corrientes originadas por cada carrete no concuerden en sus fases por no corresponder sus períodos, y con tomas de corriente independientes, se tiene las llamadas corrientes polifásicas, y el alternador que las produce, polifásico, o que en cada rotación produce varias corrientes de distinta fase; las más usadas de éstas son: la bifásica, formada de dos corrientes diferenciadas en un cuarto de fase, con cuatro tomas separadas en 90° y sus correspondientes escobillas, lo que exige cuatro conductores; y la trifásica, de tres distintas, en un tercio de fase con tres tomas separadas entre sí 120° y que necesita sólo tres conductores, puesto que cada uno de ellos hace alternativamente de conductor de regreso de los otros dos.

572. Unidades eléctricas. -Para determinar y comparar las corrientes eléctricas, se adoptó en el Congreso de París de 1881 un sistema de unidades eléctricas en relación con el C. G. S. de la mecánica; las principales son las siguientes:

573. Unidad de intensidad de corriente. -Se designa por I, y es la intensidad de una corriente que actúa sobre el polo del imán tornado por unidad, puesto a un centímetro con la fuerza de una dina; en la práctica, se usa la unidad llamada amperio, que vale un décimo teórica.

Como los efectos de las corrientes están ligados directamente a su intensidad, y ésta a la cantidad de electricidad, se define comúnmente el amperio, o unidad de intensidad, como la intensidad de una corriente que en un segundo transporta la unidad de cantidad (culombio) a través de una sección recta de su circuito. Esta intensidad puede determinarse por distintos efectos eléctricos, tales como las acciones químicas del voltámetro, sabiendo que cada amperio corresponde a un desprendimiento de 0,0103 miligramos de hidrógeno (116mm^3 a 0° y presión normal) por segundo en el voltámetro de agua acidulada, o a la precipitación de 1,118 miligramos de plata metálica durante también un segundo en el voltámetro de solución neutra de nitrato de plata, o utilizando aparatos galvanométricos, cual la llamada brújula de tangentes, y el más conocido industrialmente, denominado amperímetro.

574. Amperímetros. -Consisten en una caja cilíndrica que contiene interiormente dos imanes fijos en forma de herradura, y entre ellos una barra de hierro dulce giratoria alrededor de un eje fijo por un extremo al fondo de la caja, y por el otro terminado en un botón y llevando una aguja de acero que indica sobre un limbo graduado en amperios los movimientos de dicha barra dulce, determinados por la corriente y regulados por dos bobinas con conductor grueso, por intermedio de las cuales las desviaciones de la aguja son sensiblemente proporcionales a la intensidad de la corriente.

575. Unidad de cantidad. -Se designa por C y es la cantidad de electricidad que pasa durante un segundo por un circuito, siendo la corriente de la unidad de intensidad; como unidad práctica se emplea el culombio, que vale $1/10$, de la unidad teórica, y su múltiplo el amper-hora, que es la cantidad que en las indicadas condiciones pasa por el conductor durante una hora.

576. Unidad de fuerza electromotriz. -Se designa por E y es la fuerza motriz necesaria para que la unidad de cantidad produzca la unidad de trabajo en un segundo; se emplea en la práctica un múltiplo de ésta igual a 108 de ella, que se llama voltio, equiparado próximamente a la fuerza electromotriz de un elemento Daniell, y que se mide comúnmente por unos galvanómetros de gran resistencia, graduados en voltios y llamados voltímetros, análogos a los amperímetros, si bien se ha aumentado la resistencia poniendo las bobinas de hilo muy fino y largo.

577. Unidad de resistencia. -Se representa por R y es la que ofrece un conductor en el que la fuerza motriz de un voltio produce una corriente de la unidad de intensidad; prácticamente se usa un múltiplo de ella 109, llamado ohmio, equivalente a la resistencia de una columna de mercurio a 0° de 1 milímetro de sección y 106,3 centímetros de longitud, y regulables por etalones de mercurio, o por hilos de diversas aleaciones y de longitud determinada y por aparatos adecuados, como los llamados reóstatos y cajas de resistencias. Para su medida empléanse aparatos complejos, cual el llamado puente de Wheatstone.

La ley de Ohm, $I = E/R$, permite determinar una de estas tres cantidades, conocidas las otras dos.

578. Unidad de capacidad. -Se designa por K, y es la de un condensador que, cargado con la unidad de electricidad, presenta entre sus armaduras un potencial igual a uno; esta unidad es el faradio; pero por ser muy grande (9×10^{11} unidades C. G. S.) en la práctica, se emplea un divisor, llamado micro-faradio (millonésima de faradio).

579. Unidad de potencia eléctrica. -La energía de una corriente es la cantidad de trabajo que puede originar midiéndose en julios (igual a 10 millones de ergios próximamente), que equivalen cada uno próximamente a un décimo de kilográmetro; la potencia de una corriente es el valor de la energía de esta corriente en un segundo, y la unidad de potencia se define como la potencia de una corriente que produce la unidad de trabajo por segundo (el julio); en la práctica se usa el vatio (equivalente a la unidad de energía en un segundo, o sea a un julio), igual 10, de la unidad teórica, y más comúnmente el hectovatio (100 vatios) y el kilovatio (1.000 vatios), que comparado con las unidades de potencia mecánica, da:

1 vatio = 1 julio por segundo = 107 ergios

107 ergios = 0,102 kilográm. = 0,00136 caballos de vapor.

580. Contadores de energía eléctrica. -Las grandes aplicaciones de la electricidad suministradas por las fábricas productoras ha obligado a fijar el consumo de la energía eléctrica para poder con ello determinar su valor económico; los aparatos usados para medir esta energía en un cierto tiempo se llaman, en general, contadores de electricidad.

La energía eléctrica de una corriente está representada por el producto e (fuerza electromotriz) $\times I$ (intensidad) en cada segundo; y admitiendo que e es constante en cada fábrica, se determinará esta energía midiendo la cantidad (que fija la intensidad, según se ha indicado) en cada momento, y sumando todos sus valores en un tiempo determinado.

Esta cantidad se mide con los contadores cual el del electricista alemán Aron, que consiste en dos maquinarias de relojería que funcionan en sentidos opuestos, teniendo la una péndola ordinaria, y la otra otro péndulo de igual longitud, con un imán en herradura, y debajo un carrete por el que pasa la corriente; ambas maquinarias, por unas ruedas dentadas, transmiten un movimiento a unas agujas movibles sobre unas esferas graduadas respectivamente en unidades, decenas, centenas y millares; al faltar la corriente, el isocronismo de los péndulos inmoviliza la aguja, que queda sometida a acciones contrarias e iguales, pero al actuar la corriente obra sobre el imán, acelerando la marcha de su péndulo, y la aguja gira proporcionalmente a este movimiento, y por tanto a la corriente.

Más perfeccionados son los contadores llamados vatímetros, formados por un motor eléctrico de doble inductor, de hilo grueso, que recibe directamente la corriente, y de un inducido interior en derivación de hilo muy fino, que gira comunicando su movimiento a un contador de vueltas, siendo el número de éstas proporcional a la intensidad y a la fuerza electromotriz, y estando regulado por un platillo horizontal que lleva el eje del inducido y que hace de freno al moverse entre los polos de un imán; éstos son hoy de gran uso por su mayor perfeccionamiento y pequeño volumen.

La unidad que fija el precio es el vatio y sus múltiplos.

Capítulo IV

Aplicaciones de las corrientes

581. Generalidades. -Son las aplicaciones de las corrientes eléctricas tan numerosas como importantes, formando la principal materia de la llamada Electrotecnia, por lo que sólo se indicarán las de mayor interés.

582. Depósitos metálicos por electroquímica. -Las corrientes eléctricas permiten recubrir las superficies, especialmente metálicas, de delgadas capas de otros metales, oro, plata o níquel generalmente, que quedan perfectamente adheridas, constituyendo estas operaciones el dorado, plateado y niquelado galvánicos, debidos al químico Roolz Montchal y explotados y perfeccionados por el conocido industrial Christofle.

Estos efectos electroquímicos, fundados en los fenómenos de electrolisis, exigen, primeramente, una perfecta limpieza del cuerpo que se va a recubrir metálicamente, desengrasándole y puliéndole por el calor y por la inmersión en líquidos determinados, ácidos, y después de muy bien lavados y ligeramente amalgamados los cuerpos se sumergen en una cuba que tiene un baño de cloruro de oro y cianuro potásico, si se trata de dorar, y de nitrato de plata y cianuro, si de platear, colgando el cuerpo de una varilla unida al polo negativo y poniendo en el positivo una laminita de oro o de plata, respectivamente, que, actuando de anodo soluble, repara las pérdidas del metal que va experimentando el baño.

En el niquelado no es necesaria la amalgamación, y el baño se forma con una solución de sulfato doble de níquel y amoníaco, y a veces también se practica el cobreado y se emplea baño de acetato de cobre o tartrato doble de potasio y cobre alcalinizado, para depositar sobre el cuerpo este metal; por la acción de la corriente, el electrolito se descompone y va depositando el metal (oro, plata, níquel o cobre) sobre el cuerpo puesto en el polo negativo, formando una capa de espesor variable, formada la cual se lava el cuerpo, seca y abrillanta después.

583. Galvanoplastia. -La galvanoplastia, descubierta por Jacobi, consiste en la obtención de moldes metálicos de los objetos, generalmente en cobre, por las corrientes eléctricas. Para esto (fig. 200) se hace un molde en gelatina, gutapercha, yeso o cera; se barniza y se cubre de plumbagina para hacerle conductor, y se sumerge del polo negativo B de una o varias pilas Q, en un baño de solución saturada de sulfato de cobre, poniendo en el polo positivo D una lámina de cobre rojo C, que actuará de electrodo soluble, y al pasar la corriente el cobre se depositará sobre el molde m, llegando a formar una capa de bastante espesor, en cuyo caso se desprende del molde, quedando éste reproducido en el cobre.

Se emplea la galvanoplastia en la reproducción de láminas, medallas, grabados...

Telegrafía eléctrica

584. Generalidades. -Los telégrafos eléctricos son aparatos destinados a transportar por medio de las corrientes eléctricas el pensamiento humano. Estos telégrafos han sustituido a los ópticos o de señales, y se fundan en el hecho de que la corriente eléctrica puede mover a grandes distancias piezas metálicas que forman la armadura de un imán, constituyéndose el circuito de la corriente con un hilo conductor, y la tierra como conductor de regreso de

dicha corriente, cuya idea se debe al físico Steinheil, lo que produce economía de hilo y duplica la intensidad de la corriente, puesto que la Tierra representa un conductor de gran sección, y por ello de resistencia despreciable.

585. Sistemas telegráficos. -Las partes esenciales de todo telégrafo son: pilas engendradoras de la corriente, que se aconseja que sean de corriente débil, pero constante; hilo conductor o línea, por el que se transmite la corriente y que puede estar al descubierto, siendo entonces de hierro galvanizado, sostenido por postes de madera, de los que los separan unos aisladores de porcelana (conductor aéreo), o formado de hilos de cobre protegidos por varias cubiertas, unas aisladoras y otras de bastante resistencia para que pueda colocarse enterrado (cable subterráneo), o en el mar (cable submarino); el manipulador, o aparato que regula las intermitencias de corriente en la estación de partida, y el receptor que registra los despachos en la estación de llegada: además, como de menor interés, suele haber también timbres, relés de corriente destinados a llevar a la línea corrientes de pilas locales colocadas de distancia en distancia con el fin de contrarrestar el debilitamiento de la corriente primitiva por efecto de la distancia, pararrayos, reóstatos...

Según que los aparatos telegráficos indiquen solamente las señales, o las escriban en un papel por medio de signos convencionales, o las marquen por caracteres ordinarios de imprenta, así se dicen telégrafos de cuadrante, escritores e impresores.

586. Telégrafos de cuadrante (fig. 201). -El modelo más usado de éstos es el llamado de Breguet, empleado en los ferrocarriles de España.

TRANSMISOR. -Consiste fundamentalmente en una palanca que por un manubrio se puede hacer girar sobre un disco circular que lleva en dos zonas concéntricas las letras del alfabeto y los veinticinco primeros números, presentando cada letra en el borde un hueco o mortaja donde penetra un pequeño talón que lleva inferiormente la palanca; ésta arrastra en su giro otro disco metálico, situado debajo del primero, y cuyo borde sinuoso consta de trece elevaciones y trece depresiones; sobre este disco se apoya el extremo de una lámina flexible móvil en o, cuyo otro extremo tiene otra laminita que se mueve entre dos tornillos a, b, de los cuales uno, a, está en comunicación con el polo positivo de una pila, de la que el polo negativo va a la tierra.

RECEPTOR. -Está formado de un electro horizontal cuya armadura, por medio de unas palancas, mueve una laminita que hace de freno a un sistema de una o dos ruedas paralelas y movidas por un sistema de relojería, que tienen trece dientes cada una, dispuestos de modo que cada diente de una rueda corresponda al espacio interdental de la otra y que llevan en su eje común una aguja, la cual se mueve sobre un círculo vertical en el que existen también, en dos círculos concéntricos, representadas las letras y los números.

El funcionamiento de este telégrafo consiste en mover la palanca del manipulador hasta pararse en una letra determinada, con lo cual el disco de borde sinuoso habrá pasado por el extremo de la palanquita inferior cierto número de elevaciones y depresiones, que habrán interrumpido y establecido otras tantas veces la comunicación con la línea y, por tanto, con el receptor, cuyo electro se habrá imanado y desimanado igual número de veces, actuando sobre las palancas y haciendo que por medio de las ruedas dentadas la aguja recorra igual

número de letras que el manubrio del manipulador, marcando así la misma indicación que éste, si ambos estaban concordantes al empezar a funcionar.

Estos telégrafos llevan, además, conmutadores para comunicar con diversas estaciones, timbres, galvanómetros, etc.

587. Telégrafo escritor. -Sirve de tipo el de Morse, en el que la transmisión se hace por medio de puntos y rayas que, combinados, forman un alfabeto, llamado alfabeto Morse.

El transmisor (fig. 202) consta de una palanca metálica, fija en un tablero y movable alrededor de un apoyo *r*, por el cual se halla el aparato transmisor en comunicación constante con la línea *L*; el extremo anterior, mediante un resorte, graduado por un tornillo, establece contacto por *b* con el receptor de la misma estación, y comprimiendo el botón *P* se vence el resorte y se establece comunicación por *a* con la pila, por lo que este aparato está dispuesto normalmente para recibir las transmisiones, y cuando se quieren enviar hay que comprimir durante más tiempo (raya) o menos tiempo (punto) el botón *P*.

El receptor (fig. 203) es un electro vertical *E* que actúa sobre una palanca *A*, giratoria alrededor de un eje *o* y provista de un estilete *D*, el cual, según sea o no atraída por el electro, y con ayuda de un resorte *r* y dos tornillos, *f* y *g*, toca o no a una cinta de papel *X* *Y*, arrollada en un tambor *S* y móvil por un sistema de relojería, pasando en su movimiento entre dos cilindros *a*, *b*, uno de ellos impregnado de tinta, marcando así las impresiones.

En una estación completa (fig. 204), cuando se comprime la palanca del transmisor (sea en el aparato el del lado derecho *M*), se interrumpe la comunicación con su receptor *R* y se envía al otro receptor *R* una corriente de la pila *P* que dura mientras se tiene comprimida dicha palanca, dependiendo de esta duración el que se marquen en el receptor *R* una raya o un punto; cada aparato manipulador está durante las fases de descanso unido a su receptor y a la pila, cerrándose el circuito con el suelo; también se intercalan timbres *S* y *S* con unos conmutadores para aislarlos durante el paso de la corriente.

588. Telégrafo impresor. -Este aparato representa en caracteres de imprenta los despachos transmitidos, lo que le hace muy ventajoso, así como la rapidez de su funcionamiento; el más conocido es el de Hughes, que, bastante complejo en sus detalles, es de fundamento sencillo; consiste, en esencia, en un manipulador en forma de teclado, con veintiocho teclas con las letras del alfabeto, y un receptor, constituido por una rueda horizontal que tiene grabadas las mismas letras impregnadas de tinta (rueda de tipos); al tocar cada letra un electro-imán, comprime una banda de papel contra esta rueda, marcándose una letra, que será la misma en los dos aparatos, si están bien reglados; el papel marcado se corta convenientemente y se pega a la hoja del telegrama, que se sirve al público.

589. Idea de otros sistemas telegráficos. -Aún existen otros telégrafos más perfeccionados, como los llamados múltiples, del que es más usado el de Baudot, que permite imprimir seis despachos distintos por un mismo hilo en el tiempo que el Hughes imprime uno solo; la parte esencial es un distribuidor, que establece la comunicación del

hilo con seis manipuladores Hughes, uno después de otro y periódicamente, enviándose así, primero, las primeras letras de los seis despachos; luego las segundos, etc., dando tiempo a cada empleado en la fase de reposo para preparar la nueva letra a transmitir; en la estación de llegada, otro distribuidor reparte a seis receptores las letras de los seis despachos enviados.

También existen sistemas duplex, que permiten transmitir simultáneamente por el mismo hilo dos despachos en sentido contrario, de los que se debe un modelo perfeccionado al notable telegrafista español Sr. Pérez Santano; otros sistemas duplex, en los que se transmiten dos despachos en el mismo sentido; y, finalmente, los de telegrafía submarina, que, por tener las líneas sumergidas en un medio conductor, deben estar aisladas (cables), y exigen modificaciones en sus aparatos, que se salen de los límites de lo elemental.

Y todavía se trata de mayores progresos en la comunicación a distancia, como con el pantelégrafo del P. Casselli, que permite transmitir la escritura, el dibujo..., etc.; los aparatos de telefotografía del físico alemán Korn, que, utilizando ciertas cualidades eléctricas del selenio, hacen posible transmitir las imágenes fotográficas: uno de estos funciona ya entre dos diarios de París y Londres; los aparatos para fotografiar la palabra del Dr. Marage de París, y algunos otros sistemas de comunicación que están aún en estudio, y que no son, en general, de práctica utilidad.

Telefonía eléctrica

590. Generalidades. -Se llama teléfono (de dos raíces griegas *telé* lejos y *graphein* escribir) un aparato destinado a transmitir los sonidos a distancia por medio de la electricidad, y se funda en el hecho de que si dos imanes unidos por un conductor que se arrolla a ellos tiene delante dos láminas delgadas metálicas, la aproximación o separación de una de ellas a su imán respectivo varía la corriente inducida que se produce en el conductor, y hace que otro imán atraiga o separe la lámina respectiva; es decir, que todos los movimientos de la primera lámina se reproducen en la segunda.

591. Modelos de teléfonos. -El primer teléfono es generalmente atribuido a Bell, y consiste (fig. 205), en un imán A del grueso de un lápiz, que tiene en uno de sus extremos una bobina B de numerosas espiras de hilo fino, cuyos extremos se unen por intermedio de otros más gruesos y de dos tornillos V, V a los hilos de la línea; encima de la bobina, y muy próximo a ella, hay un disco M de hierro dulce, encerrado en una montura de madera o ebonita E, formando el fondo de una embocadura, que es donde se habla; el aparato está protegido por una cubierta de madera.

El físico francés Ader modificó este teléfono (fig. 206) dando al imán la forma de anillo E A E con una bobina en cada polo B B, protegido por un cilindro de caucho endurecido y encima de la lámina vibrante P, un anillo de hierro dulce C, C, que da a las fuerzas del

campo magnético una dirección normal a la lámina, y sobre este anillo la embocadura M; tal modificación es muy usada, utilizándose también el anillo del imán para colgar el aparato.

Dos teléfonos unidos por un conductor permiten transmitir una conversación, haciendo uno de ellos de transmisor y el otro de receptor.

592. Micrófonos. -Como los sonidos transmitidos por el teléfono son muy débiles, se le ocurrió al físico Hughes reforzarlos intercalando en el conductor un micrófono o aparato para reforzar el sonido. Consta el micrófono (fig. 207) de dos piezas de carbón C C, fijas normalmente a una tabla vertical M N; entre dichas barras se pone otra de carbón A, terminada en dos puntas, que se apoyan ligeramente en unas cavidades que tienen las primeras barras; si se intercala el micrófono, en el circuito de una pila que tiene un teléfono, los sonidos que llegan modifican el contacto de los carbones, y por ello la resistencia del circuito, variando así la corriente y la vibración del disco de hierro y, por tanto, los sonidos.

Ader utilizó el micrófono como locutorio para hablar sobre él, dándole la forma de pupitre con la lámina vibrante de madera, y debajo diez o doce carbones en forma de parrilla, constituyendo generalmente dos series de cinco carbones cruzadas por otra de tres; este sistema es bastante usado.

Modernamente existen otros sistemas más conocidos, que en un tubo curvo y microfónico llevan reunidos el auricular en un extremo y una embocadura para hablar en el otro.

593. Estación telefónica. -Toda instalación debe tener un transmisor microfónico de forma variable (figura 208), doble línea de cobre o bronce silicioso, dos teléfonos auriculares para la audición, una pila y un timbre de llamada. El gancho de uno de los lados del transmisor, donde se cuelga uno de los auriculares, es un muelle que forma un conmutador automático, puesto que, colgado el auricular, por el peso de éste se vence el muelle del gancho, estableciéndose la comunicación de la pila con la línea y el timbre, y al quitar el auricular se eleva el muelle y queda fuera de comunicación el timbre, y se forma el circuito con el micrófono, la línea y el receptor.

En las comunicaciones telefónicas a grandes distancias es muy conveniente intercalar en la línea una bobina, de inducción, cuyo hilo grueso comunica con el transmisor cerrando el circuito y produciendo corrientes inducidas en el hilo fino que comunica con la línea y que, por lo tanto, van al receptor.

Cada teléfono forma parte de un sistema unido a una estación central y a la que se avisa por medio de un botón de llamada que lleva el aparato, para que, en esta central y valiéndose de un conmutador en un aparato especial de múltiples comunicaciones, pongan la comunicación con otro teléfono, pertenecientes ambos a dos abonados, designados por dos números.

594. Timbres eléctricos. -Estos timbres (figura 209), que son de gran aplicación en el telégrafo, teléfono y en los usos domésticos, constan de un timbre T, que se golpea por un

martillo P, sostenido por una lámina elástica a, que oscila entre un tope metálico C y un electro-imán E, al que van los hilos de la línea; al pasar la corriente se atrae el martillo y golpea el timbre; pero separándose del tope C abre el circuito, cesa por ello la imanación, y el martillo, en virtud de su elasticidad, vuelve al tope, para entonces cerrar nuevamente el circuito y continuar así sucesivamente originando el repiqueteo típico de estos timbres.

Alumbrado eléctrico

595. Generalidades. -Una de las aplicaciones más importantes de las corrientes es su empleo como medios de iluminación, constituyendo el denominado alumbrado eléctrico, que puede realizarse de dos modos principales: por arco voltaico, en el que la luz se produce entre dos cuerpos conductores separados por el aire, hecho conductor por la temperatura, y el de incandescencia, cuya luz proviene de un conductor enrojecido por las corrientes.

596. Arco voltaico.-El sistema de arco voltaico (figura 210), consiste en hacer pasar una corriente bastante enérgica al través de dos carbones homogéneos y bastante buenos conductores, A, B, algo separados entre sí, con lo que se produce entre ellos un arco luminoso, llamado por Davy arco voltaico; esta luz se produce a causa del transporte de partículas de carbón del polo positivo al negativo, como se prueba viendo que en el funcionamiento, fuera del aire el carbón positivo, o sea el unido al polo del mismo nombre, se desgasta y ahueca, al paso que el negativo aumenta algo, conservando su forma; la luz procede principalmente del hueco superior, que, según Violle, tiene una temperatura de unos 3.500°.

A medida que los carbones se separan, aumenta la resistencia del circuito y el arco se debilita hasta anularse, y de aquí la necesidad de aparatos llamados reguladores, debidos a Serin, los cuales mantienen los carbones a la distancia debida para que el arco sea constante.

Actualmente, en las lámparas de arco se usan carbones formados por una pasta comprimida, moldeada y calcinada al aire, de polvo de carbón de retortas, negro de humo y brea; y es también frecuente que alguno de estos carbones tenga un eje de carbón mezclado con elementos térreos, formando una especie de mecha que regulariza la combustión; a éstos se les llama carbones de mecha.

597. Reguladores. -En algunas ocasiones, la regulación de los arcos se hace a mano, poniendo los carbones en dos barras que se mueven por medio de unas palancas dentadas y un doble piñón, para que el movimiento del carbón positivo sea doble, ya que se gasta con doble velocidad que el negativo; pero en general hay que emplear reguladores que funcionan automáticamente por el arco mismo, y de los cuales existen muchos modelos; uno de éstos (fig. 211), consiste en colocar el carbón positivo, A, en el extremo D, de una palanca, C D, que tiene un muelle, R, y una pieza de hierro, N M, situada enfrente de una

bobina, S, cuyo hilo conductor se une por sus extremos a la palanca anterior y al carbón negativo, B; la separación de los carbones aumenta la resistencia del arco, por lo cual la corriente se refuerza en la bobina y atrae la pieza N M, venciendo la resistencia del resorte, R, con lo que baja la palanca, C D, y el carbón positivo se aproxima al negativo; además de éste, existen otros muchos de tipos muy diferentes, que se han ido perfeccionando a partir del construido por Foucault, y en el que movía los carbones un sistema de relojería.

598. Bujías de Jablochkoff. -Los reguladores son innecesarios en el sistema de bujías eléctricas ideado por Jablochkoff, por lo que llevan también su nombre; en estas bujías (fig. 212), los carbones a, b se ponen paralelos, separados por un tabique formado por una mezcla endurecida de yeso y caolín, volatizable a la temperatura del arco producido por la corriente que entra por A sale por B; se usan para ellas corrientes alternas, con el fin de que se consuman en igual tiempo las dos puntas; éstas se unen con una substancia inflamable (una barrita de carbón pulverizado y amasado con goma) para que se forme el arco n.

Con estas bujías se produce ordinariamente una luz equivalente a 3 a 4.000 bujías; pero exigen, cada vez que se va a encender, cebar las puntas con la masa inflamable indicada.

599. Sistema de incandescencia. -Este sistema se debe a Edison y consiste (fig. 213) en hacer pasar la corriente por un hilo rígido C, delgado y resistente, eléctrica y térmicamente, que está metido en un fanal de cristal A, en el que se ha hecho el vacío hasta unas centésimas de milímetro; el hilo puede ser de platino, celulosa calcinada (para lo cual se amasa la celulosa con éter, y la pasta se pasa por una hilera, calcinando luego los hilos al abrigo del aire), o de fibra de bambú carbonizada; se lo arrolla en un rizo o herradura y se monta sobre hilos de platino D E, que comunican con otros de cobre p, q, que están en la masa de escayola que forma la base o culata V V, de la lámpara, comunicando con la rosca y con la base de la culata V V; actualmente se usan unas lámparas de filamento metálico, formado de metales raros (tántalo, osmio..., siendo este filamento largo y muy fino, arrollado en zig-zag y sostenido por unos ganchitos.

La intensidad de las lámparas se gradúa por un fotómetro en bujías decimales (así, son de 5, 10, 16, 32... bujías), y su funcionamiento en buenas condiciones dura, generalmente, unas ochocientas horas, consumiendo una de 16 bujías unos 55 vatios hora, aunque las metálicas reducen este consumo a poco menos de la mitad, si bien son de mayor coste y de filamento más frágil.

600. Lámpara Nernst. -También se usan actualmente las llamadas lámparas Nernst, que dan una luz blanca y muy brillante, con notable economía de gasto, y constan de un filamento incombustible, formado por óxidos terrosos de los metales raros, el cual no se hace conductor hasta ponerse a la temperatura del rojo, por lo que se coloca en una hélice de platino que actúa de foco de calor, y el todo en un globo que tiene también un electro para interrumpir la calefacción, una vez que el filamento se ha enrojecido y arde ya brillantemente.

601. Lámpara de vapor de mercurio. -Empléase también la electricidad como medio de iluminación en lámparas de vapor de mercurio, de las que el modelo de Cooper-Hewitt

consiste en un tubo que en su extremo inferior tiene un depósito con mercurio, en el que se introduce el electrodo negativo de platino, y en la otra extremidad existe el electrodo positivo, también de platino; esta lámpara, que funciona en corriente continua, es muy económica, pero determina una luz azulado-verdosa, pálida y desagradable por la ausencia de radiaciones rojas.

602. Luz fría de Moore. -También úsanse hoy tubos de gases enrarecidos, por los que atraviesa la corriente produciendo una viva luminosidad (tubos de luz fría); a ellos pertenece la llamada luz fría de Moore (nombre no bien apropiado, pues los estudios hechos han demostrado que sólo una pequeña cantidad de la energía eléctrica se transforma en luz y el resto se disipa en forma de calor), que consiste en lo esencial, en un largo tubo de Geissler con dos electrodos cilíndricos y huecos de gráfico, que se conectan a un transformador de alta tensión; este tubo tiene una ingeniosa válvula que permite la entrada de gases (a modo de válvula respiratoria), a fin de conservar constante la presión interior, pues el uso aumentaría el grado de enrarecimiento, y con ello la conductibilidad eléctrica. La luz emitida es de color diferente, según el gas que entre, que suele ser el gas carbónico o el nitrógeno, bien purificados, dando el primero luz blanca y amarillo rojiza el segundo. Esta luz, bastante agradable, resulta costosa en su instalación, que se practica suspendiendo los tubos del techo, soldados entre sí, después de hacer el vacío, y exige un transformador de tensión tanto mayor cuanto más largo sea el tubo (aunque sin proporcionalidad), por lo que todavía no ha pasado de ser una iluminación de lujo, aunque se ve ya con relativa frecuencia en las capitales de importancia.

El físico Claude, tratando de variar las condiciones de la luz de las lámparas de mercurio por la introducción de neón, cuyo cuerpo había conseguido separar del aire en su destilación fraccionada, vino a conocer que este gas se iluminaba brillantemente por la descarga eléctrica, y de aquí dedujo la construcción de tubos de luz fría de neón, análogos a los de Moore, aunque más económicos de fluido, y de un bello color rojo y gran luminosidad si el neón está exento de nitrógeno, cuya separación resolvió Claude de modo ingenioso; este método de luz, hasta el presente, no tiene casi aplicación.

603. Radiaciones ultravioletadas de las lámparas de mercurio. -Las lámparas de mercurio son también empleadas como agente de esterilización, para lo cual se reemplaza su tubo de vidrio que absorbe las radiaciones ultravioletadas por un tubo de cuarzo, que resulta transparente para ellas.

Estas lámparas de cuarzo (sistema Uviol) se gastan al poco tiempo de su funcionamiento, lo que se atribuye tanto a la lenta entrada del aire que oxida al mercurio, cuanto a la continuada disgregación por la corriente de los hilos de acero especial que forman los conductores de la lámpara, lo que origina el depósito de un ligero velo gris de carbón sobre las paredes interiores del tubo de cuarzo con perjuicio de su transparencia; para evitar este pronto desgaste, el constructor francés Berlemont ideó sustituir los hilos de acero por hilos de una aleación conveniente de platino e iridio que, por tener su punto de fusión igual al del cuarzo, permite soldar el hilo al tubo, formando un completo cierre para la entrada del aire y no produciéndose disgregación carbonosa, por la índole de los metales que forman el hilo.

Estas lámparas, por el vapor de mercurio, producen abundantes radiaciones ultravioletadas o de corta longitud de onda, las cuales, por su poder insecticida y microbicida, son valiosos medios de esterilización del agua, leche..., etc. a la temperatura ordinaria, usándose también como agente terapéutico para varias enfermedades cutáneas y de otro orden, y aun en algunas industrias; considéranse estas radiaciones también como medio productor de corrientes hertzianas, y aun como enderezadores de las corrientes alternas.

604. Aplicaciones técnicas de las corrientes; horno eléctrico. -El calor desprendido por la corriente se utiliza directamente, si bien esta aplicación no es muy frecuente por su coste algo elevado; los aparatos para esta calefacción son muy variados, existiendo: radiadores para las habitaciones en los que la superficie radiante está formada de hilos de ferro-níquel aislados por esmalte y colocados paralelamente y en serie con la corriente; cocinas eléctricas, anafes, calentapiés, planchas, etc., teniendo algunos la forma de pequeños modelos de uso doméstico para hervir ciertos líquidos (agua, café, té, etc.).

La elevada temperatura del arco voltaico ha sido utilizada por Moissan para construir hornos eléctricos, que esencialmente consisten en un hueco abierto en una piedra refractaria, magnesita, caliza o arcilla, y dentro un estrecho recinto de carbón, en el que se produce entre dos carbones el arco, que proviene de una corriente, la cual puede tener una intensidad hasta de 1.000 amperios.

Estos hornos, que tienen sensiblemente la temperatura del arco, 3.500° próximamente, se usan en varias metalurgias, también para preparar el carburo de calcio, el carborundo o esmeril artificial (combinación de carbono y silicio), fundir el carbono y preparar algunas piedras finas y en otras operaciones químicas e industriales (electrometalurgias).

Motores eléctricos

605. Motores eléctricos; su fundamento. -En toda dinamo, según se ha dicho, el movimiento del inductor o inducido produce una corriente; pues bien, este hecho es recíproco; es decir, que si por una dinamo se hace pasar una corriente, se produce el movimiento del inducido; este fenómeno, llamado reversibilidad de las dinamos, permite comprender la existencia de motores eléctricos, que son aquellas dinamos que transforman la energía eléctrica en movimiento aprovechable industrialmente.

606. Transmisión de la fuerza a distancia. -Los motores eléctricos se aplican principalmente para utilizar las fuerzas a distancia; así, la fuerza de un salto de agua puede mover una dinamo, produciendo una corriente que se lleva a puntos lejanos para convertirla, en lugar conveniente, por intermedio de un motor, en trabajo mecánico; en estos casos, la dinamo que origina la corriente se llama dinamo generadora, y a la que produce por la corriente el trabajo, dinamo receptora o electro-motor.

Para transportar a distancia la corriente sin grandes pérdidas, hay que disminuir la resistencia eléctrica de los conductores, aumentando su diámetro; y como esto resultaría muy costoso por el gran valor que tendrían estos conductores, se recurre al empleo de corrientes alternas de débil intensidad compensado con una alta tensión, recordando que la pérdida de energía en los conductores es proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente; estas corrientes de alta tensión, que en algunos casos llegan a 100.000 voltios, y frecuentemente entre 20 y 50.000 voltios, constituyen un gran peligro para el hombre, por lo cual, al entrar en las poblaciones, es preciso, por medio de transformadores adecuados, transformarlos en otras corrientes de mucho menor potencial y mayor intensidad.

La corriente de estos alternadores, que puede ser corriente alternativa, simple o polifásicas, siendo las más prácticas las corrientes trifásicas, se utiliza en otro alternador sincrónico en su movimiento con el primero, o enderezándola convenientemente por dinamos conmutadoras.

607. Distribución de las corrientes transportadas; aplicaciones de los motores. -La energía eléctrica producida en una fábrica o estación central, generalmente por la acción de una fuerza natural, cual es la de los saltos de agua (sólo a falta de esto se recurre al carbón de piedra como agente de fuerza motriz), es transportada a gran potencial por cables sostenidos en postes por medio de aisladores (estos postes deben tener la indicación del «peligro de muerte» que hay al tocar los hilos), y llegada a la población, se transforma, bajando su potencial generalmente a 110 voltios y repartiéndose luego por medio de la red de conductores de la población a los abonados, que transforman esta energía en luz o calor, o en energía mecánica, haciendo accionar motores adecuados; la existencia de interruptores en las fábricas o en las habitaciones de los abonados (llaves) permiten a voluntad cortar o interrumpir la corriente, así como los conmutadores de las fábricas y de las centrales hacen posible mandar la corriente en determinada dirección, de acuerdo con cuadros de distribución que existen en todas las centrales eléctricas.

Muchas son las aplicaciones que se hacen de estas corrientes transformadas en energía mecánica por medio de los motores, y aplicada luego a muchos motores, como los montacargas y ascensores eléctricos, de frecuente uso en los establecimientos públicos; los cabrestantes y grúas de los puertos y muelles de ferrocarriles; las bombas de agotamiento y ventiladores de las minas; los electro-semáforos, aparatos de agujas y de señales de algunas estaciones de ferrocarriles importantes; los torpederos, poderosos medios para la guerra marina; las numerosas máquinas de los talleres de construcción que funcionan por la acción de los motores; las escaleras, planos y tapices móviles eléctricamente de los grandes almacenes; las máquinas de imprimir; las de coser en algunos establecimientos; los fonógrafos; los barcos submarinos; muchos aparatos de cultivo, (electro-cultivo) y otros varios más, siendo los más importantes los vehículos de tracción eléctrica.

608. Tracción eléctrica. -Es otra de las aplicaciones de los motores, y vulgarmente se ve en los llamados tranvías eléctricos. El sistema de tracción de los tranvías consta, en general, de una estación central donde se produce por dinamos la corriente, que generalmente es continua; un conductor de cobre al descubierto, sostenido por soportes en forma de columnas, colocados a lo largo del recorrido, y el tranvía, formado de una plataforma (o chasis) que lleva los motores y la caja del carruaje; el inducido de los motores engrana por

un piñón con una rueda dentada (fig, 214), que tiene el mismo eje que las ruedas del tranvía, comunicando el movimiento a estas ruedas, las cuales giran, si bien con menor velocidad que el inducido, cuyo rapidísimo movimiento se transmite disminuido por intermedio del piñón; el contacto del tranvía y la línea se establece por una palanca o trolley que se puede orientar en todos sentidos, y al que la fuerza de un muelle sujeta por medio de una polea a la línea, cerrándose el circuito por uno de los rieles.

Para evitar pérdidas de corriente con la distancia y con la aglomeración de tranvías en un corto trecho, parten de la estación central varios cables subterráneos, llamados de alimentación, que llevan la corriente a la línea utilizando determinados postes, bastante alejados unos de otros: en la plataforma del tranvía van unos aparatos conmutadores, que por medio de palancas, intercalando en el circuito resistencias, permiten variar la velocidad, invertir el sentido del movimiento, terminar éste y usar los motores como frenos eléctricos (cuando estos motores se ponen en circuito corto), aunque también tiene el carruaje frenos mecánicos.

La corriente que viene de la fábrica marcha por el conductor, penetra por el trolley y pasa (cuando no lo impide el aparato conmutador) a los motores, que son, en el modelo más usado Thomson, muy resistentes, por estar protegidos por una caja de fundición que forma cuerpo con los inductores, en donde mueve sus inducidos y con ello a las ruedas del tranvía, volviendo por el carril conductor a la fábrica.

Por razones de ornato y para evitar el peligro de la formación de circuitos cortos con el suelo al romperse algún cable, úsanse en algunas poblaciones conductores subterráneos, que por una ranura abierta entre las vías o próxima a uno de los carriles, comunican con un frotador que lleva el tranvía; pero este sistema resulta muy caro (unas 400.000 ptas. por kilómetro); también pudiera emplearse el sistema de botones salientes colocados a lo largo de la vía y con los que comunica el carruaje cuando está encima por órganos magnéticos especiales y por una escobilla de toma de corriente; este procedimiento, que es algo peligroso por retener los botones a veces bastante electricidad y pisarse fácilmente, resulta poco práctico, lo mismo que el de acumuladores, que producen mucho peso y ocupan bastante espacio, pero que, no obstante esto, se emplean en los automóviles por no producir olor, ruido, ni calor y no ofrecer los peligros de los motores térmicos.

En los trenes eléctricos el conductor de la corriente va paralelo a las vías, y generalmente la máquina lleva frotadores que recogen la corriente; para conseguir mayores velocidades se ha estudiado sistemas de vías de un solo carril, aunque hasta ahora ese sistema mono-rail es muy poco aplicada.

Rayos Roentgen. -Radioactividad

609. Rayos catódicos. -Se ha indicado anteriormente cómo por medio del huevo eléctrico pueden variarse las condiciones de la chispa eléctrica, bien enrareciendo el aire en

el citado aparato, bien introduciendo en él gases diversos; este fenómeno ha sido mejor estudiado por varios físicos, valiéndose de unos tubos de cristal, en los que se introduce un gas o vapor, que luego se enrarece por medio de una máquina neumática; si en uno de estos tubos, de forma muy variada, llamados de Geissler, se hace saltar la chispa originada por una máquina, y mejor de un carrete de Rumkorff, entre los electrodos que están en sus extremos, se ve en el tubo una luz brillante, estriada, con bandas oscuras, cuyas estrías varían en forma, color y brillantez, según el gas utilizado, grado de enrarecimiento y dimensiones del tubo; además, el anodo aparece rodeado de una luz brillante, y el catodo, de una zona oscura.

Si el vacío en los tubos se extrema más, entonces el intervalo oscuro del catodo se extiende a todo el tubo y la pared se hace fluorescente en la zona opuesta al catodo o región anticatódica; este hecho, atribuido por Crookes a un estado especial de la materia, llamado estado radiante, se considera actualmente como el resultado de la existencia de radiaciones especiales emanadas del catodo, a las que se denomina rayos catódicos, los que se producen en tubos de cristal variables en sus formas y dimensiones, provistos de electrodos de platina, en los que se puede hacer el vacío, y que, en general, se dicen tubos de Crookes.

Los rayos catódicos determinan la fosforescencia de muchas sustancias, y se propagan rectilíneamente y en dirección normal al catodo, por lo que producen sombras si se interponen en ellos cuerpos opacos, encontrándose cargados de fluido eléctrico negativo.

610. Rayos Roentgen. -Modernamente, el físico Roentgen observó en 1895 que de la región anticatódica emergían unas radiaciones que, entre otras propiedades análogas a las de los rayos catódicos, salvo el no estar electrizados, tenían la de atravesar muchos de los cuerpos llamados opacos; es decir, que estos rayos no se reflejaban ni refractaban, y a estas radiaciones las llamó rayos X por su naturaleza desconocida, y hoy se designan también con el nombre de rayos Roentgen.

Estos rayos se utilizan para observar los cuerpos opacos, para lo cual basta (fig. 215) interponer éstos entre el tubo de Crookes y una pantalla de platinocianuro de bario (llamada fluoroscopio), que se hace fluorescente por los rayos X, ya que estos rayos no son luminosos ni impresionan directamente la retina, con lo cual se pintan en la pantalla las sombras de los objetos que son opacos para estas radiaciones; como, por ejemplo, los huesos en el esqueleto humano, iluminándose en las partes que son transparentes a dichos rayos; en lo general, esta transparencia es tanto mayor cuanto más pequeña es la densidad del cuerpo; así, el aluminio resulta bastante transparente, y el platino poco, y algunos cuerpos transparentes para la luz ordinaria, son opacos para estos rayos, como el cristal de roca; y si en esta investigación radioscópica se sustituye la pantalla por una placa fotográfica bien protegida de la luz, se impresiona por estos rayos y produce la fotografía de las sombras de los cuerpos opacos, lo que se llama hacer su radiografía.

Los tubos de Crookes más usados hoy para estos experimentos son de vidrio (tubos de focos), con tubos soldados de cristal, en uno de los que está el catodo, que es de platino o aluminio y forma un casquete esférico, y en los otros dos los dos anodos, puesto que el tubo es bianódico, de los que uno llega hasta el centro de la esfera y se termina en una lámina de

platino en ángulo de 45° con el eje normal del catodo; estos tubos producen los rayos X de manera más perfecta.

Los rayos X son un valiosísimo medio auxiliar para la medicina y la cirugía, empléanse también en los reconocimientos de aduanas en el examen de la estructura de las aleaciones, en el reconocimiento de las piedras preciosas falsas, las cuales son opacas a estos rayos siendo las verdaderas más o menos transparentes; para determinar la existencia de perlas en las ostras sin abrir éstas, y en algunos otros casos.

611. Radioactividad. -Conocidos los hechos anteriores, se ha observado por varios físicos que algunas substancias emitían espontáneamente radiaciones análogas en sus caracteres a los rayos X, a cuya propiedad se llamó radiactividad, y los cuerpos que la poseen se dice que son radiactivos; entre éstos se cuenta el uranio y sus sales, según dio a conocer Becquerel, y muy principalmente los cuerpos llamados radio y polonio, reconocidos en cantidades pequeñísimas en un mineral de uranio, la pechblenda, por el matrimonio Curie, en 1900.

El estudio de las radiaciones emitidas por el radio ha permitido demostrar que se propagan en línea recta, no se reflejan ni se refractan y están formadas de tres grupos de radiaciones separables por la acción de un campo magnético, y que son: los llamados rayos α , animados de gran velocidad y cargados de electricidad positiva, los rayos β también muy veloces y electropositivos, análogos a los rayos catódicos, y los rayos γ análogos a los rayos X. Las sales de radio comunican su radiactividad a los cuerpos próximos que, por lo tanto, tenían, según Mme. Curie, una radiactividad inducida explicada como consecuencia de emitir el radio una substancia sutilísima material llamada emanación, la cual, según algunos químicos y en especial el inglés Ramsay, puede en ciertas circunstancias transformarse en helio, en neón y en algún otro cuerpo, y con ello producir transmutación de los cuerpos simples, problema de gran trascendencia filosófica y práctica, muy discutido y objeto actualmente de muchos trabajos de laboratorio.

La radiactividad del radio, principalmente, es extraordinaria, y sus radiaciones son de gran energía, actuando sobre las placas fotográficas, haciendo conductor el aire, lo que se utiliza para el análisis radiactivo de las aguas, produciendo acciones químicas y fisiológicas muy notables y originando fosforescencias; estas substancias comunican su acción al agua y a los cuerpos circundantes, y su energía, sometida actualmente a estudio detenido, se cree que podrá utilizarse como un agente terapéutico de extraordinario valor, según se hace ya en la actualidad con el agente luz (baños de luz).

Telegrafía sin conductores

612. Ondas hertzianas. -Por varios experimentos se ha visto que la descarga de todo condensador es oscilante, y que estas descargas oscilantes deben considerarse como corrientes que cambian rápidamente, y muchas veces por segundo, de sentido, por lo que

deben producir fenómenos de inducción en los circuitos próximos, como, en efecto, indicó y demostró Hertz, en 1887, con aparatos adecuados, demostrando que dichos fenómenos de inducción dan ondas eléctricas que se propagan en el espacio a modo de ondas electromagnéticas, y que caminan con velocidad igual a la de la luz y son susceptibles de reflejarse, refractarse y aun de interferir entre sí, según se demuestra con un alambre de cobre en forma de anillo, llamado resonador, con sus extremos terminados en bolas, distintamente separados en cada uno, entre las que saltan las chispas al chocar las ondas con el resonador; a estas ondas se les da el nombre de ondas herzianas, en recuerdo de su descubridor.

El físico Branly demostró que las ondas hertzianas hacen conductoras las limaduras de ciertos metales (hierro, aluminio, níquel, etc.), puestas en un tubo, de cristal, cuyo tubo, en esas condiciones y antes de la acción de estas ondas, no dejaba pasar la corriente cuando se interponía en su circuito; a ese tubo con las limaduras se llama radioconductor o cohesor, y su conductibilidad persiste aun después de terminar la acción de las ondas; pero desaparece con sólo dar un ligero golpe en el tubo.

613. Idea de la telegrafía sin conductores. -Sustituido uno de los conductores, en la telegrafía eléctrica, por la tierra, que hace de conductor de vuelta de la corriente, el progreso científico ha venido a suprimir ese único conductor, originando la telegrafía sin hilos o sin conductores.

Fúndase esta telegrafía en el hecho, dado a conocer por Hertz de que las descargas oscilantes de un condensador producen en el espacio circundante ondas eléctricas, llamadas hoy hertzianas, que se propagan a distancia como las ondas sonoras o luminosas; estas ondas se pueden evidenciar con un aparato llamado radio conductor o cohesor de Branly, que consiste en un tubo de vidrio con limaduras metálicas, el cual no es conductor de la corriente, adquiriendo la conductibilidad al llegar a él una onda hertziana, para perderla de nuevo al golpear ligeramente el tubo.

Con estos datos, el físico ruso Popoff dispuso un aparato para indicar las tempestades lejanas, y luego el joven y sabio italiano Marconi aprovechó tales elementos para establecer la comunicación eléctrica a distancia por medio de la atmósfera, o sea para establecer la telegrafía sin conductores, que constituye uno de los adelantos científicos más importantes.

Todo aparato de esta clase consta en esencia de un poste transmisor y otro poste receptor.

El poste transmisor lo forman principalmente un aparato electrógeno (generalmente una bobina), un excitador o un condensador para producir las descargas oscilantes, y un manipulador Morse, que actuando de conmutador determina a voluntad la producción de una o dos chispas, o la de una serie de ellas continuada, lo que se marcará en el receptor por un punto, o un trazo, que son los signos del alfabeto Morse.

El poste receptor, algo más complejo, consta de un radioconductor colocado en el circuito de una pila local, cuya corriente va a un receptor Morse y a un electroimán que mueve el martillo que ha de golpear al radio conductor para hacerle perder la

conductibilidad que ha adquirido al llegar una onda hertziana o una serie continua de ellas, con lo que el receptor Morse ha marcado un punto o una raya.

Ambos postes, transmisor y receptor, llevan, para que las ondas salven los obstáculos terrestres, unos conductores de gran altura, llamados antenas, que influyen en la distancia de transmisión.

Estos aparatos encuéntrase hoy muy modificados, tanto en la forma y disposición de las antenas y en las corrientes locales del receptor, cuanto en reemplazar el radio conductor por aparatos de mayor sensibilidad, muy variables de forma, llamados detectores, y en sustituir el receptor Morse por un teléfono en el que pueden percibirse por un oído práctico los sonidos debidos a las variaciones de corriente enviadas por el detector y que el telegrafista traduce en puntos o rayas. Simplificado así el aparato para la recepción de los marconigramas (según se denominan los despachos), se pueden también distinguir por un oído práctico las ondas parásitas originadas por las tempestades lejanas o por otros fenómenos meteorológicos.

El principal inconveniente de esta telegrafía es la falta de secreto en la comunicación, puesto que las ondas afectan a todos los receptores comprendidos en su zona de acción; pero trabájase con gran fortuna para salvar esta dificultad sintonizando o concordando cada transmisor con uno o varios receptores determinados.

614. Corriente de alta frecuencia y alta tensión. -Los experimentos del físico americano Tesla, utilizando un dispositivo especial, han permitido el estudio de las corrientes oscilantes de gran frecuencia y de un voltaje hasta de 100.000 voltios, cuyas corrientes resultan inofensivas para el organismo, no obstante su gran voltaje (contrariamente a las de pequeña alternancia, que llegan a ser mortales, siendo aplicadas en América para matar a los sentenciados a muerte, o sea la electrocución), y de empleo terapéutico (arsonvalización, así como determinan efectos de inducción y luminosos muy notables.

Actualmente este sistema de comunicación funciona en gran número de buques puestos, de este modo en relación unos con otros y con determinados puertos, y también está representada esta telegrafía en los continentes por numerosas estaciones, algunas tan notables como la de la Torre Eiffel, para comunicarse con el Norte de África; la de Carabanchel (Madrid), establecida por los ingenieros militares, relacionada con otras de las costas españolas y africanas, y otras más.

615. Telefonía sin conductores.-Débese al físico Poulsen la idea del teléfono sin conductores que en vías de completa solución práctica ha sido objeto ya de pruebas bastante satisfactorias por algunos físicos.

El fundamento de esta telefonía es que si entre los dos carbones de un arco se intercala un circuito formado de un condensador y una bobina, el arco emite un sonido, ese circuito se dice que está en resonancia, originándose una corriente alterna que lleva por ondas, que se llaman ondas entretenidas, los fenómenos de inducción a gran distancia.

Cuando la bobina del circuito induce a otra relacionada con una antena, las ondas originadas, por ser rapidísimas y de igual longitud, no producen acción sobre el detector de la estación receptora, y éste no deja pasar corriente, por lo que no habrá sonido en el receptor telefónico; pero si se habla en un micrófono intercalado entre la antena y el suelo del transmisor, las ondas modificarán constantemente su amplitud y estas variaciones se manifestarán en el detector determinándose en el teléfono receptor sonidos que reproducirán los del transmisor.

616. Otras aplicaciones de las corrientes hertzianas. -Actualmente varios físicos, y entre ellos el sabio Edison, tratan de utilizar estas corrientes como medio transmisor de fuerzas, así como de aprovechar este medio de comunicación prácticamente a los servicios de los ferrocarriles y a las embarcaciones para determinar sus movimientos desde un punto determinado de tierra; problema en principio resuelto por el eminente ingeniero español Sr. Torres Quevedo, con su aparato llamado telekino, o sea un aparato complejo, que por medio de estas ondas permite producir a distancia acciones mecánicas, principalmente movimientos, comprendiéndose la extraordinaria importancia de este hecho en los casos de guerra.

Nociones de meteorología

617. Definición e importancia. -La Meteorología es una ciencia que estudia los fenómenos que se verifican en la atmósfera y que afectan a la salud y bienestar del hombre; esta ciencia, cuya importancia se deduce de considerar que la atmósfera constituye la parte más esencial de la habitación de la especie humana, puede decirse que se formó metodizando y razonando sus conocimientos con el descubrimiento del barómetro y del termómetro; pero, dadas la extensión y continuidad de la capa atmosférica, que relaciona íntimamente entre sí los fenómenos atmosféricos de las distintas regiones de la Tierra, la Meteorología ha recibido un positivo progreso con la invención de los medios rápidos de comunicación, cuales son el telégrafo y el teléfono.

Aunque el interés de las observaciones meteorológicas hace que se realicen muchas de ellas por todo el mundo, sin embargo, la observación científica de los hechos meteorológicos se verifica en establecimientos adecuados, que se denominan Observatorios meteorológicos, los cuales son frecuentemente también astronómicos, y están costeados por los Gobiernos, o bien por particulares.

En dichos Observatorios, relacionados, por lo general, los de cada nación con uno central, que a su vez está en comunicación con los de las otras naciones, existen los aparatos físicos necesarios para la observación, siendo muchos de ellos aparatos registradores de gran precisión, y que permiten de modo fácil y preciso seguir el curso de un fenómeno durante cierto tiempo.

618. Calor solar. -El grado de calor de la atmósfera y de la tierra en sus capas superficiales se debe, casi por completo, a la radiación solar, ya que la magnitud del radio

terrestre y la poca conductibilidad calorífica de la tierra hacen apenas sensibles en la superficie de ésta la acción del calor del núcleo de la Tierra; es decir, del calor central.

La acción calorífica de los rayos solares, cuyo efecto se llama insolación, ha sido calculada por el físico Pouillet valiéndose de un aparato de su invención, llamado, pirheliómetro, que es un verdadero calorímetro, pues consiste, en esencia, en un termómetro que tiene su depósito metido en una vasija cilíndrica de plata, de paredes delgadas, llena de agua, y una de cuyas caras está ennegrecida, saliendo de la otra un tubo de latón, que protege el tallo del termómetro, y tiene un disco del mismo diámetro que las bases de la vasija; poniendo este aparato con la cara ennegrecida al Sol, de modo que la sombra del disco coincida con la de la vasija, se puede calcular el calor que dicha cara recibe del Sol, y así Pouillet dedujo que el calor que, procedente del Sol, llega a la Tierra durante un año, es el que se necesitaría para fundir una capa de hielo, extendida sobre la superficie del globo, de 31,89 metros de espesor.

619. Calor de la tierra. -El calor de la tierra aumenta con la profundidad, por la influencia del calor central, como se ve en los pozos y minas y con muchos fenómenos geológicos, cual el volcanismo y los manantiales termales; este aumento de calor se ha calculado en un grado por cada 30 metros (grado geotérmico), de modo que a los 3.000 metros, próximamente, el agua se encontrará ya al estado de vapor.

620. Temperatura del aire. -La atmósfera, por su diatermancia, se calienta poco por el Sol, y la temperatura de esta atmósfera, producida principalmente por reflexión del calor en la superficie terrestre, así como por la radiación calorífica de la tierra y de las aguas, favorecida esta última por las corrientes marinas, se determina por los termómetros, ya ordinarios, ya especiales, que se han descrito, o por otros tipos diferentes, debiendo colocarse estos termómetros a la sombra y libres de las radiaciones caloríficas de otros cuerpos, dándose por los físicos reglas precisas para esta instalación de los termómetros, que suelen situarse en una caja sostenida por una columna, a 1,50 metros próximamente sobre el suelo, cuya caja está protegida por persianas que permiten circular el aire; a este aparato se llama facistol.

Las observaciones se toman, por lo general, a horas fijas, y así se determina la marcha del calor durante el día, así como las máximas y mínimas y la temperatura media diaria, para con estos datos calcular luego la media mensual y la anual.

621. Meteoros. -Todos los fenómenos atmosféricos se llaman meteoros, y se clasifican, atendiendo a sus causas, en aéreos, acuosos, eléctricos y luminosos.

622. Meteoros aéreos. -Se llaman meteoros aéreos todos aquellos que dependen del movimiento de la atmósfera.

Como este movimiento está muy relacionado con la presión atmosférica, se comprende la importancia que tendrá estudiar las variaciones de dicha presión, lo que se consigue por los barómetros, y frecuentemente se emplea para este fin el barómetro registrador, de Richard, que consiste (fig. 216) en ocho cajas acanaladas, en las que se ha hecho el vacío, puestas en columna, para que la variación total represente la suma de las variaciones de

todas; sobre ellas hay un pivote que, por medio de un sistema de palancas, hace moverse una aguja terminada en una punta impregnada en tinta, sobre un cilindro movido por un mecanismo de relojería y cubierto de un papel cuadriculado con líneas horizontales, equidistantes entre sí un milímetro, y arcos verticales; la punta traza sobre esta hoja de papel una curva continua, cuyo examen, fácilmente realizable por la cuadrícula, permite conocer las variaciones de presión durante una semana, puesto que este papel debe cambiarse todos los lunes.

623. Viento. -Se llama viento el movimiento de la atmósfera y se produce, bien por la diferencia de temperatura existente entre dos lugares (como se prueba, según Franklin, colocando una luz en la puerta de unión de dos habitaciones a diferente temperatura, y viendo cómo la llama se inclina hacia una u otra habitación, según se coloque en la parte alta o baja de la puerta), o por la formación rápida de vapor de agua, o por la condensación brusca de este vapor.

Existe también una relación íntima con la presión, puesto que las corrientes de aire ascendentes determinan una disminución en la presión, y contrariamente las corrientes descendentes.

Los vientos presentan diferentes caracteres, según las regiones que atraviesan, tanto referentes a su temperatura como a su estado de humedad; también hay que apreciar en ellos su dirección y su velocidad.

La dirección se determina por las veletas, banderas, humo, etc., de todos conocidas, mareándose para los marinos en la rosa de los vientos, que es una estrella en que están marcados los dieciséis rumbos en que se divide el horizonte, partiendo de los puntos cardinales, habiéndose observado que siempre sopla del lugar de mayor al de menor presión; esta dirección de los vientos fue expresada por Buys-Ballot, diciendo: si un observador se coloca en el hemisferio boreal de espaldas al viento, la región de las presiones más altas estará a su derecha y hacia atrás, y la región de las presiones más bajas hacia su izquierda y algo hacia adelante (ley de Buys-Ballot).

La velocidad se mide por los llamados anemómetros, de los que el más conocido es el de Robinson, que consiste en cuatro hemisferios huecos colocados en los extremos de dos ejes en cruz y que giran por la acción del viento sobre un eje, apreciándose el número de vueltas que da por un contador; la velocidad del viento es igual al triplo de dicho número de vueltas, puesto que el aire camina tres veces más veloz que el aparato, y esta velocidad permite clasificar al viento en calma cuando anda unos dos metros por segundo; brisa, si llega a cuatro; si a 10, viento propio, y pasando de unos 20 se llama huracán.

El anemómetro, por medio de una corriente y un sistema mecánico adecuado, puede hacerse aparato registrador.

624. Vientos constantes. -Se llaman vientos constantes los que soplan siempre en la misma dirección, y entre ellos están, como más notables, los alisios, que marchan constantemente entre los trópicos; estos vientos se originan por el calor de la zona tórrida,

que aspira el aire de los polos, y por la rotación de la Tierra; su dirección es de NE. a SO. en el hemisferio boreal, y de SE. a NO. en el austral; sobre ellos existe otra corriente inversa, que forma los contraalisios; los alisios, por su encuentro en el ecuador, producen la región de las calmas, que, aunque de poco viento, es lugar de muchas tempestades; se dicen también vientos de comercio por su constancia.

625. Vientos periódicos. -Son los que soplan durante cierta época en una dirección determinada; tales son: los monzones, que reinan en ciertas regiones, soplando, durante las épocas de calor, del mar a la tierra, e inversamente en la estación de los fríos. Las brisas o vientos periódicos son de la tierra al mar durante las primeras horas de la noche, y del mar a la tierra durante las del día, su origen es el distinto calentamiento y enfriamiento que tienen la tierra y el agua. A estos vientos pueden referirse también varios de carácter local, como el simoun, de África; el sirocco, de Italia; el mistral, de Francia; el solano, de España, etc.

626. Vientos irregulares. -Son los que marchan en una dirección arbitraria y generalmente con grandes velocidades; a ellos pertenecen los torbellinos de aire, de forma más o menos embudada, dotados de movimientos de rotación y traslación, que se llaman ciclones, a los que acompañan siempre depresiones barométricas, anunciándose frecuentemente por ciertos hechos, entre ellos la presencia de una nube pequeña de limbo oscuro, llamada ojo de buey; estos ciclones se suponen originados por el encuentro de corrientes aéreas opuestas, y su relación con las depresiones barométricas se ha sometido a leyes por algunos autores (ley de Buys-Ballot).

Como vientos irregulares están los tifones del mar de la China y los huracanes de las Antillas, los tornados, de la región de las calmas, y las trombas o torbellinos de viento, acompañados de violenta tempestad, que producen terribles efectos; y si son en el mar, elevación de enormes columnas embudadas de agua.

627. Meteoros acuosos. -Meteoros acuosos son los que deben su origen al agua en sus tres estados; proceden de la constante evaporación de las aguas terrestres, cuya evaporación se determina por unos sencillos aparatos llamados atmómetros; los principales meteoros acuosos son los siguientes:

628. Nubes. -Son masas de vapor acuosa condensado por el enfriamiento en forma de pequeñas gotas, y a veces con cristales microscópicos de hielo; estas nubes flotan en la atmósfera a diferentes alturas por las corrientes de aire, haciendo perder a éste su transparencia; su origen se atribuye, o bien al encuentro de dos corrientes aéreas de distinta temperatura, o a la condensación del vapor, originada por corrientes ascendentes; cuando las nubes están en contacto con la tierra y proceden de la evaporación de ríos, lagos, etc., se denominan nieblas, y propiamente bruma si se extiende sobre el mar.

Las nubes, por sus circunstancias, se llaman (figura 217); cirrus (1) cuando, estando a gran altura, son blanquecinas y filamentosas, con el aspecto de lana cardada; cúmulus (2), si se presentan en grandes masas redondeadas, de bordes blanquecinos brillantes e indicando próximas tempestades; stratus (3), si tienen aspecto de zonas o fajas horizontales, encontrándose bajas y apareciendo, por lo común, a la puesta del sol, y nimbus (4), que son nubes negruzcas, de forma variable y de bordes brillantes; suelen preceder a las lluvias

fuertes. La suspensión e inmovilidad aparente de las nubes en la atmósfera es aún muy discutida, atribuyéndose a varias causas.

629. Lluvia. -Es la precipitación del vapor acuoso condensado de la atmósfera, y su causa originaria es la temperatura que determina esta condensación; la cantidad de agua caída bajo la forma de lluvia depende de diferentes circunstancias, ya generales (latitud y altitud geográficas, época del año, etc.), ya particulares (orientación de una región, proximidad de montañas, presencia de grandes masas de arbolado, etc.), y se puede medir esta cantidad por los llamados pluviómetros, siendo el más usado (fig. 218) una vasija cilíndrica, B, con un embudo superiormente, F, para la entrada del agua y evitar la evaporación, y un tubo comunicante en la parte inferior, D, graduado, donde se aprecia la altura del agua en la vasija, que es la que tomaría en la tierra si no existiesen grandes pérdidas.

630. Nieve. -Es la precipitación del agua en estado sólido por una baja temperatura, presentándose la nieve en agujas exagonales unidas entre sí en masas llamadas copos, cuya reunión se realiza por el fenómeno de la regelación.

631. Granizo. -Consiste en la precipitación del agua en forma más o menos esférica, de estructura radiada a partir del centro, que a veces se reúnen determinando masas más voluminosas, llamadas piedras; el origen del granizo es poco conocido, suponiendo algunos que sea eléctrico, y otros lo consideran como un efecto de brusca solidificación a temperatura inferior a cero (sulfusión); se presenta el granizo durante las épocas del calor y de día, rara vez de noche (quizás por el menor calor que radia entonces la tierra), y generalmente su caída produce mucho ruido y bastantes perjuicios a los agricultores, y suele ir acompañada de grandes cúmulos en la atmósfera.

632. Rocío. -Es la precipitación del vapor acuoso sobre los cuerpos malos conductores a quienes rodea (madera, hojas de los árboles, cristal, etc.), y cuando esta precipitación es en estado sólido, por hacerse a temperatura inferior a cero, se llama escarcha; ambos fenómenos se deben a la radiación nocturna de los cuerpos malos conductores, que produce el enfriamiento de la zona circundante; si el rocío se presenta muy atenuado, se denomina sereno o relente, muy manifiesto en los países cálidos y húmedos.

633. Meteoros eléctricos. -Son aquellos que tienen su origen en la electricidad atmosférica.

La existencia de esta electricidad es un hecho perfectamente experimentable por los electroscopios, como el de Saussure, que es un electroscopio de panes de oro, con un conductor de seis decímetros de altura, terminado en punta o una esfera; el de Peltier, que en lugar de las láminas de oro tiene una barra magnética, y otros, y fue dada a conocer, por Franklin, elevando para ello una cometa terminada en una punta metálica y sostenida por un conductor que en su extremo llevaba un metal, así como también por los experimentos del físico Dalibard, en Francia.

Así, pues, aun en el tiempo de mayor calma, la atmósfera presenta un determinado estado eléctrico, cuyo potencial es diferente en los distintos lugares; también las nubes

están electrizadas, atribuyéndose esta electricidad al rozamiento de las gotas de agua, a la influencia de la tierra y algunas otras causas, pudiendo esta electrización ser positiva o negativa.

634. Rayo. -Se asemeja a la descarga eléctrica de los condensadores, y en general, es la descarga que se verifica entre dos nubes o entre una nube y la tierra, diciéndose en este caso, vulgar e impropriamente, que cae el rayo.

635. Relámpago. -Es la chispa brillante que acompaña a la descarga eléctrica, pudiendo ser en zig-zag, que es lo más frecuente, refiriéndose esta forma a una serie continuada de chispas como las del tubo centellante, o en forma de resplandor muy vivo que abarca una vasta extensión del horizonte (relámpagos difusos), o en forma de esferas (globos de fuego) de origen no bien conocido, o como resplandores lejanos que se ven en cielo despejado y que no producen ruido (relámpagos de verano), referidos a tempestades lejanas).

636. Trueno. -Es el sonido que acompaña a la descarga eléctrica, transmitido al aire que rodea las nubes, y reflejado después en los accidentes de la Tierra, por lo cual retumba y prolonga su duración; la distinta velocidad del sonido respecto a la de la luz hace percibir en tiempos diferentes ambos efectos simultáneos, luz y sonido, y esta diferencia permite calcular, aproximadamente, la distancia a que está la nube productora de estos fenómenos.

637. Efectos del rayo. Pararrayos.-Los efectos del rayo son terribles, ocasionando la fusión de substancias terrestres como la sílice, formando especie de tubos vidriados llamados fulgurites; la destrucción de rocas, árboles y edificios; la alteración del magnetismo terrestre, y la muerte de los seres vivos. Para evitar estos efectos de destrucción, Franklin tuvo la idea de proteger los edificios con una barra de hierro de alguna longitud, terminada en punta, que denominó pararrayos.

El pararrayos, por tanto, consiste en una barra larga y resistente, que se coloca verticalmente en las partes más elevadas del edificio y termina en punta inoxidable, generalmente de platino; por su base se une a un conductor que desciende por la pared del edificio, al que debe sujetarse con unos anillos aisladores de porcelana, hasta terminar en un pozo o galería subterránea que tenga carbón, agua u otra substancia conductora; la presencia de la punta de la barra atrae el fluido de la nube, verificándose la descarga al través del conductor y quedando así libre de sus efectos el edificio durante las tormentas, puesto que de ordinario también beneficia el pararrayos, evitando la acumulación de electricidad en el edificio que protege. Actualmente se construyen de puntas múltiples y con varios conductores, que forman una completa protección para el edificio; tal es el sistema llamado de Melsens, que se usa bastante.

Los seres vivos pueden a veces experimentar los terribles efectos del rayo sin recibir directamente su acción, y este efecto, llamado choque de retroceso, se debe a la electrización del ser vivo por influencia de la nube, y la desaparición brusca de esta influencia por descargar la nube en otro lugar, lo que determina una recomposición instantánea de los dos fluidos al través del cuerpo del ser vivo, que le ocasiona una gran conmoción y, a veces, hasta la muerte.

638. Meteoros luminosos. -Son aquellos que se refieren a los efectos de la luz en la atmósfera, y son los siguientes:

639. Coloración del cielo. -Se debe a las modificaciones de la luz solar en la atmósfera, siendo la parte azulada del espectro la que más experimenta estas modificaciones, por lo que la atmósfera se ve azulada, pues de no ser así, la llamada bóveda celeste se vería oscura, permitiendo distinguir de día los astros que tienen luz propia.

640. Arco iris. -Es un fenómeno que consiste en que un observador ve un arco mayor o menor, en el cual se suceden los colores del espectro; este arco, cuyo tamaño aumenta a medida que el observador se eleva sobre la superficie terrestre, llegando a verse como una circunferencia desde un globo muy elevado, puede considerarse como la base de un cono cuyo vértice es el ojo del observador, y el eje la recta que va desde ese vértice al Sol.

Se forma este arco cuando los rayos solares encuentran en su camino gotas de agua, a las cuales atraviesan, sufriendo una reflexión y dos refracciones y descomponiéndose en sus siete colores; si los rayos sufren dos reflexiones y dos refracciones, se produce un arco iris doble con los colores espectrales invertidos; así, pues, este fenómeno sólo exige la presencia del Sol y de gotas de agua en la atmósfera, por lo que se produce frecuentemente durante las lluvias, y a veces durante los riegos en ciertas condiciones.

641. Crepúsculos. -Son un fenómeno luminoso debido a la refracción de los rayos solares en la atmósfera; de aquí que, según la inclinación de estos rayos, varía la duración de los crepúsculos, siendo cortísima en el Ecuador, y aumentando con la latitud.

Como fenómenos luminosos, pueden citarse los círculos que rodean en ocasiones al Sol y a la Luna, llamados coronas y halos, y las líneas transversales de estos círculos que presentan imágenes denominadas parhelios (las del Sol) y paraselenes (las de la Luna), cuyos fenómenos se atribuyen a variaciones de la luz en las masas de hielo existentes en la atmósfera.

642. Auroras polares. -Son luces brillantes que aparecen en los polos, siendo la más conocida la aurora boreal, o del polo Norte, suponiéndose que tienen un origen magnético, pues producen alteraciones en la brújula; su forma es variable y a veces toman el aspecto de círculos brillantes o de bandas sinuosas onduladas, determinando siempre un hermoso espectáculo.

También puede indicarse el llamado fuego de San Telmo, o sea las chispas que se producen durante la noche en los mástiles y puntos elevados de los barcos, y que se atribuyen a descargas lentas entre estos cuerpos y la atmósfera.

643. Climas físicos. -Son el conjunto de condiciones atmosféricas de un lugar; estas condiciones se refieren principalmente a las temperaturas medias, al grado de humedad, presión atmosférica y vientos dominantes. Entre las condiciones que influyen en la climatología de un lugar, pueden citarse como más importantes: la latitud geográfica, tan relacionada con la temperatura; la altitud, que influye en el calor y la presión; la proximidad

de los mares, como reguladora del calor y sequedad atmosférica; la dirección de los vientos, las masas arbóreas, las montañas, los estancamientos de aguas, y algunas otras.

El estudio detallado de los climas puede hacerse valiéndose de los mapas o cartas del tiempo, en los que están representadas las líneas que unen los puntos de igual presión, llamadas líneas isóbaras, y las que unen los puntos de igual temperatura media invernal, o líneas isoquímenas, y de igual media de verano, o isóteras, o, sin detallar tanto, pueden estar representadas las líneas de unión de los puntos de igual temperatura media anual llamadas líneas isotermas. Los climas se han clasificado principalmente atendiendo a su temperatura y humedad; cuya clasificación es del mayor interés para la agricultura y para la vida higiénica de la humanidad.

644. Meteorognosia. -La Meteorognosia es una rama de la Meteorología que trata de la previsión del tiempo con alguna anticipación; se funda la meteorognosia en el conocimiento de los vientos y corrientes marinas, y muy principalmente en la continuada observación del barómetro, sin que por ello prescinda de algunos otros hechos realizados en la atmósfera sometida a nuestro estudio, ya que en casi todos los casos no puede contarse con los fenómenos que se verifican en las altas regiones atmosféricas, por no llegar a ellas las observaciones del hombre.

Es la meteorognosia del mayor interés práctico para la vida humana; pero desgraciadamente no puede mirarse todavía como ciencia establecida de un modo racional y científico, por lo cual nada puede indicarse de modo seguro y con arreglo a leyes fijas, respecto a profetizar el tiempo a plazo largo, pudiendo sólo admitirse indicios racionales de realización de determinados fenómenos meteorológicos a plazo relativamente próximo, fundados en hechos de observación, que hacen que, aunque con carácter empírico, sean muy dignas de ser atendidas las predicciones de algunos marinos y campesinos, expertos vaticinadores de determinados acontecimientos meteorológicos.

Problemas

Cinemática

1.º Dos locomotoras con movimiento uniforme parten al mismo tiempo de dos estaciones, A y B. Si marchasen en sentidos opuestos, se encontrarían a 3 km. de la estación A; y si fuesen las dos en el sentido A B, el encuentro sería a los 15 km. de A: ¿qué longitud tendrá A B?

Res.: $A B = 5 \text{ Km.}$

2.º Dos móviles A y B parten simultáneamente con movimiento uniforme y en el mismo sentido de un punto de una circunferencia: el 1.º, A, recorre esta circunferencia en 42 minutos, y el 2.º, B, en 105, deteniéndose los dos cuando vuelven a encontrarse en el punto de partida: ¿cuántos encuentros se habrán verificado? ¿qué número de minutos mediará

entre cada dos encuentros consecutivos? ¿cuántos minutos habrá marchado cada móvil?
¿cuántas vueltas ha dado cada uno?

Res.: 1.º N. = 3; 2.º = 70; 3.º m. = 210, y 4.º v. = 5 y 2.

3.º Un proyectil es lanzado en línea recta con una velocidad inicial de 260 metros por segundo, y se mueve con movimiento uniformemente retardado, cuya aceleración es de 9,81 m. por segundo: ¿cuánto tiempo tardará en pararse? ¿qué espacio habrá recorrido?

Res.: Tiempo = 25,48 segundos; Espacio = 3.184,47 ms.

4.º Dadas dos fuerzas paralelas F y F , del mismo sentido y de intensidades iguales a 12 y 8 Kg., respectivamente, aplicadas a los extremos de una recta sólida de 6 m. de longitud, determinar su resultante.

Res.: R de igual sentido, $I = 20$ Kg.; aplicada a 2,40 m. de F .

5.º En una palanca de 180 cm., supuesta sin peso, el punto de apoyo está a 36 cm. de su longitud: ¿qué esfuerzo será necesario aplicar al brazo largo para equilibrar un peso de 10 kilogramos puesto en el brazo corto?

Res.: Esfuerzo = 2 Kg., 500 gr.

6.º ¿Qué esfuerzo será necesario para sostener un peso de 100 Kg. con la ayuda de una polea móvil cuyos cordones forman un ángulo recto?

Res.: Fuerza = 70 Kg., 721 gr.

7.º Por medio de un torno de pozos y con un esfuerzo de 40 kg., se eleva un peso de 200 kg. a una altura de 6 m.: ¿cuántas vueltas ha de dar el torno para ello, sabiendo que su cigüeñal es de 50 cm.?

Res.: Número de vueltas = 9,55.

8.º ¿Qué fuerza necesitará para equilibrar, hecha abstracción de las resistencias, un peso de 250 Kg. puesto sobre un plano inclinado de 15 por 100 de pendiente, actuando esa fuerza paralelamente al plano?

Res.: Fuerza = 37 Kg., 80 gr.

9.º ¿Qué potencia será necesaria para ejercer una presión de 600 Kg. con una prensa de husillo de 2 cm, de paso de rosca, y suponiendo que esa potencia actúa en el extremo de una palanca de 40 cm.?

Res.: Potencia = 4 Kg., 770 gr.

10. Dos cuerpos a y a caen de un punto con 2 segundos de intervalo: ¿al cabo de cuánto tiempo estarán entre sí a 51 m.?

Res.: Tiempo = 3,60 segundos del momento de caída de a.

11. ¿Cuál es la longitud del péndulo simple de segundos en un lugar en que la intensidad de la gravedad es $9 \text{ m, } 827$?

Res.: Péndulo = 998 mm.

12. Un reloj está arreglado en el pie de una montaña, donde $g = 9,80 \text{ m.}$; se lo lleva a la cumbre, en la que $g = 9,78$: ¿cuánto modificará en 30 días, suponiendo invariable la longitud de péndulo?

Res.: El reloj atrasará en 30 días 38 min. 53 seg.

13. Un cono lleno de agua destilada reposa sobre la base que tiene 5 dm. de diámetro: ¿qué peso soportará esta base, sabiendo que la altura del cono es 1 m.?

Res.: Peso = 196 Kg. y 200 gr.

14. Una corona de oro y de plata, o sea de una aleación de ambos metales, pesa 300 gr. en el aire y 280 en el agua destilada: ¿cuál es la composición de esta corona, siendo los pesos específicos 19,4 el de oro y 10,5 el de la plata?

Res.: Oro = 197 gr.; plata = 104 gr.

15. Un bloque cilíndrico de hielo flota en el agua del mar, de densidad 1,03: ¿cuál es la fracción de su altura sumergida?

Res.: Parte sumergida = 902 milésimas de la altura.

16. Calcular la arista de un cubo de granito que pesa 26 kg., 261 gr., siendo la densidad de este cuerpo, 2,70.

Res.: Arista = 21,34 cm.

17. Un cuerpo flotante tiene un volumen de 36 dm.^3 ; estando un tercio de él sumergido, ¿cuánto pesará el cuerpo?

Res.: Peso = 12 Kg.

18. Hallar la densidad de la bencina por el areómetro de Fahrenheit, sabiendo que el aparato pesa 68,53 gr. y que se enrasa en el agua con 24,72 gr. y en la bencina con 15,27.

Res.: D. = 0,89.

19. Determinar la presión que ejercerá la atmósfera sobre el cuerpo de un hombre cuya superficie se calcula en metro y medio cuadrado, siendo la presión de 760 mm.

Res.: P. = 15,495 Kg.

20. Una sala tiene 10 m. de longitud, 8 de ancho y 4 de altura: ¿cuál será el peso de su aire, sabiendo que el litro de éste pesa 1,238 gr. a 12° y 76 cm, de presión?

Res.: P. = 396 Kg., 160 gr.

21. Una masa gaseosa ocupa un volumen de 12 litros a una presión de 753 mm.: ¿cuál será su volumen a la presión de 2.259 milímetros?

Res.: V. = 4 litros.

22. ¿Qué esfuerzo se precisa para separar dos hemisferios de Magdeburgo, de 1 dm. de radio y que en el interior se ha hecho el vacío perfecto, siendo la presión exterior de 76 cm.?

Res.: F. = 324 Kg., 550 gr.

23. Dos masas de hierro (D = 7,79) y corcho (D = 0,24) pesan cada una en el aire una arroba (11,502 Kg.): ¿cuáles serán sus pesos en el vacío? (litro de aire = 1,29 gr.).

Res.: Hierro = 11 Kg. 504 gr.: corcho 11 Kg., 564 gr.

24. ¿Cuál es la fuerza ascensional de un globo ocupado al partir por 3.225 m.5 de hidrógeno (un metro cúbico de hidrógeno pesa 89 gramos), siendo su peso con todos los accesorios 2.000 Kg.

Res.: P. = 1.882 Kg. 900 gr.

25. ¿Qué tiempo media entre el momento de caída de una piedra en un pozo de 120 m. y aquel en que se percibe su choque con el fondo? (Velocidad del sonido, 322,6 m. por segundo).

Res.: T. = 5,31 segundos.

26. Calcular el número de vibraciones de las notas dominante (sol) y sensible (si) de una escala natural de do, en la que esta nota correspondo a 300 vibraciones.

Res.: Nota Sol = 450; nota Si = 562 (por defecto).

27. Dos cuerdas de iguales condiciones tienen 4 y 9 m, de longitud, respectivamente: ¿en qué relación están sus vibraciones? ¿Y si, iguales en todo, sólo se diferencian en su tensión, igual a 9 y 16 Kg., respectivamente?

Res.: 1.º, N: N:: 9: 4; 2.º, N: N 3: 4.

28. Una placa rectangular de hierro tiene 20 cm² a 0º: ¿qué dimensiones tendrá a los 80º? Coeficiente del hierro = 0,000011.

Res.: Dimensión = 20 cm², 0352.

29. ¿Cuál es el volumen de una esfera de platino a 50º siendo su radio a 20º, 0,035 m.? Coeficiente del platino = 1/116.700.

Res.: V. a 50º = 0 metros³, 00017973.

30. Siendo 13,59 el peso específico del mercurio a 0º ¿cuál será a 85º el volumen de 30 Kg, de dicho metal, cuyo coeficiente absoluto de dilatación es = 1/5.550?

Res.: V. = 2 litros, 2.412.

31. Un litro de aire pesa a 0º y 76 cm. de presión 1 gr., 293: ¿qué pesará un litro de aire a 231º y 63 cm. de presión? Coeficiente del aire = 0,00366.

Res.: Litro de aire = 0,581 gr.

32. ¿A cuántos grados Reaumur equivalen 30º centígrados? ¿y 86 Reaumur, a cuántos centígrados equivalen?

Res.: 30 C. = 24 R; 38 R. = 45 C.

33. 85 centígrados, ¿a cuántos Fahrenheit equivalen? Y 14 Fahrenheit, ¿cuántos centígrados valen?

Res.: 85 C. = 185 F.; 14 F. = 10 C.

34. Calcular la temperatura que se expresa por el mismo número de grados en las escalas centígrada y Fahrenheit.

Res.: T = 40º.

35. La caldera de una máquina sin condensador suministra vapor a la presión de 8 Kg. por cm.²; la superficie del pistón es de 435 cm.², y su carrera, de 0,55 m.: la máquina da 63 golpes de pistón en un minuto: ¿cuál es la potencia de una máquina?

Res.: P. = 1.784 Kgm. = 23,5 caballos de vapor.

36. Dos focos distantes 20 m. tienen sus intensidades luminosas en la relación de 16 a 1: ¿a qué distancia debe interponerse una pantalla para su igual iluminación por ambos lados?

Res.: $X = a$ 16 del primero y 4 m. del segundo foco.

37. Determinar el número de imágenes de un punto luminoso colocado entre dos espejos de ángulo recto o en ángulo de 60° o de 45° y construir gráficamente estas imágenes.

Res.: $N = 3$ (recto); $n = 5$ (ang. 60°); $n = 7$ (ang. 45°).

38. Determinar analítica y gráficamente (escala 1/10) la imagen de un objeto luminoso puesto perpendicularmente al eje principal, y a 30 cm. de un espejo cóncavo de 30 cm. de radio.

Res.: Sol analítica: $I = 30$ cm., real e igual.

39. Suponer, en el problema 38 que el objeto está a 10 cm. del espejo.

Res.: Sol. analítica: $I = 30$ cm., virtual y mayor.

40. Se dan un espejo convexo de 40 cm. de radio, y una bujía de 4 cm. de altura, puesta delante a 30 cm.: determinar la imagen analítica y gráficamente.

Res.: Sol. analítica: $I = 40$ cm., virtual y más pequeña.

41. Se tiene una lente biconvexa de 20 cm. de distancia focal y un objeto luminoso de 10 cm. puesto a 60 cm. de la lente: determinar su imagen.

Res.: $D. = 30$ cm.; $I =$ real y mitad del objeto.

42. Calcular la capacidad y el tiempo de la descarga de un acumulador, cuya carga para corriente de 12 amp. ha sido de $8 \frac{1}{2}$ horas, y el rendimiento en cantidad de 85 por 100.

Res.: $C. = 86,70$ amp.-hora; descarga = 4,20 horas.

43. Calcular la resistencia de un hilo de hierro ($R. \text{ del hierro} = 0,00017$ ohmios) de 15 mm. de sección y de 345 Km. de longitud.

Res.: $R = 2.461$ ohmios.

44. ¿Qué grueso debe tener un hilo de cobre ($R. \text{ del cobre} = 0,00018$ ohmios) de 2.300 m. para que su resistencia sea igual a 15 ohmios?

Res.: $G = 2,76$ mm.²

Facilitado por la Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes

Súmese 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**.

