

Obras de Enseñanza Primaria y Secundaria

COLECCIÓN H. E. C.

---

# FÍSICA

---

Tercera edición corregida y aumentada



DEPÓSITO: ROSAS, 1178

Y EN LAS PRINCIPALES LIBRERÍAS

---

SANTIAGO DE CHILE  
IMPRENTA SAN BUENAVENTURA  
CONVENTO DE SAN FRANCISCO

---

1911

MUSEO PEDAGOGICO  
DE CHILE

INVENTARIO

N.º de orden 885





OBRAS DE ENSEÑANZA PRIMARIA Y SECUNDARIA

COLECCIÓN H. E. C.

# FÍSICA

TERCERA EDICIÓN

CORREGIDA



MUSEO PEDAGOGICO  
CARLOS GUARDO URIZ  
BIBLIOTECA

Depósito: Rosas, 1178  
Y EN LAS PRINCIPALES LIBRERIAS

2 11220

SANTIAGO DE CHILE  
IMPRENTA SAN BUENAVENTURA

CONVENTO DE SAN FRANCISCO

1911

---

Es propiedad. Se ha hecho el depó-  
sito exigido por la ley.

---

13 OCT. 1981

# ELEMENTOS DE FÍSICA

---

## PRELIMINARES

### § I.

1. **Definición.**—*Física es la ciencia que estudia las propiedades generales de los cuerpos y los fenómenos ó cambios transitorios que experimentan bajo la influencia de los agentes naturales.*

Esta ciencia estudia los fenómenos por medio de la observación y experimentos, y se propone indagar sus causas, sus efectos y las leyes que los rigen.

2. **Materia.**—*Materia es cuanto ocupa una porción del espacio.*

3. **Agentes naturales.**—*Ilámanse agentes naturales ó físicos, ó causas naturales, las fuerzas que rigen la materia, tales son: la gravedad, el calor, el magnetismo, la electricidad, la luz, el sonido.*

4. **Fenómenos.**—*Fenómeno, en general, es cualquier cambio que experimenta un cuerpo.*

Fenómeno *físico* es el cambio ó modificación que experimenta transitoriamente un cuerpo. Por ejemplo: la caída de una piedra, la dilatación del hierro, la variación de la temperatura.

Fenómeno *químico* es el que altera la constitución íntima del cuerpo. Por ejemplo: la tiza calentada disminuye de

peso y se vuelve cal, el hierro expuesto al aire húmedo aumenta de volumen y se vuelve orín.

## §. II

### **Cuerpo.—Sus estados**

5. **Cuerpo.**—Llámase cuerpo, ú objeto material, cualquiera cantidad limitada de materia.

El cuerpo se halla formado por *moléculas*.

6. **Molécula.**—Molécula es la más pequeña partícula de un cuerpo que puede existir al estado libre.

Todas las moléculas de un mismo cuerpo son semejantes entre sí.

7. **Estado de los cuerpos.**—Los cuerpos se nos presentan bajo tres estados: el estado *sólido*, el estado *líquido* y el estado *gaseoso*.

Cuerpos *sólidos* son aquellos que oponen resistencia más ó menos considerable á la separación de sus moléculas; v. g.: las piedras, los metales, la madera.

Cuerpos *líquidos* son aquellos cuyas moléculas poseen una gran movilidad, por ejemplo: el agua, el mercurio, los aceites. Estos cuerpos toman la forma de los vasos que los contienen.

Cuerpos *gaseosos* son aquellos cuyas moléculas se repelen unas á otras; v. gr.: el aire, el vapor. Estos cuerpos tienden á ocupar el mayor espacio posible.

Los líquidos y gases toman el nombre general de *flúidos*.

Un mismo cuerpo puede existir en los tres estados. Así el agua puede solidificarse y formar hielo, ó evaporarse

y formar un gas invisible. Lo mismo sucede con casi todos los cuerpos.

8. **Transiciones entre los tres estados.** — Entre el estado sólido más duro y el líquido más fluido, puede haber muchos estados intermediarios. Cuando se calienta gradualmente acero templado hasta una temperatura muy elevada, el acero se vuelve fluido. Ciertos cuerpos existen naturalmente en estado de líquidos *viscosos* ó *pastosos*, como el aceite, la manteca, el alquitrán.

### § III.

#### **Propiedades de los cuerpos**

9. Las propiedades de los cuerpos son *generales* ó *particulares*.

10. **Propiedades generales de los cuerpos** son las comunes á todos los cuerpos: sólidos, líquidos y gaseosos.

Las principales son: la extensión, la impenetrabilidad, la divisibilidad, la porosidad, la elasticidad, la compresibilidad, la movilidad y la inercia.

11. **Extensión.**—La extensión es la propiedad que poseen los cuerpos de ocupar una porción determinada del espacio.

12. **Masa** de un cuerpo es la cantidad de materia que contiene.

13. **Impenetrabilidad.**—La *impenetrabilidad* es la propiedad en virtud de la cual dos cuerpos no pueden ocupar á la vez una misma porción del espacio. Al introducir un clavo en un palo, sólo se desalojan ó separan las fibras, sin que el hierro ocupe el mismo lugar que las moléculas de la madera.

14. **Divisibilidad.**—La *divisibilidad* es la propiedad que poseen los cuerpos de poder ser divididos en partículas muy pequeñas.

Una gota de disolución de fucsina colora grandes cantidades de líquido; un granito de almizcle despide olor durante varios años, sin que disminuya sensiblemente de peso.

15. **Porosidad.**—La *porosidad* es la propiedad que poseen los cuerpos de presentar poros ó espacios entre sus moléculas.

Es fácil ver los poros de la esponja, del corcho y de algunas maderas; pero en la mayor parte de los cuerpos no es posible percibirlos distintamente. Sin embargo, no hay ninguno que deje de presentarlos, aún aquellos que parecen más compactos.

El agua comprimida atraviesa el plomo, el oro. El hierro, el platino se dejan fácilmente atravesar por ciertos gases.

16. **Elasticidad.**—La *elasticidad* es la propiedad que poseen los cuerpos de recuperar su forma y volumen primitivos, cuando la fuerza que los había comprimido (tracción, presión), cesa de obrar.

Una tira de goma elástica recobra su tamaño cuando se deja de estirar. Un arco tendido se rectifica cuando se suelta la cuerda. Una bola que cae de cierta altura sobre una superficie dura, rebota, porque sus moléculas al cesar la compresión de la caída reaccionan para tomar su forma primitiva.

17. **Compresibilidad.**—La *compresibilidad* es la propiedad que poseen los cuerpos de disminuir de volumen bajo la acción de una presión: es una consecuencia de la porosidad.

La aleación de las monedas disminuye de volumen bajo la acción del cuño ó prensa monetaria. Cuando se aprieta una esponja ó un corcho, se ve reducirse su volumen.

Todos los cuerpos no son igualmente compresibles. Los líquidos son poco compresibles, los sólidos un poco más, los gases son muy compresibles.

18. **Movilidad.**—La *movilidad* es la propiedad en virtud de la cual los cuerpos pueden ser transportados de un lugar á otro. Un cuerpo está en *movimiento* cuando cambia de lugar.

19. **Inercia.**—La *inercia* es una propiedad negativa que consiste en la incapacidad en que se halla la materia para pasar del estado de reposo al de movimiento y vice-versa. Así, un cuerpo en reposo permanecerá siempre en reposo y un cuerpo en movimiento seguirá moviéndose, si no interviene una acción extraña.

20. **Propiedades particulares de los cuerpos.**—Las *propiedades particulares* son las especiales de ciertos cuerpos, tales como: la *dureza*, la *tenacidad*, la *ductilidad*, la *maleabilidad*.

21. **Dureza.**—La *dureza* es la mayor ó menor resistencia que oponen los cuerpos al ser rayados. El diamante es un cuerpo muy duro.

22. **Tenacidad.**—La *tenacidad* es la resistencia que oponen los cuerpos sólidos á la ruptura cuando se ejerce sobre ellos una tracción. El *hierro* es el que presenta mayor tenacidad: un alambre de dos milímetros de diámetro puede soportar un peso de 250 kilogramos.

23. **Ductilidad.**—La *ductilidad* es la propiedad que poseen ciertos cuerpos de dejarse reducir á hilos sumamente delgados.

Hay metales que se pueden reducir á hilos más delgados que un cabello. El platino puede adelgazarse á hilos tan tenues que mil metros de ese metal solo pesan cinco centígramos.

24. **Maleabilidad.**—La *maleabilidad* es la propiedad que tienen algunos cuerpos de poder reducirse á láminas muy delgadas. El oro es el metal más maleable.

CUESTIONARIO. — ¿Qué es Física? ¿Qué es materia? ¿Qué se llaman agentes físicos? ¿Qué es fenómeno físico? químico? ¿Qué se entiende por cuerpo? ¿Qué es molécula? ¿Cuáles son los tres estados de los cuerpos? ¿Qué es cuerpo sólido? líquido? gaseoso? ¿Cuáles son las propiedades generales de los cuerpos? ¿Qué es la extensión? la impenetrabilidad? la divisibilidad? la porosidad? la elasticidad? la compresibilidad? la movilidad? la inercia? ¿Qué son propiedades particulares de los cuerpos? ¿Qué es la dureza? la tenacidad? la ductilidad? la maleabilidad?



# PRIMERA PARTE

## CAPÍTULO I

# NOCIONES DE MECÁNICA

### § 1.—FUERZAS.

1. **Fuerza.**—*Fuerza es la causa que produce ó modifica un movimiento.*

2. **Potencia y resistencia** — Se llaman *potencias* las fuerzas que producen ó aceleran un movimiento; *resistencias* las que tienden á detener ó retardar un movimiento.

Entre estas últimas se distinguen:

1.º La *resistencia de los ambientes*: una pluma de pájaro cae despacio por causa de la resistencia del aire.

2.º El *roce*: los frenos de los coches y de los vagones son aplicaciones de esta propiedad.

Una misma fuerza puede obrar á veces como potencia y como resistencia. Cuando se tira un cuerpo de abajo hacia arriba, la pesantez principia por retardar y por anular su movimiento; luego, después de haberlo hecho cambiar de dirección, lo acelera más y más á medida que cae.

**3. Acción y reacción.**—Cada vez que un cuerpo obra sobre otro, éste reacciona sobre el primero con una fuerza igual y de dirección opuesta.

Apoyando la mano en la mesa, se siente que la mesa ejerce contra la mano una presión igual y de dirección opuesta. Si desde un barco se ejerce con una cuerda una tracción sobre un cuerpo colocado en la orilla, resulta que el barco se arrima á la orilla como si en ella se hubiera desarrollado la fuerza que se ejerció: esa fuerza que parece venir de la orilla es la reacción.

Si el suelo no opusiera reacción, nos sería imposible avanzar; esto explica la dificultad con que se camina en un terreno movedizo ó sobre una superficie pulimentada.

La adherencia de las ruedas de la locomotora á los rieles le permite avanzar arrastrando los vagones.

**4. Fuerza de inercia.**—Se llama *fuerza de inercia* la reacción que un cuerpo ejerce sobre toda acción que lo hace salir del reposo, ó modifica su velocidad, ó cambia la dirección de su movimiento.

Para poner un carro en movimiento, se necesita una fuerza mayor que para mantener la velocidad adquirida. En este último caso basta vencer el roce y las resistencias pasivas; en el primer caso es preciso vencer además la fuerza de inercia.

Cuando un vehículo está lanzado con gran velocidad, exige una fuerza considerable para detenerlo en poco tiempo.

La fuerza de inercia explica las catástrofes producidas por el choque de dos trenes, de dos navíos, etc.

**5. Caracteres de una Fuerza.**—Una fuerza está caracterizada por su punto de *aplicación*, su *dirección* y su *intensidad*.

El *punto de aplicación* de una fuerza es el punto en que actúa dicha fuerza.

La *dirección* de una fuerza es la línea recta según la cual esa fuerza mueve su punto de aplicación.

La *intensidad* de una fuerza es la relación entre dicha fuerza y otra tomada por unidad.

6. **Medida de la intensidad de una fuerza.**—Para medir las fuerzas, se suelen usar los instrumentos llamados *dinamómetros*. La fuerza aplicada en el dinamómetro hace experimentar á un resorte una flexión más ó menos grande; la intensidad se lee en una escala graduada.

7. **Representación de las fuerzas.**—Una fuerza se representa por medio de una flecha: la punta indica su dirección, la extremidad opuesta, su punto de aplicación, y la longitud su intensidad.

8. **Resultante.** — *Resultante* de varias fuerzas es la fuerza única que puede suplirlas todas.

Componer fuerzas es buscar su resultante.

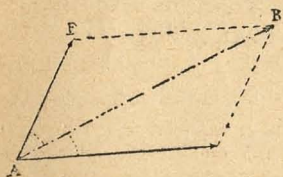


Fig. 1.—Fuerzas concurrentes.

### 9. Fuerzas concurrentes.

— La resultante de dos fuerzas concurrentes está representada por la diagonal del paralelogramo que se construye sobre estas fuerzas (Fig. 1).

Así la resultante de las fuerzas  $F$  y  $F'$  es la diagonal  $AR$ .

10. **Fuerzas paralelas de una misma dirección.**—La resultante de dos fuerzas paralelas de una misma dirección es paralela á esas fuerzas, de la misma dirección é igual á la suma de ellas.

Su punto de aplicación divide la recta que une los puntos de aplicación de esas fuerzas en partes inversamente proporcionales á las intensidades de las componentes. (Fig. 2).

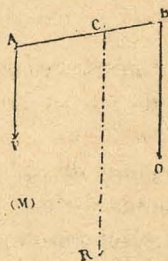


Fig. 2.—Fuerzas paralelas de una misma dirección.

Se tiene pues  $R=P+Q$

$$y \quad \frac{CA}{CB} = \frac{Q}{P}$$

### 11. Fuerzas paralelas de direcciones opuestas.—La

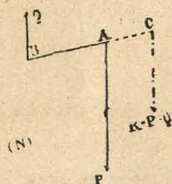


Fig. 3.—Fuerzas paralelas de dirección opuesta.

resultante de dos fuerzas paralelas, de sentido contrario, es paralela á esas fuerzas, en dirección de la mayor é igual á su diferencia.

El punto de aplicación de la resultante está en la prolongación de la recta que une los puntos de aplicación de las componentes; sus distancias á los puntos de aplicación de las dos componentes son en razón inversa de las intensidades de esas fuerzas (fig. 3).

Se tiene pues  $R=P-Q$

$$y \quad \frac{CA}{CB} = \frac{Q}{P}$$

## § II.

## MOVIMIENTOS

12. **Reposo y movimiento.**—Un cuerpo está en reposo ó en movimiento.

Para juzgar del estado de reposo ó de movimiento de un cuerpo, se compara su posición, en diversos instantes,

á la de otros cuerpos tomados como *puntos de partida*. El reposo ó el movimiento es *absoluto ó relativo*: absoluto si los puntos de comparación están en reposo; relativo si estos puntos están en movimiento.

Sólo podemos observar un reposo ó un movimiento relativo, porque todos nuestros puntos de comparación se hallan en movimiento.

**13. Elementos de un movimiento.** — Dos elementos deben considerarse en el movimiento de un móvil: la *trayectoria* y la *ley*.

La *trayectoria* es el camino recorrido por un cuerpo que se mueve. Puede ser *rectilínea* (piedra que cae libremente), *circular* (punto de una circunferencia que gira al rededor de su centro), *elíptica* (revolución de la tierra al rededor del sol), *periódica* (péndulo de un reloj), etc.

Desde el punto de vista de la *ley del movimiento*, éste es *uniforme ó variado*.

**14. Movimiento uniforme.** — *Un movimiento es uniforme cuando los espacios recorridos son proporcionales á los tiempos empleados en recorrerlos.*

Entonces el móvil recorre espacios iguales en tiempos iguales.

*Se llama velocidad de un movimiento el espacio recorrido durante un segundo.*

En el movimiento uniforme, la velocidad es uniforme.

Por ej., el sonido y la luz se propagan con un movimiento uniforme: el sonido con una velocidad de 340 metros y la luz con una velocidad de 300,000 kilómetros.

**15. Movimiento uniformemente variado.** — Un movimiento es uniformemente variado:

1.º *Cuando la velocidad varía proporcionalmente al tiempo.*

2.º *Cuando el espacio varía proporcionalmente al cuadrado del tiempo.*

Estas dos propiedades son equivalentes y son consecuencias una de otra.

En el movimiento uniformemente variado, la velocidad varía de cantidades iguales en tiempos iguales.

Llámanse *aceleración* la variación constante de la velocidad durante un segundo.

Si la velocidad *aumenta*, el movimiento es uniformemente *acelerado* (piedra que cae).

Si la velocidad *disminuye*, el movimiento es uniformemente *retardado* (piedra que se tira de abajo arriba).

### 16. Movimiento producido por una fuerza constante.

*Una fuerza constante aplicada á un cuerpo le comunica un movimiento uniformemente acelerado.*

En efecto, durante el primer segundo la fuerza da al cuerpo cierta velocidad  $v$ ; si entonces la fuerza cesa de obrar, el cuerpo, en virtud de la inercia, sigue su movimiento de velocidad constante  $v$ . Pero, si la fuerza obra durante el segundo siguiente, da al cuerpo una nueva velocidad  $v$  que se añade á la primera, de modo que la velocidad se vuelve  $2v$ ; después de tres segundos, la velocidad será  $3v$ , etc.

Por lo tanto, la velocidad crece proporcionalmente al tiempo, es decir que el movimiento es uniformemente acelerado.

**17. Condiciones del movimiento uniforme.**—El movimiento uniforme se produce en dos circunstancias:

1.º *Cuando la fuerza motriz ha cesado de obrar.* Entonces el cuerpo sigue su movimiento únicamente en virtud de la inercia.

2.º *Cuando la fuerza motriz se halla constantemente anulada por una resistencia igual y directamente opuesta.* Así, p. ej., para que un tren se mueva con una velocidad creciente, es preciso que la tracción de la locomotora sea superior á todas las resistencias pasivas y á la fuerza de inercia que le opone el tren; pero una vez que el convoy anda con su velocidad reglamentaria, sigue su movimiento en virtud de la inercia, y la locomotora se volvería inútil si no existiera el roce y la resistencia del aire.

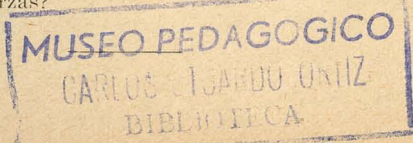
18. **Equilibrio de las fuerzas.**—Varias fuerzas se equilibran cuando su resultante es nula y, por lo tanto, no modifica el estado de reposo ó de movimiento del cuerpo.

19. **Trabajo de una fuerza.**—Llámase *trabajo de una fuerza* al producto de su intensidad por la distancia que hace recorrer á su punto de aplicación en el sentido de su dirección.

La unidad de trabajo adoptada en la práctica es el *kilográmetro*.

El *kilográmetro* es el trabajo que efectúa una fuerza para levantar un kilogramo á una altura de un metro.

CUESTIONARIO.—¿Qué es fuerza? potencia? resistencia?—¿Qué se entiende por fuerza de inercia?—¿Cuáles son los caracteres de una fuerza?—¿Qué es el kilográmetro?—¿Cómo se representa la dirección de una fuerza?—¿Qué son fuerzas concurrentes? paralelas de una misma dirección? paralelas de direcciones opuestas?—¿Cuándo un cuerpo está en reposo? cuándo en movimiento?—¿Qué elementos deben considerarse en un movimiento?—¿Qué es movimiento uniforme? movimiento uniformemente variado?—¿Cuál es el movimiento producido por una fuerza constante?—¿Cuáles son las condiciones del movimiento uniforme?—¿Cuándo se equilibran las fuerzas?



## CAPÍTULO II

### Atracción.—Gravedad.—Caída de los cuerpos

1. **Atracción.**—La *atracción* es una fuerza en virtud de la cual los cuerpos se atraen unos hacia otros.

2. **Ley de Newton.**—*Todos los cuerpos materiales se atraen en razón directa de sus masas y en razón inversa del cuadrado de sus distancias.*

La atracción se llama *gravitación universal*, *atracción molecular*, *gravedad*, según las circunstancias en que actúa.

*Gravitación universal* es la atracción que se ejerce entre los astros.

*Atracción molecular* ó *fuerza coercitiva* es la que se efectúa entre las moléculas de un mismo cuerpo.

*Afinidad* es la fuerza que une átomos de naturaleza diferente, y *cohesión*, la que une átomos de una misma naturaleza.

3. **Gravedad ó pesantez.**—La *gravedad* ó *pesantez* es la fuerza que atrae los cuerpos abandonados á sí mismos, hacia el centro de la tierra.

La *pesantez* de un cuerpo está caracterizada, como cualquiera otra fuerza, por su *punto de aplicación*, su *dirección* y su *intensidad*.

1.º *El punto de aplicación* se llama centro de gravedad del cuerpo.

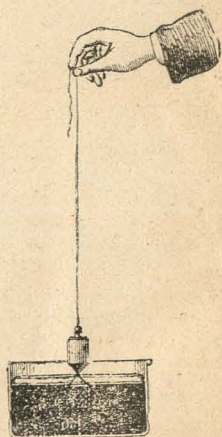


Fig. 4.—Gravedad ó pesantez.

2.º La *dirección de la pesantez* ó línea recta que describe un cuerpo al caer libremente, se llama *vertical*.

La vertical de un lugar es dada por la dirección de la *plomada* (fig. 4) y es perpendicular á la superficie de las aguas estancadas.

La *plomada* es un instrumento formado por un cordel que lleva un peso en uno de sus extremos.

La propiedad de la plomada se la utiliza en las construcciones para verificar si una pared es vertical. El *nivel del albañil*, que permite cerciorarse si un plano es horizontal, está fundado sobre el empleo de la plomada.

3.º *Intensidad de la pesantez de un cuerpo*.—Se llama peso de un cuerpo la resultante de todas las acciones que la pesantez ejerce sobre ese cuerpo.

Cada molécula se halla solicitada verticalmente por una pequeña fuerza; todas estas pequeñas fuerzas, sensiblemente paralelas, tienen una resultante cuyo punto de aplicación es el centro de gravedad y cuya intensidad es la pesantez del cuerpo.

#### 4. Leyes de la caída de los cuerpos en el vacío.—

1.ª *Ley. En el vacío todos los cuerpos caen con la misma velocidad.*

2.ª *Ley ó ley de los espacios. En el vacío los espacios recorridos son proporcionales á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.*

3.ª *Ley ó ley de las velocidades. Las velocidades adquiridas son proporcionales á los tiempos transcurridos desde el origen de su caída.*

Para verificar la primera ley, se introduce en un largo tubo de cristal llamado tubo de Newton (fig. 5) una pluma de pájaro y una bala de plomo; habiendo hecho el vacío en el tubo, se lo invierte bruscamente: los dos objetos caen juntos.

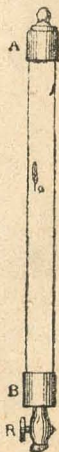


Fig. 5.—Ley de la caída de los cuerpos.

La segunda ley, así como la tercera, se comprueba con la máquina de Atwood, (pron. Atud).

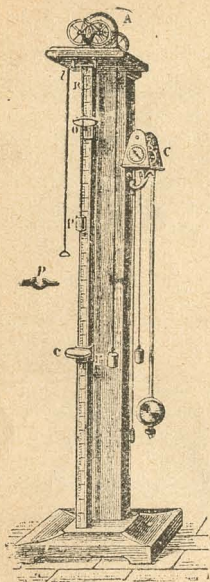


Fig. 6.—Máquina de Atwood.

**5. Máquina de Atwood.**—La máquina de Atwood (fig. 6) tiene por objeto retardar la caída de un cuerpo para estudiar más fácilmente las leyes.

La velocidad está modificada, pero la naturaleza del movimiento queda la misma. Esa máquina se compone esencialmente de una polea muy ligera *A* (fig. 6) que lleva en su garganta un hilo de cuyas extremidades penden dos masas iguales *P* que se hacen equilibrio en todas las posiciones. Una pequeña masa adicional *p* arrastra la masa *P* con un movimiento lento á lo largo de una regla dividida. Se busca donde se debe colocar la corredera *C* para impedir la caída después de un segundo, dos segundos, etc.

**6. Verificación de la ley de los espacios.**—Supongamos que durante el primer segundo, la masa *P*, con la masa adicional *p*, haya recorrido diez divisiones; para los espacios recorridos durante dos segundos, tres segundos, etc., se encontrarán los números del cuadro siguiente:

TIEMPOS DE CAÍDA	1"	2"	3"	4"
Puesto de la corredera.	10	40	90	160
	ó	ó	ó	ó
Espacios.....	$10 \times 1$	$10 \times 2^2$	$10 \times 3^2$	$10 \times 4^2$

Así se ve que los espacios recorridos son proporcionales á los cuadrados de los tiempos de caída.

**7. Verificación de la ley de las velocidades.**—La velocidad, siendo el espacio recorrido con un movimiento uniforme durante un segundo, basta colocar junto á la regla una corredera anular O que saque la masa adicional después de 1, 2, 3 segundos de caída, y buscar donde se debe colocar la corredera C, para detener la masa P un segundo después de haber sacado la masa adicional; el movimiento es uniforme en este último intervalo.

*Se saca entonces el siguiente cuadro:*

	1 <sup>s</sup>	2 <sup>s</sup>	3 <sup>s</sup>	4 <sup>s</sup>
Puesto de la corredera anular .....	10	40	90	160
Puesto de la corredera llena .....	30	80	150	240
Espacio comprendido entre las dos correderas...	20	40	60	80
	ó	ó	ó	ó
Velocidades .....	20×1	20×2	20×3	20×4

Así se ve que la velocidad adquirida es proporcional al tiempo de caída.

**8. Fórmulas.**—La aceleración debida á la acción de la pesantez es 9<sup>m</sup> 8; ordinariamente se la representa por *g*.

La velocidad adquirida y el espacio recorrido por un cuerpo después de algún tiempo *t* de caída se obtienen con las dos fórmulas:

$$v = gt$$

$$e = \frac{gt^2}{2}$$

La velocidad se puede también hallar, prescindiendo del tiempo, por la fórmula:

$$v = \sqrt{2 g e}$$

Basta, pues, para tener esa velocidad ó ese espacio, reemplazar, en las fórmulas,  $g$  por  $9^m 8$  y  $t$  por el número de segundos durante los cuales cayó el cuerpo.

**9. Caída libre de los cuerpos en el aire.** — En el aire, la caída de los cuerpos no obedece á las leyes generales y tanto más se aparta de ellas cuanto más livianos son: eso se debe á la resistencia del aire. Una ruedecita de papel y otra de metal que tenga iguales dimensiones caen con velocidades muy diferentes si están separadas; pero caen con la misma rapidez si el papel está sobrepuesto al metal, pues en tal caso el papel no experimenta la resistencia del aire.

Para los cuerpos livianos, el movimiento de caída es primero acelerado, luego se hace uniforme por causa de la resistencia del aire que aniquila la aceleración debida á la pesantez.

La resistencia del aire sirve de punto de apoyo al pájaro y al aeroplano para volar.

**10. Peso de los cuerpos.**—Se llama *peso absoluto* de un cuerpo la resultante de todas las acciones de la pesantez sobre ese cuerpo.

Se llama *peso relativo* de un cuerpo la relación de su peso absoluto con el peso absoluto de otro cuerpo tomado por unidad, v. gr., el *gramo*. El peso relativo es el que se busca comunmente; se conoce por medio de las balanzas.

*Peso específico* de un cuerpo es la relación de su peso,

bajo un cierto volumen, con el peso de un mismo volumen de agua destilada, en su máximo de densidad (4° sobre cero).

Así, decir que el peso específico del oro es 19, significa que en igualdad de volumen el oro pesa 19 veces más que el agua destilada á 4° sobre cero.

11. **Péndulo.**—Péndulo (fig. 7) es cualquier cuerpo grave que cuelga en un punto fijo por un hilo cuyo peso se considera como nulo.

Si se aleja el péndulo A B (fig. 7) de su dirección vertical y se le coloca en B', abandonándolo en seguida á sí mismo, se pone á oscilar. En efecto, su peso es una fuerza P' que se puede descomponer en otras dos: una B' C, que tiende el hilo, y la otra B' T, tangente al arco B' B'' cuyo efecto es volver el peso á la posición A B.

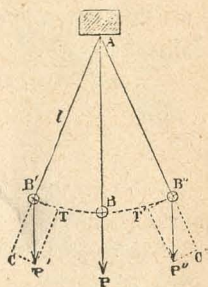


Fig. 7.—Péndulo

En virtud de la velocidad adquirida en ese movimiento, pasa más allá del punto B y llega hasta B''; luego vuelve sobre sí, y así sucesivamente. Resulta, pues, una serie de oscilaciones de cada lado de la vertical A B. Llámase *amplitud* al ángulo B'AB'' formado por las posiciones extremas del hilo.

Los movimientos de vaivén de B' á B'', y vice-versa, se denominan *oscilaciones*.

El plano de oscilación del péndulo permanece invariable; lo que gira es el suelo y gira en sentido inverso del desplazamiento aparente de las oscilaciones. Galileo lo descubrió, observando el movimiento de una lámpara en la catedral de Pisa. Foucault ha hecho uso del péndulo para

probar la rotación de la tierra sobre su eje; hizo su experimento en el Panteón de París en 1851 con un péndulo de 50 metros de longitud.

Huyghens en 1657 aplicó el péndulo á los relojes para regularizar sus movimientos.

**12. Leyes del péndulo.**—Llamando  $l$  la longitud del péndulo,  $g$  la aceleración debida á la acción de la pesantez y  $\pi$  la relación de la circunferencia con su diámetro; la duración  $t$  de una oscilación del péndulo, cuando tiene poca amplitud dicha oscilación (4 ó 5 grados), se obtiene con la fórmula:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Según esta fórmula:

1.º Las pequeñas oscilaciones son isócronas ó sea de igual duración.

2.º La duración de la oscilación es proporcional á la raíz cuadrada de la longitud del péndulo.

3.º La duración de la oscilación es independiente de la materia que constituye el péndulo.

**CUESTIONARIO.**—¿Qué es la atracción?—Decir la ley de Newton.—¿Qué es la gravitación universal? ¿la atracción molecular?—¿Qué se entiende por afinidad? ¿cohesión?—¿Qué es la gravedad ó pesantez? ¿Qué es la plomada? ¿Cuáles son las leyes de la caída de los cuerpos en el vacío? Describir la máquina de Atwood.—¿Qué es peso absoluto, relativo, específico de un cuerpo? Describir el péndulo. ¿Qué ha demostrado Foucault con el péndulo?

### CAPÍTULO III

## Centro de gravedad.—Equilibrio de los cuerpos

1. **Centro de gravedad.**— Centro *de gravedad* de un cuerpo es el punto de aplicación de la resultante de todas las acciones que la gravedad ejerce sobre ese cuerpo.

Para determinar experimentalmente el centro de gravedad de el triángulo A B C, por ejemplo (fig. 8), se lo suspende sucesivamente de dos de sus puntos A y B en la extremidad de un hilo; el encuentro de las prolongaciones del hilo da el centro de gravedad G.

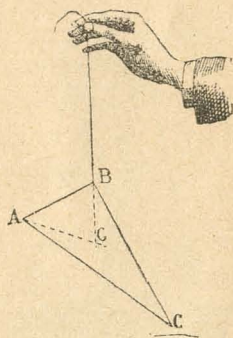


Fig. 8.—Centro de gravedad

1.º El centro de gravedad de una línea recta está en el medio; el del perímetro de un polígono regular, de un círculo, de una elipse, está en el centro de la figura; el del perímetro de un paralelogramo está en el encuentro de sus diagonales.

2.º El centro de gravedad de la superficie de un polígono regular, de un círculo, de una elipse, de una esfera, de un elipsoide de revolución, de un paralelepípedo está en el centro.

3.º El centro de gravedad del volumen de una esfera, de un elipsoide de revolución está en el centro.

2. **Condición de equilibrio de un cuerpo móvil al rededor de un punto fijo ó de un eje fijo.**—Para que un

cuerpo móvil al rededor de un punto fijo ó de un eje, esté en equilibrio, es menester que la vertical del centro de gravedad encuentre dicho punto ó eje. Esta condición puede realizarse de tres maneras, de donde resultan tres clases de equilibrio: *el equilibrio estable, el equilibrio inestable y el equilibrio indiferente.*

**3. Equilibrio estable.**—El equilibrio es estable si el cuerpo, siendo movido, vuelve al puesto que antes tenía por efecto de la pesantez. En este caso el centro de

gravedad está debajo del punto ó del eje de suspensión. Ej.: el péndulo, la plomada, una campana colgada.

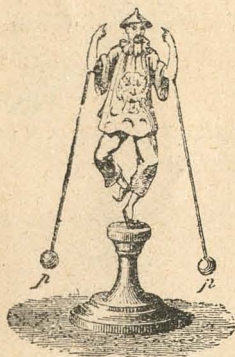
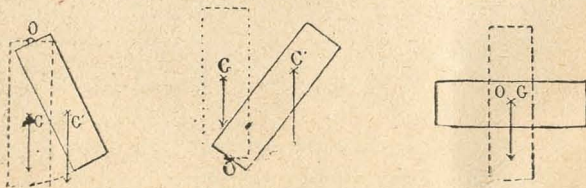


Fig. 9.—Equilibrio estable

El pequeño equilibrista de la fig. 9 está en equilibrio estable, merced á las esferitas  $p$  y  $p'$  cuyo peso es tal que el centro de gravedad de todo el sistema móvil se halla más abajo del pedestal en que descansa.

**4. Equilibrio inestable.**—El *equilibrio es inestable* cuando el cuerpo, siendo movido, se aleja por efecto de



Equilibrio estable

Equilibrio inestable

Equilibrio indiferente

Fig. 10.—DIFERENTES CLASES DE EQUILIBRIO

la pesantez. En este caso el centro de gravedad está más arriba del punto ó del eje de suspensión (fig. 10).

Ej.: un cono que descansa sobre la punta.

**5. Equilibrio indiferente.** — El equilibrio es indiferente cuando el cuerpo, siendo movido, queda en equilibrio (fig. 10). En este caso el centro de gravedad coincide con el punto de suspensión ó se encuentra sobre el eje fijo. Ej.: una rueda de coche.

**6. Condiciones de equilibrio de un cuerpo que descansa sobre un plano.** — Para que un cuerpo que descansa sobre un plano esté en equilibrio, es preciso que el plano sea horizontal y que la vertical del centro de gravedad caiga en el interior del polígono de apoyo.

El polígono ó base de apoyo de un cuerpo es un polígono convexo que abarca todos los puntos comunes al cuerpo y al plano.

La torre inclinada de Pisa no se cae porque la vertical de su centro de gravedad pasa por el interior de la base. Por una razón análoga, un hombre cargado modifica su actitud según la posición de la carga. Una bola está en equilibrio sobre un plano horizontal, porque la vertical de su centro de gravedad pasa por el punto de contacto con el plano.

En la figura 11, los dos cilindros de la izquierda sobrepuestos de modo que sus ejes estén en línea recta, no

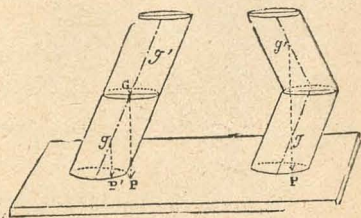


Fig. 11.—Condiciones de equilibrio de un cuerpo que descansa sobre un plano.

pueden quedar en equilibrio, pues la vertical  $GP$  del centro de gravedad cae fuera de la base de apoyo, al paso que quedan en equilibrio si se disponen como se indica á la derecha.

La estabilidad es tanto mayor cuanto el centro de gravedad esté más cerca del plano horizontal y su vertical más lejos del perímetro del polígono de apoyo. Un coche es tanto más estable, cuanto más distantes están las ruedas y más bajo el centro de gravedad; los carretones demasiado cargados tienen poca estabilidad.

CUESTIONARIO. — ¿Qué es el centro de gravedad de un cuerpo? — ¿Cómo se determina experimentalmente? — ¿En dónde se halla el centro de gravedad de una línea, de un círculo, de una esfera, de un paralelepípedo? — ¿Cuándo el equilibrio de un cuerpo es estable? inestable? indiferente? — Dar ejemplos. — ¿Cuáles son las condiciones de equilibrio de un cuerpo que descansa sobre un plano? — ¿Qué se entiende por polígono de apoyo?

## CAPÍTULO IV

### Palancas

1. **Palanca.**—*La palanca es una barra rígida que se mueve al rededor de un punto fijo, llamado punto de apoyo, y en el cual obran dos fuerzas: la potencia y la resistencia.*

Se llama *brazo de palanca* de una fuerza á la perpendicular que se baja del punto de apoyo á la dirección de esta fuerza ó á su prolongación.

2. **Géneros de palancas.**—Según la posición del punto de apoyo con respecto á la potencia y á la resistencia, se distinguen tres géneros de palancas:



Fig. 12.—La palanca de primer género, dinarias, las tijeras, etc.

1.º *La palanca de primer género*, (fig. 12,) cuyo punto de apoyo está situado entre la potencia y la resistencia. Ej.: el alzaprima del albañil, las balanzas or-

2.º *La de segundo género*, (fig. 13) cuya resistencia está situada entre la potencia y el punto de apoyo.

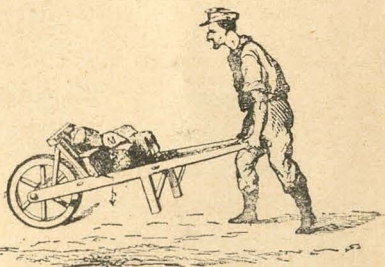


Fig. 13.—La palanca de segundo género.

Ej.: una carretilla.

3.º *La de tercer género*, cuya potencia está situada entre la resistencia y el punto de apoyo. Ej.: el pedal, los miembros del hombre y de los animales, las pinzas.

3. **Ley general de las palancas.**—*Dos fuerzas que actúan sobre una palanca se equilibran, cuando están entre sí en razón inversa de los brazos de palanca.*

Si la longitud del brazo de la potencia es 2, 3, 4 veces mayor que la del brazo de la resistencia, la potencia será 2, 3, 4 veces menor que la resistencia: si son iguales los dos brazos, las dos fuerzas lo son también.

Sea un fardo de 1000 kilogramos el que se quiere mover con una palanca; si el brazo de la resistencia es la quinta parte del brazo de la potencia, bastará un esfuerzo de 200 kilogramos para hacer equilibrio.

CUESTIONARIO.—¿Qué es una palanca?—¿A qué se llama brazo de palanca?—¿En qué relación se hallan la potencia y la resistencia de una palanca en equilibrio?—¿Cuáles son los diferentes géneros de palancas?—Dense ejemplos.

## CAPITULO V

### Balanzas

1. **Definición.**—*Balanza es un instrumento que sirve para determinar el peso relativo de los cuerpos.* Es una palanca del primer género y, por consiguiente, sus condiciones de equilibrio son las de la palanca.

Las balanzas tienen diferentes formas apropiadas á la mayor ó menor cantidad de peso á que se las destina. Las más usadas son: *la balanza ordinaria, la balanza de Roberval, la balanza de Quintenz, la báscula de Bérenger, la romana, el pesón.*

2. **Balanza ordinaria.**—Una balanza ordinaria (fig. 14) se compone de una palanca recta  $f$  de primer género, llamada *fiel*, cuyos brazos iguales en peso y longitud, sostienen en sus extremidades dos platillos  $b$  y  $b'$  iguales en peso.

El fiel lleva una aguja larga y perpendicular cuya

punta se mueve delante de un cuadrante graduado y en el cual, por sus oscilaciones, indica los más pequeños movimientos del fiel.

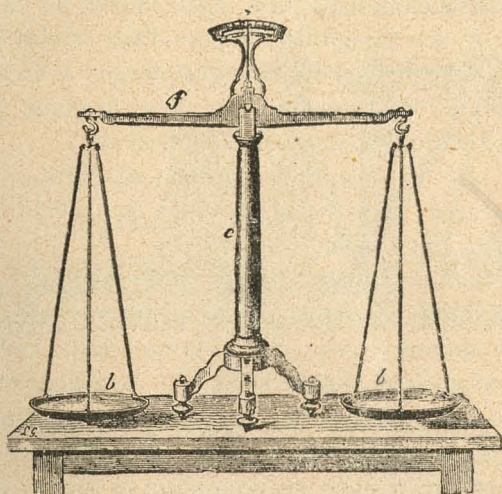


Fig. 14.—La balanza ordinaria.

Una peana provista de tres pies sirve para dar á la columna ó montante que soporta el fiel, una posición perfectamente vertical.

Cuando la balanza está vacía, el fiel se mantiene por sí mismo horizontalmente, pues su centro de gravedad se encuentra entonces en la vertical del punto de apoyo. En esta posición, la aguja corresponde al centro del cuadrante, punto en el cual se encuentra el cero de la escala grabada encima de aquél.

**3. Requisitos de una buena balanza.** — Una balanza es buena cuando es *precisa y sensible*.

Es *precisa* cuando, colocando pesos iguales en ambos platillos, el fiel se mantiene horizontalmente. Para esto es menester:

1.º Que los brazos del fiel sean iguales en peso y longitud; 2.º que la vertical del centro de gravedad pase por el eje de suspensión cuando el fiel es horizontal.

Es *sensible* cuando oscila el fiel al colocar en uno de los platillos el más insignificante peso. Para esto se requiere:

1.º Que los brazos del fiel sean largos y livianos; 2.º que el centro de gravedad esté lo más cerca posible y algo más abajo del centro de suspensión.

Para que la sensibilidad quede constante, sea cual fuere la carga, es menester que los tres cuchillos estén siempre en línea recta.

4. **Método de Borda ó de la doble pesada.**—El método de la doble pesada es debido al físico francés Borda; permite obtener el peso exacto de un cuerpo con una balanza que no sea precisa. Para esto se coloca el cuerpo, cuyo peso se quiere conocer, en uno de los platillos y se equilibra con perdigones ó arena: eso es lo que se llama *obtener la tara*; luego se reemplaza el cuerpo por pesas hasta que el equilibrio se restablezca. El peso obtenido así es exactamente el del cuerpo.

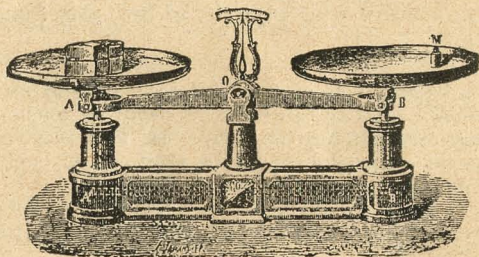


Fig. 15.—Balanza de Roberval.

5. **Balanza de Roberval.**—Esta balanza (fig. 15), muy generalizada hoy en el comercio, no difiere en sus prin-

cipios de la balanza ordinaria, sino en la posición de los platillos que están colocados encima del fiel: esto la hace más cómoda.

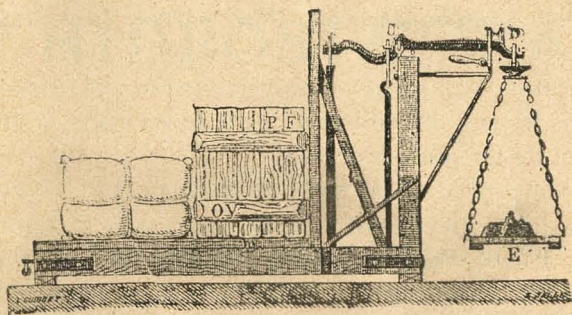


Fig. 16.—Báscula.

6. **Báscula.**—Esta balanza (fig. 16) inventada por Quintenz, se compone de un platillo ó tablero sobre el cual se coloca el cuerpo que se trata de pesar, y de otro platillo suspendido al extremo del brazo de palanca donde se colocan las pesas que han de equilibrar al cuerpo del tablero. La longitud del brazo de palanca que soporta las pesas graduadas, es diez veces mayor, y por lo tanto, bastará colocar sobre el platillo un peso diez veces menor que el colocado en el opuesto. Así un peso de 20 kilogramos equilibrará un peso de  $20 \text{ k.} \times 10 = 200$  kilogramos.

7. **La báscula de Bérenger.**—Se funda en los mismos principios que la anterior; pero los brazos del fiel están en relación de 1 á 100, y por consiguiente bastará un kilogramo para equilibrar 100 kgs. colocados en el tablero.

8. **La romana.**—Es, como la anterior, una palanca de primer género y de brazos desiguales. Los cuerpos que se han de pesar están colgados de un gancho, y se sos-

tienen por una chapa que remata en un anillo. Sobre el brazo mayor de la palanca corre un peso ó pilón, destinado á equilibrar é indicar el peso del cuerpo.

Este instrumento es muy cómodo para las pesadas que no exigen grande precisión; tiene además la ventaja de no exigir pesas.

9. **Pesón.**—El *pesón* es un instrumento que sirve como la romana para determinar el peso de los cuerpos sin necesidad de las pesas ordinarias.

Se compone de una palanca angular  $ABC$  de brazos desiguales, y movable al rededor del punto  $B$ . En el extremo  $A$  del brazo menor de la palanca  $AB$ , se suspende un platillo  $E$  destinado á recibir el cuerpo que se quiere pesar; la otra rama lleva consigo una pequeña masa fija, y se termina por una aguja que recorre las divisiones de un cuadrante; la aguja describe un arco tanto más grande cuanto más pesado es el cuerpo.

CUESTIONARIO.—¿Qué es una balanza?—¿Cuáles son las principales piezas de una balanza?—¿Cuáles son las principales balanzas?—Describir la balanza ordinaria, la de Roberval, la báscula, la romana, el pesón.—¿En qué relación están los brazos de la báscula de Bérenger?—¿Qué condiciones requiere una buena balanza?—¿Qué se llama precisión en una balanza? ¿sensibilidad?—¿En qué consiste el método de Borda?



# SEGUNDA PARTE

# HIDROSTÁTICA

---

## CAPÍTULO I

### Presiones de los líquidos en equilibrio

1. **Definición.**—*La hidrostática es la parte de la física que estudia las condiciones de equilibrio de los líquidos y las presiones que ejercen sobre los vasos.*

2. **Transmisión de las presiones en los líquidos.**—**Principio de Pascal.**—*Toda presión ejercida sobre la superficie libre de un líquido en equilibrio se trasmite íntegramente á cada porción igual de las paredes del vaso.*

Sea un vaso de forma cualquiera exactamente lleno de agua, cuyas paredes contengan aberturas de igual extensión y cerradas por émbolos movibles. Si sobre uno de los émbolos se ejerce una presión determinada, cada uno de los otros émbolos recibirá de dentro á fuera una presión igual. Lo mismo sucederá con cada porción de las paredes del vaso, de superficie igual á la del émbolo. Por consiguiente, cuando la superficie sea 2, 3, 4 veces mayor, la presión será también 2, 3, 4 veces mayor, esto es, *proporcional á la extensión de la superficie.*

3. **Prensa hidráulica.**—Este aparato, cuya invención se atribuye á Pascal, se funda en el principio de igualdad de presión en los líquidos.

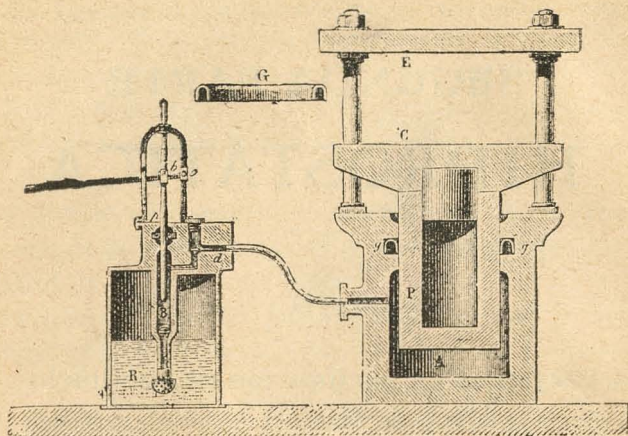


Fig. 17.—Corte de una prensa hidráulica.

A, cilindro grande con su pistón *P*.—*C*, plataforma movable.—*E*, plataforma fija.  
—*B*, pequeño cuerpo de bomba; *p*, su pistón; *l*, palanca del pistón; *b*, biela articulada; *a*, *d*, válvula.

Se compone esencialmente (fig. 17) de dos cilindros de fundición *A* y *B*, de paredes muy resistentes, uno de los cuales tiene un diámetro mucho más grande que el otro; los dos cilindros comunican entre sí por medio de un tubo horizontal, también de fundición, y en cada uno de ellos se mueve, rozando muy bien las paredes, un émbolo macizo.

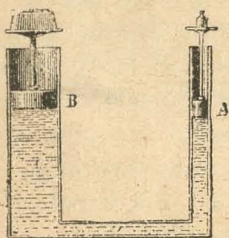


Fig. 18.—Esquema de la prensa hidráulica.

Supongamos ahora los dos cilindros llenos de agua, y á igual altura en ambos el nivel del líquido (fig. 18); si se ejerce una presión de 100 kg. sobre el pistón pequeño, esta presión se transmite íntegramente á toda la masa líquida, y por tanto cada

porción del pistón grande igual á la sección del pequeño, recibirá de abajo arriba una presión de 100 kgs.

Si suponemos que la superficie del pistón grande sea 10 veces mayor que la del pequeño, la presión total que recibirá el primero será igual á  $100 \times 10 = 1000$  kgs.

**4. Presión de los líquidos sobre el fondo de los vasos.**—*Los líquidos ejercen sobre el fondo de los vasos que los contienen una presión de arriba abajo, igual al peso de una columna de líquido que tuviese por base el fondo del vaso y por altura la distancia del fondo á la superficie libre del líquido.* El aparato Masson y el de Haldat sirven para demostrar este hecho.

**5. Aparato de Masson.**— En este aparato (fig. 19) se atornillan en *D* sucesivamente los tres vasos *A*, *B* y *C* cuyas formas y volúmenes son muy diferentes, pero cuya abertura inferior es la misma.

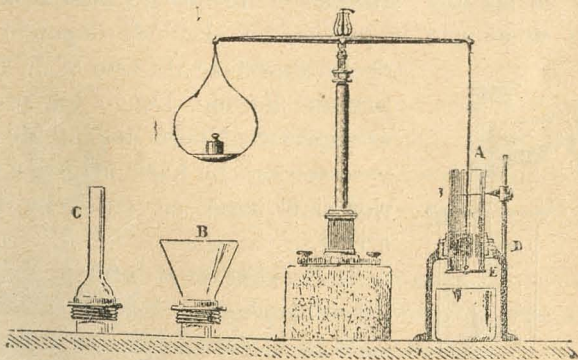


Fig. 19.—Aparato de Masson.

Un disco plano (obturador) que cierra la abertura, se sostiene con un hilo por medio de una pesa colocada en el platillo de la balanza.

Se nota que el obturador movable *E* se separa las tres veces, cuando el agua llega al mismo nivel *I*; luego la presión en el fondo depende sólo de la altura del líquido y no de su volumen.

### 6. Aparato de Haldat.

—Este aparato (fig. 20) se compone de dos tubos comunicantes en los cuales se vierte mercurio. Se nota que al atornillarse sucesivamente en *M* los tres vasos que llenan las condiciones del experimento anterior, una altura de agua *MH* determina una diferencia igual en las alturas de las dos columnas verticales de mercurio.

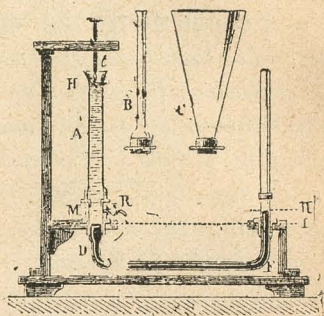


Fig. 20.—Aparato de Haldat.

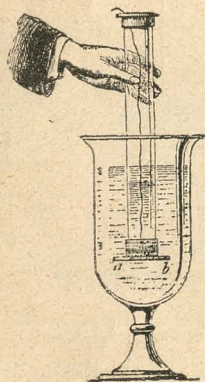


Fig. 21.—Presión vertical de abajo hacia arriba.

Así se ve que la presión en el fondo depende sólo de la superficie de éste y de la altura del líquido. Luego esa presión es superior al peso del líquido si el vaso se estrecha hacia arriba, é inferior si el vaso se ensancha hacia arriba.

**7. Presión en el interior.**—*Toda superficie plana y horizontal considerada en el interior de un líquido en equilibrio, soporta presiones iguales en sus dos caras. Por consiguiente, la cara inferior recibe un empuje vertical de abajo arriba igual al peso de una columna de líquido cuya base es*

la superficie considerada, y la altura su distancia hasta el nivel del líquido.

Se verifica fácilmente con un tubo recto (fig. 21) abierto en sus extremidades. Un disco de vidrio *a b* bastante liviano, se sostiene luego con la mano contra la abertura inferior por medio de un hilo que pasa en el interior del tubo. Se sumerge después el tubo verticalmente en el agua, y se nota que entonces se puede soltar el hilo, quedando el disco contra la abertura.

Para medir el valor de esa presión, se echa agua en el tubo, y se nota que el disco *a b* se separa cuando el agua de ese tubo llega al nivel de la del vaso.

La ley queda también exacta aunque la superficie considerada no sea horizontal; en este caso, la presión es equivalente al peso de una columna de líquido cuya altura es la distancia que media entre el centro de gravedad de esta superficie y el nivel del líquido.

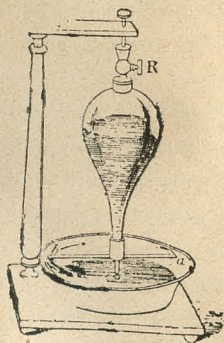


Fig. 22.—Molinete hidráulico.

Esa presión se aplica en un punto llamado *centro de presión*, que se encuentra algo más abajo del centro de gravedad.

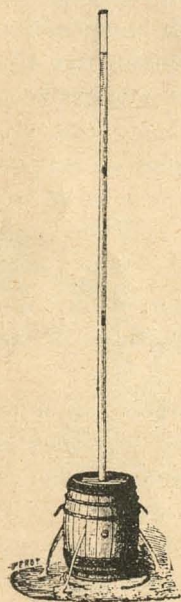
Las presiones son siempre normales con las superficies de presión.

**8. Presión lateral.**—Los líquidos ejercen también presiones laterales sobre las paredes de los vasos que los contienen. Se sirve para demostrarlo de un tubo en-corvado y cerrado por un obturador de vidrio, con el cual se experimenta, como en el tubo recto para las presiones verticales.

La existencia de las presiones laterales puede evidenciarse también por medio del *molinete hidráulico* (fig. 22). Se compone de un vaso de cristal *V* lleno de agua y móvil al rededor de su eje vertical. La extremidad inferior del vaso comunica por medio de una llave con un tubo horizontal encorvado en los extremos y en sentido contrario.

Lleno de agua el aparato, se le ve, desde que se abre la llave y empieza á salir el líquido, tomar un movimiento de rotación en sentido opuesto al de la marcha del líquido, movimiento que es tanto más rápido cuanto mayor es la altura del nivel en el vaso y más ancha la sección de los orificios por los cuales el agua se escapa.

*El valor de la presión lateral es igual al peso de una columna de líquido que tiene por base la superficie considerada y por altura la distancia del centro de gravedad de esta superficie al nivel del líquido.*



**9. Tonel de Pascal.** — Ese experimento (fig. 23) es una aplicación del principio de Pascal y comprueba hasta la evidencia la existencia de las presiones laterales. A un tonel lleno de agua se le adapta un tubo largo y angosto que también se llena de agua. Si el tubo tiene, por ejemplo 3 m. de alto y  $1\text{cm.}^2$  de sección, cada centímetro cuadrado de las paredes del tonel soportará una presión de 300 gs. á lo menos, lo que daría, para

Fig. 23 — Tonel de Pascal.

un tonel ordinario, una presión de 7 á 8,000 kg. Por tanto, las duelas se abren y chorrea el agua por todas partes.

CUESTIONARIO.—¿Cuál es el objeto de la hidrostática?—¿Cuál es el principio de Pascal?—¿En que consiste la prensa hidráulica?—¿En qué principio se funda?—Describir el aparato.—¿A qué es igual la presión de un líquido sobre el fondo del vaso que lo contiene? sobre las paredes laterales?—¿En qué consiste el aparato de Masson? de Haldat?—¿Para qué sirve el molinete hidráulico?—¿En qué consiste el experimento del tonel de Pascal?—¿Cómo se verifica la presión ejercida sobre una superficie plana considerada en el interior de un líquido?

## CAPÍTULO II

### Vasos comunicantes

1. **Vasos comunicantes.**—Llámanse *vasos comunicantes* dos ó más recipientes unidos entre sí, de modo que el líquido puede pasar libremente del uno al otro.

2. **Principio.**—*Para que un líquido se mantenga en equilibrio en un sistema de vasos comunicantes, es necesario que todos los niveles estén en un mismo plano horizontal.*

Los surtidores, la distribución del agua en las ciudades, los pozos artesianos, los pozos ordinarios se fundan en este principio.

En los surtidores (fig. 24), el agua viene de un depósito *M* por medio de un tubo *T* á una cebolla de surtidor *R* colocada más abajo.

El agua no se levanta á la misma altura del depósito de donde sale, porque encuentra tres especies de resistencias:

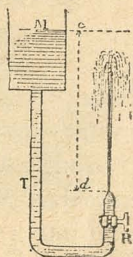


Fig. 24.—Surtidor

- 1.<sup>a</sup> El roce del agua en el tubo de transmisión.
- 2.<sup>a</sup> La resistencia del aire.
- 3.<sup>a</sup> La presión que ejercen las gotas al caer sobre las que se elevan.

3. **Fuentes de las ciudades.**—La distribución del agua en las fuentes de las ciudades tiene el mismo principio. Enormes depósitos transmiten el agua por conductos subterráneos a los surtidores, pilas, grifos, pilones y llaves.

4. **Pozos artesianos.**—Los pozos artesianos (fig. 25) son unas aberturas muy estrechas perforadas con la sonda y

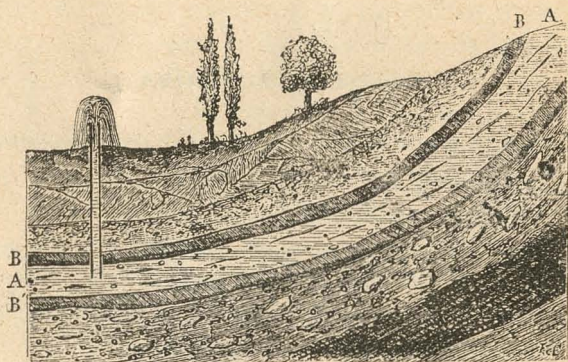


Fig. 25.—Pozos artesianos.

de una profundidad muy variable. Las aguas salen en general al exterior en forma de salto.

Sea un valle *C* debajo del cual se halla una capa impermeable *B*; debajo de ésta una capa permeable *A*, y en fin una 3.<sup>a</sup> capa impermeable *B'*. Imaginemos la capa *A* en comunicación con terrenos más elevados, al través de los cuales se filtran las aguas de las lluvias.

Estas aguas siguiendo la pendiente natural del terreno

al través de la capa permeable *A*, van á parar al fondo de la cuenca geográfica. Allí se acumulan no pudiendo desaparecer á causa de las dos capas impermeables. Pero si partiendo del suelo se practica una abertura que alcance esta capa, las aguas tendiendo siempre á ponerse al nivel, se elevan hasta una altura tanto más grande cuanto más elevado sea el terreno con el cual comunican.

El pozo de Grenelle en París alcanza á 548 metros de profundidad y el agua que surge tiene una temperatura de 27°; el de Passy tiene 587 m. y la temperatura de sus aguas es de 28°.

#### 4. Nivel de agua.

— El *nivel de agua* (fig. 26) consiste, como se ve en la figura, en un tubo que alcanza aproximadamente un

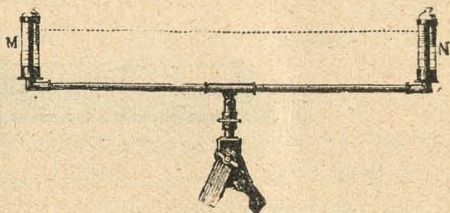


Fig. 26.—Nivel de agua.

metro de largo, encorvado en sus dos extremidades y lleno de agua coloreada. El aparato descansa sobre un trí-

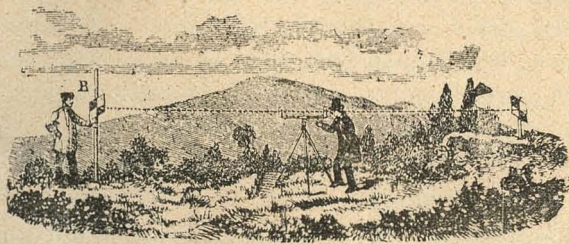


Fig. 27.—Uso del nivel de agua.

pode. El rayo visual (fig. 27) que pasa por las dos superficies del agua en los vasos determina la línea de nivela-

ción horizontal. El nivel de agua sirve para determinar la diferencia de altura de dos puntos.

**5. Equilibrio de los líquidos superpuestos.**—Cuando muchos líquidos de densidades distintas están contenidos en un mismo vaso, se colocan formando capas paralelas, en orden de densidades, de abajo arriba. Se demuestra este principio colocando en un vaso: *agua, mercurio y aceite*. Cuando el vaso se agita, los líquidos se mezclan; pero cuando se le deja en reposo, se separan por sí mismos, formando capas horizontales, y se colocan de abajo arriba, según el orden de sus densidades: mercurio, agua y aceite.

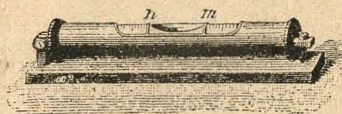


Fig. 28.—Nivel de burbuja de aire,

**6. Nivel de burbuja de aire.**—Este instrumento (fig. 28) se compone de un tubo de vidrio cerrado en cada extremidad y que contiene un líquido en el cual se ha dejado una burbuja de aire. Dicho tubo está ligeramente abombado en su parte media. Va colocado sobre una tablilla de cobre trabajada de tal modo que, si se la coloca sobre una superficie perfectamente horizontal, la burbuja de aire es tangente á dos rayas *m* y *n* marcadas en el tubo de vidrio.

El nivel de burbuja de aire se emplea para averiguar la horizontal de un plano.

**7. Capilaridad.**—Se llaman *tubos capilares* (de *capillus*, cabello) unos tubos de diámetro muy pequeño. En esos tubos los líquidos no obedecen á las leyes de los vasos comunicantes.

Se toma un tubo capilar que se sumerge en parte en un líquido, conservándolo verticalmente (fig. 29).

Si el tubo no está mojado por el líquido (mercurio), el nivel interior está más bajo que el exterior, lo que se llama *depresión capilar*; y la superficie libre presenta un menisco convexo *a, b*. Si el tubo está mojado por el líquido (agua), el nivel en el interior del tubo, está más alto que en el exterior, lo que se llama *ascensión capilar*; en este caso la superficie es cóncava, *c, d*.

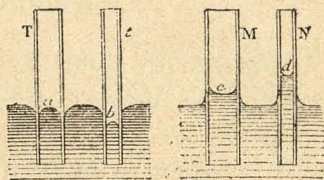


Fig. 29.—Capilaridad.

La ascensión y la depresión del líquido están en razón inversa del diámetro del tubo; esto explica que un líquido suba á alturas diferentes en dos tubos angostos, de diámetros diferentes, cuando comunican libremente entre sí.

La capilaridad hace que suba el aceite en la mecha de una lámpara y el agua en un trozo de azúcar sumergido por un solo punto; por esto, la madera, las esponjas y en general todos los cuerpos porosos se empapan más ó menos fácilmente. La ascensión de la savia en los vegetales tiene en la capilaridad un poderoso auxiliar.

CUESTIONARIO.—¿Qué son vasos comunicantes?—¿En qué principio se fundan?—¿Qué son pozos artesianos?—Dad algunas explicaciones.—¿Qué es el nivel de agua?—¿Para qué sirve?—¿Cómo son entre sí las alturas de los líquidos de densidades diferentes en dos vasos comunicantes?—¿Qué se llaman tubos capilares?—¿Qué fenómenos se observan cuando se sumergen en un líquido que los moja ó que no los moja?—Dad ejemplos.

## CAPITULO III

**Principio de Arquímedes.—Cuerpo sumergidos**

1. Los cuerpos sumergidos en un líquido sufren un empuje de parte de ese líquido.

Arquímedes ha expresado el valor de ese empuje en el principio siguiente: *Todo cuerpo sumergido en un líquido recibe un empuje vertical de abajo arriba igual al peso del líquido que desaloja.*

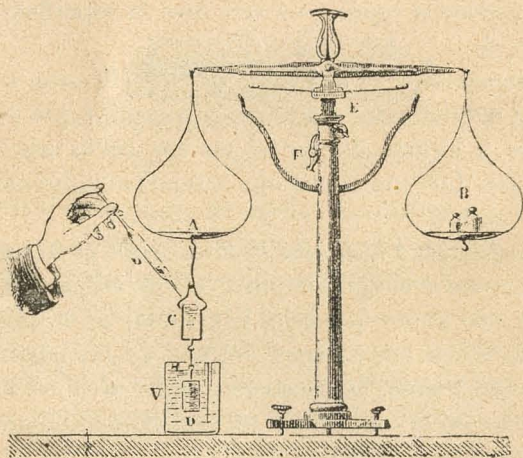


Fig. 30.—Demostración experimental del principio de Arquímedes.

2. **Demostración experimental.** — El principio de Arquímedes se puede demostrar por medio de la balanza hidrostática. La *balanza hidrostática* (fig. 30) es una balanza ordinaria cuyo fiel puede bajar ó subir fácil-

mente mediante una cremallera que se pone en movimiento por medio de un piñón. Estando alzado el fiel se cuelga de uno de los platillos un cilindro hueco de latón *C*, y debajo de éste, otro macizo *D* cuyo volumen es exactamente el mismo que la capacidad del primero. En el otro platillo *B* se colocan pesas hasta que se establezca el equilibrio. Si entonces se llena de agua el cilindro *C*, el equilibrio se rompe en favor del platillo *A*; pero si se baja el fiel de modo que el cilindro *D* se sumerja en el agua de un vaso, el equilibrio se restablece. Luego el cilindro *D* experimenta un empuje igual al peso del líquido desalojado.

**3. Peso aparente de los cuerpos sumergidos.** — Un cuerpo sumergido en un líquido parece más liviano que en el aire, porque el peso encontrado no es más que la diferencia entre su peso verdadero y el empuje vertical del líquido. Esto es lo que se expresa diciendo vulgarmente que un cuerpo sumergido *pierde algo de su peso*.

Cuando un cuerpo está sumergido en un líquido, pueden presentarse tres casos:

1.º Si el peso del cuerpo es *mayor* que el del líquido desalojado, el cuerpo se va al fondo del vaso. Ej.: el hierro, el plomo, el cobre en el agua.

2.º Si el peso del cuerpo es *igual* al peso del líquido desalojado, el cuerpo queda en suspensión en medio de la masa líquida. Ej.: un pez inmóvil en el agua, un huevo en el agua salada.

3.º Si el peso del cuerpo es *menor* que el peso del líquido desalojado, el cuerpo flota. Ej.: el corcho y la madera en el agua, el hierro en el mercurio.

Se realizan estas tres condiciones por medio de un

aparato llamado *ludión* (fig. 31). Este consiste en una figurilla de vidrio ó de esmalte colgada de un pequeño globito lleno de aire y al cual se ha hecho un pequeño agujero. El aparato está colocado en una probeta llena de agua y cerrada herméticamente por una membrana; cualquier presión ejercida sobre ésta hace penetrar cierta cantidad de agua en el globo, de modo que el peso del aparato aumenta, y el ludión baja; pero si deja de obrar la presión, el aire del globo repele una parte del agua que contiene, y sube el aparato.

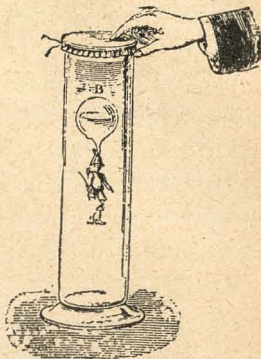


Fig. 31.—El ludión.

**4. Cuerpos flotantes.**—Un cuerpo flotante está en equilibrio cuando el peso del líquido que desaloja es igual al suyo. Para hacer flotar un cuerpo más pesado que el agua, se modifica su forma, de manera que el peso del volumen de agua desalojada sea superior á su propio peso. Ej.: vaso de hierro, hoja de plomo en forma de caja.

**5. Determinación del volumen de un cuerpo.**—Para encontrar el volumen de un cuerpo más pesado que el agua, se lo suspende debajo del platillo de la balanza hidrostática. Su tara estando hecha en el aire, se sumerge el cuerpo (si no es soluble) en el agua; las pesas que es preciso añadir sobre el platillo para restablecer el equilibrio, dan el peso del agua desalojada y por consiguiente el volumen del cuerpo.

**CUESTIONARIO.**—Enunciar el principio de Arquímedes.—¿Qué es peso aparente de los cuerpos sumergidos?—Casos que presentan los cuerpos sumergidos.—¿Cómo se hace flotar un cuerpo más pesado que el agua?—¿Cómo se determina el volumen de un cuerpo?—Describir la balanza hidrostática.

## CAPÍTULO IV

**Densidades**

1. **Definición.**—Se llama *densidad*  $D$  ó mejor dicho *peso específico* de un cuerpo, *la relación que existe entre el peso del cuerpo  $P$  y el peso de un volumen igual de agua  $V$ .*

$$D = \frac{P}{V}$$

El conocimiento del peso específico permite calcular el peso de un cuerpo cuyo volumen se conoce. De la fórmula anterior se saca:

$$P = D \times V$$

2. **Determinación de las densidades.**—Para determinar la densidad de un cuerpo, se busca: 1.º el peso del cuerpo; 2.º su volumen ó el peso de su volumen de agua; 3.º el cuociente del peso del cuerpo por su volumen. Dicho cuociente es la densidad del cuerpo.

3. **Densidad de los sólidos.**—1.º Si el cuerpo tiene una forma geométrica, se busca su volumen por los procedimientos matemáticos y se divide el peso por el volumen encontrado.

2.º Si el cuerpo tiene una forma cualquiera, se emplea la *balanza hidrostática* ó el *areómetro de Nicholsón* ó el *frasco de densidad*.

*Método de la balanza hidrostática.* — 1.º Se busca el

peso del cuerpo por doble pesada; 2.º se lo cuelga del platillo  $F'$  de la balanza y se lo sumerge en el agua (fig. 32). Las pesas que se deben añadir en ese mismo platillo para restablecer el equilibrio dan el peso del agua desalojada por el cuerpo y, por lo tanto, su volumen; 3.º el cociente de esos dos pesos es la densidad.

*Método del areómetro de Nicholson.*—

1.º Se coloca el cuerpo en el platillo  $C$  (fig. 33) con la tara necesaria para que el areómetro se sumerja hasta el punto de referencia marcado en  $A$ , en la varilla que sostiene el platillo. Se saca el cuerpo y se lo reemplaza por las pesas necesarias para restablecer el flote hasta  $A$ ; dichas pesas son el peso del cuerpo. 2.º Se sacan las pesas, se coloca el cuerpo en un platillo inferior  $B$  y se introduce de nuevo el aparato en el agua; las pesas que han de añadirse en  $C$  para restablecer el flote representan el peso del agua desplazada por el cuerpo. 3.º El cociente de esos dos números es la densidad.

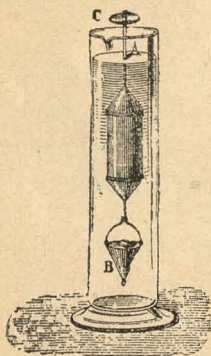


Fig. 33.—Aparato de Nicholson.

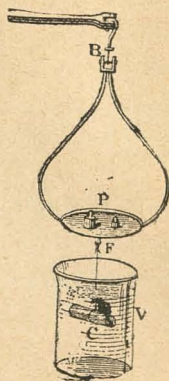


Fig. 32.—Método para averiguar la densidad.

*Método del frasco.*— 1.º El cuerpo está colocado en uno de los platillos de una balanza junto al frasco  $A$  (fig. 34) lleno de agua hasta el punto de referencia  $O$  en el tapón de vidrio esmerilado  $C$ . Se lo equilibra con tara y luego se saca el cuerpo reemplazán-

dolo por pesas: así se obtiene su peso por doble pesada. 2.º Se sacan las pesas y se introduce el cuerpo en el frasco: una parte del agua sale. Se vuelve á poner el frasco en el platillo; las pesas que han de añadirse junto al frasco para restablecer el equilibrio dan el peso del agua desalojada y, á la vez, el volumen del cuerpo. 3.º El cuociente de esos dos números es la densidad.

NOTAS.—1.º Si el cuerpo es poroso, se lo unta con una capa muy fina de colodión para evitar la imbibición.

2º. Cuando el cuerpo es soluble en el agua, se busca su densidad por medio de otro líquido en que no se disuelva; después se multiplica esa densidad por la del líquido que se haya empleado.

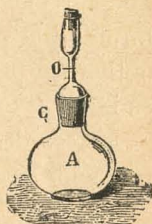


Fig. 34.—Frasco de densidad.

4. **Densidad de los líquidos.** — La densidad de los líquidos se determina por medio de la *balanza hidrostática*, el *frasco de densidad* ó el *areómetro de Fahrenheit*.

*Método de la balanza hidrostática.*—Se cuelga del platillo de la balanza hidrostática un cuerpo insoluble en el agua y en el líquido (fig. 35), y luego se averigua la tara.

Se sumerge después el cuerpo sucesivamente en el líquido y en el agua; el cuociente de los pesos que deben añadirse para restablecer el equilibrio en ambos casos, es la densidad.

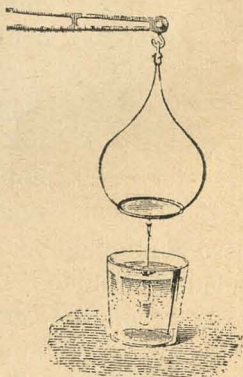


Fig. 35.—Densidad de los líquidos.

*Método del frasco.*—Se coloca en un platillo de la ba-

lanza, el frasco lleno del líquido cuya densidad se quiere conocer, y se pone en el otro platillo un peso para hacer equilibrio. Entonces se vacía el frasco, se le seca bien y se le vuelve á poner en el platillo. Las pesas que haya que agregar para restablecer el equilibrio dan el peso de líquido por doble pesada. Por otra operación análoga, se obtiene el peso de igual volumen de agua. La densidad es igual al cuociente de los dos pesos.

*Método del areómetro de Fahrenheit* (fig. 36).—Este instrumento se compone de un cilindro ó de un cono alargado de vidrio que termina abajo en una bola llena de mercurio y arriba en una varilla que sostiene un platillo.

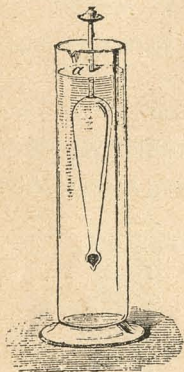


Fig. 36.—Areómetro de Fahrenheit

Se sumerge el aparato en el líquido cuya densidad se quiere determinar, y se añaden pesas en el platillo superior hasta que el aparato llegue al punto *a* de flotación marcado en la varilla; el peso del líquido desalojado es igual á las pesas del platillo más la pesantez del instrumento determinada una vez para siempre. Repetida la operación en el agua, se obtiene el peso de un volumen de agua igual al del líquido. El cuociente del

peso del líquido por el peso del agua será igual á la densidad del líquido.

**5. Areómetros de peso constante.**—Los areómetros de peso constante son aparatos que señalan el grado de concentración de los licores, de las soluciones alcalinas y de los ácidos. Esos instrumentos difieren tan sólo por la graduación y se hunden tanto menos cuanto más densos sean los líquidos. Son de dos clases: unos sirven para lí-

quidos más densos que el agua, y otros para líquidos menos densos.

1.º *Areómetros para líquidos más densos que el agua: pesa-sales, pesa-ácidos, pesa-jarabes* (fig. 37).—Se lastra el aparato hasta que, sumergido en el agua pura, se hunda hasta la extremidad superior del tubo, y en este punto se marca 0°. Se lo sumerge después en una solución de 15 partes de sal marina y 85 partes de agua; se marca 15° en el nuevo punto de referencia.

Se divide el espacio intermedio en 15 partes iguales, y se continúa de igual manera la graduación hasta la parte inferior del tubo.



Fig. 37  
Pesa-ácidos.

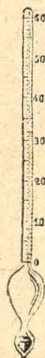


Fig. 38  
Pesa-licores.

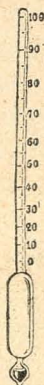


Fig. 39  
Alcoholímetro.

2.º *Areómetros para líquidos menos densos que el agua: pesa-licores, pesa-espíritus.*

Se lastra el aparato de modo que se sumerja hasta el principio del tubo, en una mezcla de 10 partes de sal marina y 90 de agua, y en este punto se marca 0°. Se sumerge después en agua pura, y se marca 10°. Se divide

el espacio de 0 hasta 10 en 10 partes iguales, y se prolonga la graduación hasta la extremidad superior del tubo.

**6. Graduación del alcoholímetro centesimal de Gay-Lussac.**—Se obtienen mezclas que contengan sucesivamente en volumen 95, 90, 85 partes de alcohol y 5, 10, 15 de agua; se sumerge el instrumento en esas mezclas y se tienen así los puntos principales de la graduación; basta dividir después los espacios intermediarios en 5 partes iguales (fig. 39).

*El pesa-espíritus de Cartier y el alcoholímetro centesimal de Gay-Lussac* sirven ambos para conocer el grado de concentración de una mezcla de alcohol y de agua, pero este aventaja á aquel por cuanto expresa en centésimas la proporción de alcohol que contiene el licor.

Los licores y los vinos se valúan después de la destilación, con esos instrumentos que indican la riqueza alcohólica de los líquidos probados.

**7. Pesa-leche, pesa-vino.**—Estos instrumentos se fundan en el mismo principio que los instrumentos precedentes y dan á conocer aproximadamente qué cantidad de agua va mezclada con la leche ó el vino. Los resultados que proporcionan acerca de la naturaleza de esos líquidos son poco probantes, porque la densidad de dichos líquidos puede variar con su procedencia sin que haya falsificación.

**CUESTIONARIO.**—¿Qué se llama densidad ó peso específico? —¿Cómo puede conocerse el peso de un cuerpo conociendo su volumen y su densidad?—En general ¿cómo se busca la densidad de un cuerpo?—Decir las operaciones necesarias para determinar la densidad de un cuerpo con la balanza hidrostática, con el frasco, con el areómetro de Nicholson.—¿Cómo se procede cuando el cuerpo es poroso ó soluble en el agua?—¿Cómo se determina la densidad de un líquido?—¿Qué se llaman areómetros de peso constante?—¿Cuáles son los principales?—¿Cómo se gradúan?—¿Qué es el alcoholímetro centesimal?—¿Cómo se determinan sus divisiones?

## CAPÍTULO V

## Propiedades de los gases

1. **Fuerza de expansión de los gases.**—Los gases son eminentemente expansivos y tienden á ocupar espacios más y más grandes. Se demuestra esta propiedad colocando bajo el recipiente de la máquina neumática, una vejiga de llave con una pequeña cantidad de aire (fig. 40); la vejiga se infla á medida que disminuye la presión del aire en el recipiente; pero cuando se deja penetrar el aire exterior, la vejiga se comprime de nuevo.

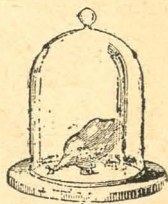


Fig. 40.—Fuerza de expansión de los gases

2. **Compresibilidad de los gases.**—El aire y demás gases son eminentemente compresibles. Esta propiedad es una consecuencia de la fuerza de expansión. *El eslabón neumático* (fig. 42), y la *bomba de compresión* sirven para demostrarla.

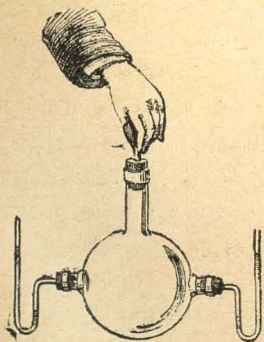


Fig. 41.—Transmisión de las presiones.

### 3. Transmisión de las presiones.

Los gases, como los líquidos, transmiten las presiones en todo sentido. Si se carga con un peso de 10 kg. una vejiga de caucho y que se introduzca aire



Fig. 42.—Compresibilidad de los gases.

en ella, el peso será levantado, porque la presión ejercida á la entrada de la vejiga se transmite á las paredes de ésta.

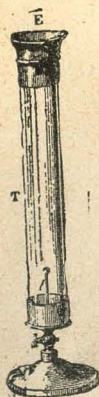
Se puede también emplear un globo de dos aberturas horizontales en que se adaptan dos tubos acodillados, como muestra la figura 41; se vierte un poco de agua coloreada en esos tubos y luego se adapta una perilla de caucho en el tapón. Ejerciendo una presión con la mano en la perilla, el aire que ésta contiene es repelido en el globo, y se nota que el agua sube á igual altura en ambos tubos. La presión se ejerce, pues, en todos sentidos y con la misma intensidad.

4. **Los gases son pesados.**—Para demostrarlo se pesa un globo de vidrio lleno de aire; en seguida, se hace en él el vacío y se le pesa de nuevo: se nota que el segundo peso es menor que el primero. Un litro de aire atmosférico pesa 1 gr., 293, sea 773 veces menos que un litro de agua.

5. **Atmósfera.**—Atmósfera es la capa de aire que envuelve la tierra; tiene según cálculos aproximativos, de 60 á 70 kms. de espesor. Como el aire es pesado, si se concibe la atmósfera dividida en capas horizontales, las capas superiores pesan sobre las inferiores y las comprimen. Decreciendo esta presión á medida que se asciende en las capas, el aire es más enrarecido y menos denso cuanto más se sube en la atmósfera. Muchos experimentos prueban que la atmósfera ejerce una presión, tales son: la *lluvia de mercurio*, el *rompe-vejigas*, los *hemisferios de Magdeburgo*.

6. **Lluvia de mercurio** (fig. 43).—El tubo *T* estando tapado en su extremidad superior con un disco delgado de madera sobre el cual se vierte mercurio, se hace el vacío. El mercurio comprimido por la presión at-

mosférica atraviesa el disco y cae en el interior. Este experimento también enseña la porosidad de los cuerpos.



Lluvia de mercurio  
Fig. 43.



Rómpe-vejigas  
Fig. 44.



Hemisferios de Magdeburgo  
Fig. 45.

**7. Rompe-vejigas** (fig. 43).—Un cilindro ancho está tapado en su parte superior con una membrana bien tendida. Cuando se hace el vacío en él, la presión atmosférica hace deprimir la membrana y acaba por rasgarla.

**8. Hemisferios de Magdeburgo** (fig. 44).—Esos hemisferios son fáciles de separar mientras están llenos de aire; pero si se hace el vacío en ellos, es necesario un esfuerzo considerable para separarlos.

Se explica del mismo modo el porqué un huevo duro, sin cáscara, colocado en la abertura de una garrafa en que se acaba de quemar papel, se precipita en el fondo de ella.

**9. Valor de la presión atmosférica.**—*Experimento de Torricelli* (fig. 45).

Si se toma un tubo de vidrio de 1 m. tapado en una extremidad y lleno de mercurio, este líquido descende

en el tubo cuando se lo invierte en una cubeta llena del mismo líquido, y después de algunas oscilaciones, se detiene á unos 76 cm. sobre el nivel de la cubeta. Esta altura de mercurio hace equilibrio á la presión atmosférica.

Si la abertura del tubo es de un centímetro cuadrado y la altura del mercurio 0 m., 76, tendremos un volumen de 76 centímetros cúbicos. El peso de este mercurio es pues  $13,6 \times 76 = 1033$  gramos ó 1 kg. 033 por centímetro cuadrado; es lo que se llama *peso de una atmósfera*.

La altura del mercurio no cambia cuando se inclina el tubo; es decir, que el nivel del mercurio queda siempre en el mismo plano horizontal (fig. 47).

La presión que ejerce la atmósfera sobre un hombre de talla mediana es de 15.500 kgs. Esta presión no nos incomoda porque el aire que llena las cavidades del cuerpo humano, teniendo la misma presión que la atmósfera, le hace equilibrio.

NOTA.—Se puede reemplazar el mercurio en el tubo, por cualquier líquido, pero las alturas serán inversamente proporcionales á las densidades de esos líquidos. Así, como el mercurio pesa 13,6 veces más que el agua, la altura de la columna de agua que equilibra la presión atmosférica es de 0 m.,  $76 \times 13,6$  ó 10 m., 33 poco más ó menos.

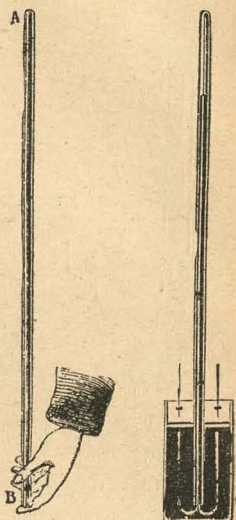


Fig. 46.—Experimento de Torricelli

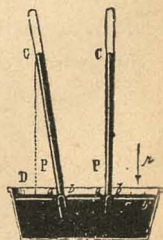


Fig. 47.—Valor de la presión atmosférica

10. **Variaciones de la presión atmosférica.**—1.º La presión no es la misma en todos los lugares. Mientras más elevado es un lugar sobre el nivel del mar, menor es la presión atmosférica. Por esto, la columna de mercurio baja cuando uno sube las montañas. Pascal hizo por primera vez la experiencia sobre el Puy de Dôme.

2.º La altura barométrica no queda tampoco invariable en un mismo lugar; sube por lo general cuando hay tiempo seco, y baja cuando el tiempo es lluvioso y durante las tormentas.

CUESTIONARIO.—¿Cuáles son las propiedades de los gases?—¿En qué consiste la fuerza expansiva de los gases, su compresibilidad?—¿Cómo se demuestra la compresibilidad de los gases, la elasticidad?—¿Cómo se prueba que los gases son pesados?—¿Qué pesa el aire con respecto al agua?—¿Cómo se demuestra la transmisión de la presión de los gases?—¿Qué es la atmósfera?—¿Qué es el rompe-vejigas? los hemisferios de Magdeburgo?—¿Qué se llama presión atmosférica?—Tratar el experimento de Torricelli—¿Cuál es la presión sobre 1 cm.<sup>2</sup> sobre un hombre de estatura mediana?—¿Por qué la presión atmosférica no es la misma en todos los lugares?

## CAPÍTULO VI

### Barómetros

1. **Definición**—Los barómetros son instrumentos que sirven para medir la presión atmosférica. Hay los *barómetros de mercurio* y los *barómetros metálicos*.

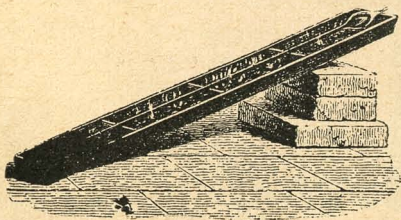


Fig. 48.—Construcción del barómetro.

Los barómetros de mercurio pueden ser *de cubeta* ó *de sifón*.

**2. Barómetros de cubeta.**—Los principales son: el *barómetro ordinario* ó de *Torricelli* y el de *Fortin*.

**1.º Barómetro ordinario** ó de *Torricelli*.—Para construir este instrumento se toma un tubo de vidrio de unos 85 cm. de largo, cerrado en uno de sus extremos. Llénase poco á poco de mercurio purificado que se ha-

ce hervir para librarle de la humedad, lo mismo que de las burbujas de aire que pueden estar adheridas á las paredes del tubo. Cuando éste está lleno, se le tapa con el dedo y se le invierte verticalmente, sumergiendo su extremidad abierta en una cubeta que contiene también mercurio. Quitando entonces el dedo, se ve al mercurio abandonar el vértice del tubo y detenerse, después de algunas oscilaciones, á una altura de 76 cm. aproximadamente sobre el nivel exterior de la cubeta.

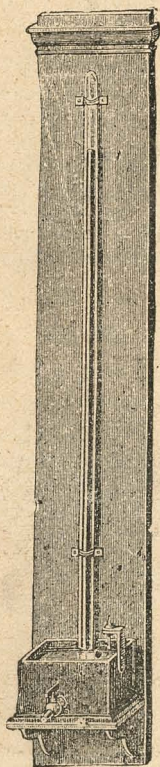


Fig. 49.—Barómetro de cubeta.

El tubo barométrico y su cubeta (fig. 49) están adaptados á una plancha de madera, que lleva una escala cuyo punto cero corresponde al nivel del mercurio en la cubeta.

Para evitar que las variaciones del nivel superior del mercurio produzcan cambios sensibles en el inferior al cual debe corresponder el cero de la

división, se da á la cubeta una anchura mucho más grande que la sección del tubo.

2.º *Barómetro de Fortin*.—En el barómetro de Fortin el fondo de la cubeta está formado (fig. 50) por una piel de gamusa *F* que un tornillo *V* puede alzar ó bajar. En

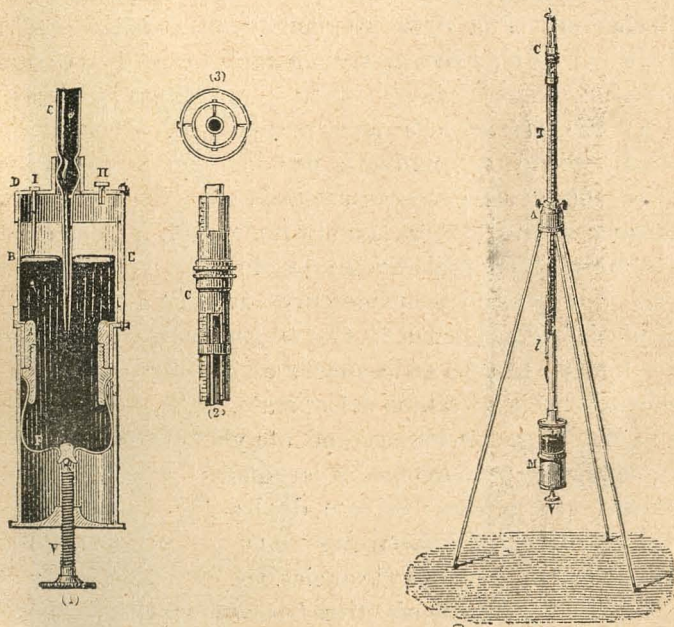


Fig. 50.—Barómetro de Fortin.

el momento de la observación, el barómetro estando vertical, se corre el tornillo hasta que el nivel *BC* del mercurio en la cubeta, toque la punta de marfil *I*. Es, pues, un barómetro de nivel fijo. Ese aparato se puede trans-

portar y presenta bastante precisión. Un modo especial de suspensión llamado de Cardán permite darle una posición rigurosamente vertical. Se lee la altura barométrica en la graduación marcada en la vaina metálica que cubre el tubo.

**3. Barómetros de sifón**—Los principales son: el *de sifón* propiamente dicho, el *de Gay-Lussac* y el *de cuadrante*.

1.º El *barómetro de sifón* propiamente dicho se compone de dos ramas desiguales; la más larga está cerrada; la otra abierta. La altura de la columna mercurial que hace equilibrio á la presión atmosférica es la distancia vertical de los niveles en las dos ramas. El cero de la escala está colocado hacia el centro del aparato. Una doble graduación, ascendente y descendente, permite medir las distancias que separan el cero de los niveles superior é inferior del mercurio. Se suman esas dos distancias.

2.º El *barómetro de Gay-Lussac* difiere del precedente en dos puntos: 1.º la rama corta no tiene como abertura sino un agujero cónico que permite la entrada del aire; 2.º las dos ramas están unidas entre sí por medio de un tubo capilar des-

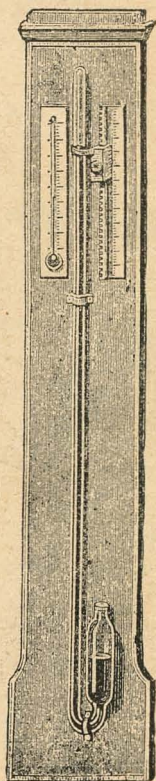


Fig. 51.—Barómetro de sifón

tinado á impedir que, al invertir el instrumento, pase el aire á la *cámara barométrica*, ó espacio vacío de aire comprendido entre la extremidad cerrada del tubo y el nivel del mercurio. Este barómetro es muy portátil.

3.º *Barómetro de cuadrante*. (fig. 51).—Es un barómetro de sifón que lleva un cuadrante. Un flotador y una cremallera hacen mover una pequeña polea cuyo eje

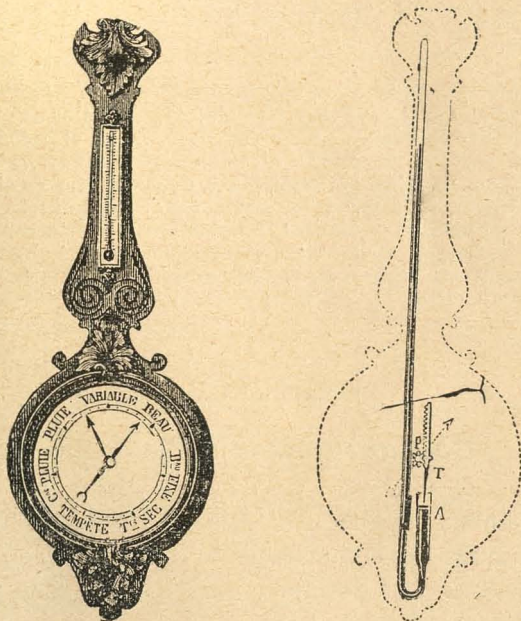


Fig. 51.—Barómetro de cuadrante

atravesando la tablilla, lleva una aguja que avanza ó retrocede en el cuadrante, según el nivel del mercurio de la cubeta sube ó baja.

#### 4. Barómetros metálicos ó aneroides (sin líquido).—

Los barómetros metálicos se fundan en las variaciones de volumen que experimentan las cajas metálicas cerradas, de paredes delgadas y vacías de aire, bajo la presión atmosférica. No tienen una sensibilidad constante. Se gradúan por comparación con los barómetros de mercurio.

El más conocido es el barómetro de Vidi (fig. 52).



Fig. 52.—Barómetro de Vidi.

CUESTIONARIO.—¿Qué es barómetro? — ¿Cuáles son los barómetros más conocidos? — ¿Cómo se puede llenar el barómetro de Torricelli?—¿Cómo se gradúa el barómetro ordinario?—¿De qué modo se pueden evitar las variaciones del mercurio en el interior del tubo?—¿En qué consiste el barómetro de cuadrante?—¿Qué se llaman barómetros aneroides?—¿Cuál es el más conocido?—¿En qué se fundan los barómetros metálicos?—¿Qué objeto tienen los barómetros?—¿Qué variaciones experimentan los barómetros al subir un monte?

## CAPÍTULO VII

### Compresibilidad de los gases

1. **Eslabón de aire.**—El eslabón de aire nos muestra que los gases son eminentemente compresibles, de modo que mientras más disminuyen de volumen, más aumentan de fuerza elástica.

El abate Mariotte ha formulado una ley importante, relativa á esta fuerza de expansión de los gases.

2. **Ley de Mariotte.**— *A temperatura constante, los volúmenes de una masa gaseosa son inversamente proporcionales á las presiones que soportan.*

Si la presión se vuelve 2, 3, 4 veces mayor, el volumen se vuelve 2, 3, 4 veces menor.

Llamando  $V$  y  $V'$  los volúmenes de una masa gaseosa bajo las presiones respectivas  $H$  y  $H'$ , se tiene:

$$\frac{V}{V'} = \frac{H'}{H}$$

Esta relación puede escribirse como sigue:  $VH = V'H'$ ; lo que puede enunciarse de este modo: *el producto del volumen por la presión es una cantidad constante.*

### 3. Demostración experimental de la ley de Mariotte.

—1.º *Caso de las presiones superiores á una atmósfera.*  
—*Tubo de Mariotte.*

*El tubo de Mariotte* es un tubo encorvado (fig. 53) de ramas desiguales. La rama corta está cerrada, y abierta la larga.

Por medio de una columna de mercurio cuyos dos niveles quedan á una misma altura horizontal, se aísla en  $A$  una cierta cantidad de aire bajo la presión atmosférica. Si se vierte mercurio en  $B$  hasta que dicha cantidad de aire se reduzca á la mitad de su volumen, la diferencia de los niveles  $N'C$  es igual á la altura del mercurio en el barómetro; luego el aire interior soporta una presión de dos atmósferas, debida la una á la columna mercurial  $N'C$  y la otra á la misma atmósfera cuya presión se ejerce libremente en  $C$ .

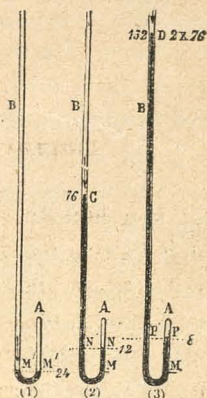


Fig. 53.—El tubo de Mariotte.

Si el volumen de aire se reduce al tercio, la diferencia de los niveles  $P'D$  viene á ser igual á dos veces la del barómetro, lo que prueba que la masa del aire  $AP$  está sometida á una presión de tres atmósferas, y así en adelante.

2.º *Caso de las presiones inferiores á una atmósfera.*—*Cubeta profunda* (fig. 54).—La *cubeta profunda* es una cubeta de vidrio cuyo fondo está formado por un largo y ancho tubo de hierro. Se llena casi enteramente de mercurio un tubo de Torricelli, y se lo vuelca en la cubeta profunda, sumergiéndolo hasta que el mercurio del tubo llegue al nivel del mercurio de la cubeta. Así se aísla en  $A$  un volumen de aire bajo la presión atmosférica.

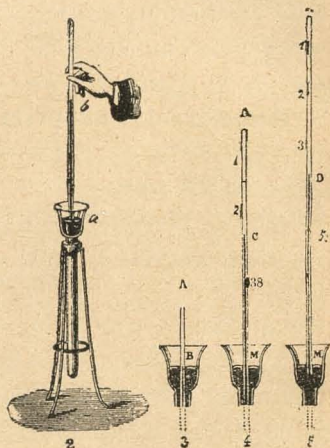


Fig. 54.

Luego se alza el tubo hasta que el volumen de aire sea doble. Entonces se nota que la diferencia  $MC$  de los niveles de mercurio resulta igual á la mitad de la altura del mercurio en el barómetro: luego el aire interior tiene una tensión de una media atmósfera.

Se alza el tubo hasta que sea triple el volumen de aire; la columna mercurial entonces ocupa los dos tercios de la altura barométrica; por lo tanto, el aire interior está bajo una presión igual al tercio de la presión atmosférica; y así en adelante.

4. **Manómetros.**—*Los manómetros son unos instrumentos que sirven para medir la tensión ó fuerza elástica de los gases y vapores.*

Se dividen en dos clases: los manómetros de mercurio y los manómetros metálicos.

5. **Manómetros de mercurio.**—Los manómetros de mercurio pueden ser *de aire libre* ó *de aire comprimido*.

El *manómetro de aire libre* es un tubo largo de vidrio *CE* (fig. 55) abierto en sus extremidades y que penetra en una cubeta de mercurio *A*, cerrada y envuelta en una caja metálica, herméticamente cerrada, la cual comunica por medio de la llave *R* con el gas ó el vapor cuya tensión se quiere conocer.

Esta tensión se ejerce sobre el mercurio de la cubeta, haciéndolo subir en el tubo á tanta mayor altura cuanto más fuerte sea la presión.

Cuando se hace un experimento, se debe tomar en cuenta la presión atmosférica que se ejerce sobre el mercurio en el tubo, y añadir su valor á la altura ya medida.

El manómetro de aire libre es el más exacto de todos y tiene bastante sensibilidad; pero el largo que

necesita el tubo hace de él un instrumento incómodo y por tanto poco usado.

El *manómetro de aire comprimido* (fig. 56) tiene cerrada



Fig. 55.—Manómetro de aire libre.

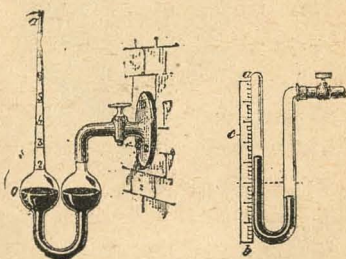


Fig. 56.—Manómetros de aire comprimido

la extremidad del tubo largo. El aire se comprime por la ascensión de la columna mercurial; se lo gradúa por comparación con el manómetro de aire libre.

Este manómetro que es una aplicación directa de la ley de Mariotte, es mucho más cómodo que el anterior; pero tiene la desventaja de ser menos sensible á medida que va aumentando la presión, porque son tanto menores las variaciones de nivel para un aumento igual de presión cuanto mayor es ésta.

En parte se corrige este inconveniente dando al tubo una forma adelgazada, como lo enseña la figura 56.

**6. Manómetro metálico de Bourdon.**—El *manómetro metálico de Bourdon* (fig. 57) se forma de un tubo de cobre achatado, en forma de espiral y de paredes flexi-

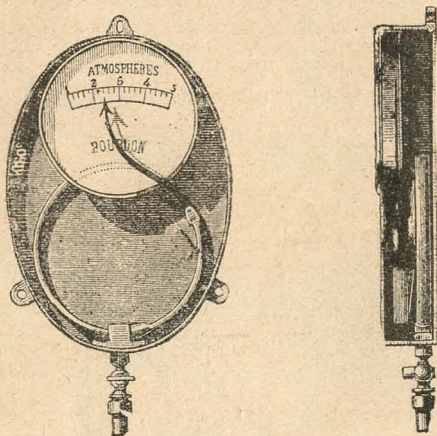


Fig. 57.—Manómetro metálico de Bourdon (frente y perfil).

bles; una extremidad está fija y la otra libre; ésta lleva una aguja movable delante de un cuadrante. El tubo comunica con una caldera de vapor.

Dicho tubo se desarrolla ó enrosca según sea mayor ó menor la presión interior, y de ese modo hace mover la aguja delante del cuadrante.

CUESTIONARIO.—¿Para qué sirve el eslabón neumático?—¿En qué consiste la ley de Mariotte?—¿Qué se llama manómetros?—¿Cuántas clases de manómetros hay?—Describir el manómetro de aire libre, el de aire comprimido, el metálico de Bourdon.

## CAPÍTULO VIII

### Aparatos para enrarecer ó comprimir los gases

1. **Máquina neumática.**—**Definición.**—Llámanse *máquina neumática* un aparato que permite hacer el vacío en un espacio cerrado, ó mas bien enrarecer el aire ó los gases que contiene, pues, no es dable obtener el vacío absoluto.

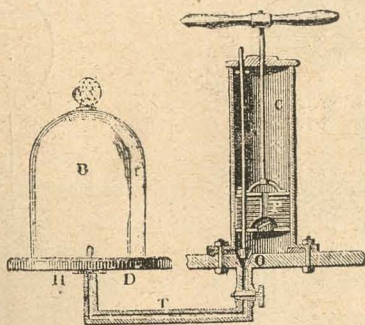


Fig. 58.—MÁQUINA NEUMÁTICA

C, cuerpo de bomba.—B, recipiente.—T, tubo de comunicación; HD, platina sobre que descansa la campana.—P, pistón con su válvula.—O, abertura y válvula cónica del cuerpo de bomba.

2. **Principio.**—El aparato se compone esencialmente:  
1.º de un cuerpo de bomba C (fig. 58) en que se mueve

un pistón  $P$ , atravesado por un agujero que cierra una válvula; 2.º de un recipiente  $B$  que comunica con el cuerpo de bomba por un tubo  $T$  cerrado por medio de la válvula  $O$ . Las dos válvulas se abren de abajo arriba.

Cuando el pistón sube, levanta la varilla que lo atraviesa rozándolo; la válvula cónica se abre y parte del aire del recipiente pasa al cuerpo de bomba.

Cuando el pistón baja, también baja la varilla con que cierra la válvula; el aire comprimido por el pistón sale por la abertura que lo atraviesa.

Los mismos fenómenos se repiten cada vez.

**3. Máquina neumática ordinaria.**—*La máquina neumática ordinaria* es una máquina de dos cilindros (fig. 59).

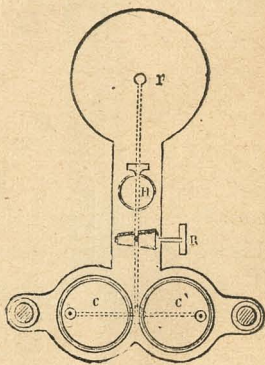
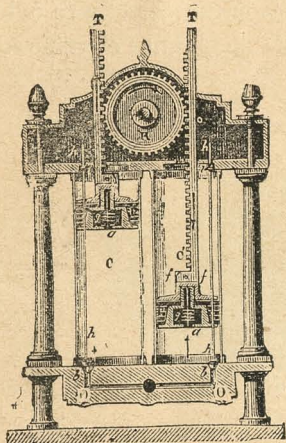


Fig. 59.—MÁQUINA NEUMÁTICA ORDINARIA.

- I.—Corte vertical del cuerpo de la bomba y del pistón;  $C, C'$  cuerpo de bomba;  $P, P'$  pistones;  $a, a'$  válvulas del pistón;  $b, b'$  válvulas de los cuerpos de bomba con su barreta  $h, h$ ;  $R$ , rueda dentada con sus dos cremalleras  $T, T'$ ,  $O, O'$ , canal de comunicación entre los cuerpos de bomba y el recipiente.
- II.—Plano de la máquina;  $P$ , platina;  $c, c'$  cuerpo de bomba;  $P C C'$ , tubo de comunicación;  $H$ , barómetro truncado;  $R$ , llave.

Los dos pistones están reunidos y son movidos por medio de cremalleras  $T$  y  $T'$ , de tal manera que uno sube cuando el otro baja. Esa disposición tiene por objeto destruir el efecto de la presión atmosférica que se ejerce en la superficie superior de los pistones.

Una llave permite interrumpir la comunicación entre los dos cuerpos de bomba y el recipiente, ó bien poner en comunicación á éste con el exterior.

Un *barómetro truncado* (fig. 60) que comunica con el aire del recipiente señala la presión interior á cada momento. Ese barómetro es un tubo en  $U$ , cuyas ramas están cerrada la una y abierta la otra.

A la presión ordinaria, el mercurio llena enteramente la rama cerrada mientras que se eleva poco en la otra. Está fijo sobre una escala dividida en milímetros y colocado en una probeta que comunica con el recipiente, teniendo por tanto la misma presión que él. El mercurio no empieza á bajar en la rama cerrada sino cuando el vacío está hecho en parte.

La presión del gas del recipiente está indicada por la diferencia entre los niveles del mercurio en las dos ramas.

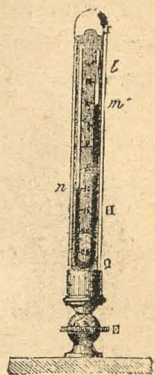


Fig. 60.—Un barómetro truncado

NOTA.—La máquina neumática no hace el vacío absoluto por dos razones: 1.<sup>a</sup> cada movimiento del pistón no saca sino una fracción del aire restante; 2.<sup>a</sup> los espacios (*espacios perjudiciales*) en que no penetra el pistón, alojan siempre alguna cantidad de aire.

4. **Usos de la máquina neumática.**—Ya hemos descrito varios experimentos que se hacen utilizando la máquina neumática. Tales son los del *tubo de Newton*, de la

*vejiga en el vacío*, del *rompe-vejigas*, de los *hemisferios de Magdeburgo*, de la *lluvia de mercurio*. Demuéstrase también con ella que el aire es el elemento de la vida y de la combustión, que el sonido no se transmite en el vacío, etc.

**5. Máquina de compresión.** — La *máquina de compresión* sirve para comprimir los gases en los recipientes. Difiere de la máquina neumática tan sólo por el juego de las válvulas inversamente dispuestas: aquí las válvulas se abren de arriba abajo.

Se la reemplaza ordinariamente por la *bomba de mano*. Esta bomba se compone de un cilindro ó cuerpo de bomba en el cual se mueve un pistón macizo. La parte inferior del cilindro lleva dos tubuluras con dos válvulas de las cuales una comunica con el aire libre y otra con el recipiente.

**6. Aplicaciones.** — El aire comprimido tiene numerosas aplicaciones: *fuelle de compresión*, *escafandro*, *relojes neumáticos*, *frenos de ferrocarril*, *telégrafos neumáticos*, *máquinas perforadoras*, etc.

1.º La *fuelle de compresión* es una aplicación de la compresibilidad y de la elasticidad de los gases. Se llena en parte un vaso de agua; en seguida se comprime el aire con la bomba de compresión, y encima de la llave se atornilla un cañoncito; cuando se da vuelta á la llave, la presión del aire hace saltar el agua.

2.º El *escafandro* es un aparato que permite al buzo trabajar debajo del agua. Compónese esencialmente de un casco de vidrio fijo en las espaldas y herméticamente cerrado, en que se hace llegar el aire por un tubo flexible mediante el cual comunica con una bomba de compresión.

3.º El aire comprimido hace funcionar los *relojes neumáticos* que permiten distribuir la hora á un gran número de relojes.

4.º Los *telégrafos neumáticos* permiten el transporte de las cartas de una casa de correo á otra, en el interior de las grandes ciudades, en París especialmente.

5.º El aire comprimido, obrando sobre los pistones de que dependen los *frenos*, hace parar en algunos segundos un tren que andaba con toda la fuerza del vapor.

**7. Fuelle.**—El *fuelle* es un aparato que sirve para inyectar una corriente de aire en un foco con el fin de activar la combustión.

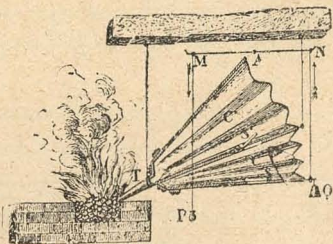


Fig. 61.—El fuelle.

Por medio de la cuerda *MP* (fig. 61), se mueve la palanca *MN*, al rededor del punto *A*. Ese movimiento hace subir y bajar alternativamente la cara inferior del fuelle en que está una válvula *S* que se abre de abajo arriba y funciona como la del pistón de la bomba aspirante. Un tabique que también lleva una válvula *S'* la cual se abre en el mismo sentido, divide el fuelle en dos partes sobrepuestas *C* y *C'*. El aire de la mitad inferior pasa por esa válvula á la mitad superior, de donde se arroja por la tobera *T*.

**CUESTIONARIO.**—¿Para qué sirve la máquina neumática?—¿Cuáles son sus partes principales?—Descripción de la máquina neumática ordinaria.—¿Cómo está constituido el barómetro truncado?—¿Por qué la máquina neumática no puede hacer el vacío completo?—¿Qué se llama espacio perjudicial?—¿En qué se diferencia la máquina de compresión de la máquina neumática?—Dense algunos ejemplos en que se usa el aire comprimido.—¿Para qué sirve el fuelle?—¿Cómo funciona?

## CAPÍTULO IX

**Bombas**

**1. Definición.**—*Las bombas son unos aparatos destinados á levantar los líquidos bajo la influencia de la presión atmosférica,*

Las bombas más comunes son: la *bomba aspirante*, la *bomba impelente* y la *bomba aspirante é impelente*.

**2. Bomba aspirante.** — *Descripción.*—La *bomba aspirante* (fig. 62) que es la más usada, se compone: 1.º de un tubo de aspiración *A* que va del depósito de agua hasta el cuerpo de bomba; 2.º de un cuerpo de bomba *B* situado á continuación del primero y en cuya extremidad se encuentra un cañón *D* para la salida del líquido al exterior; 3.º de un émbolo *P* sostenido por un sistema de palancas articuladas, gracias á las cuáles se le pone en movimiento; 4.º de las válvulas que son dos, una *S* situada en el punto de unión del tubo de aspiración con el cuerpo de bomba, y otra *S'* que tapa un agujero existente en el émbolo; ámbas se abren de abajo arriba.

*Funcionamiento.* — Supongamos que se eleve el pistón, colocado al empezar, en el fondo del tubo. El vacío tiende á hacerse debajo del émbolo, y la válvula *S'* continúa cerrada por efecto de su propio peso y de la presión atmosférica; pero al mismo tiempo, el aire contenido en el tubo de aspiración, levanta, por efecto de su elasticidad, la válvula *S* y se difunde por el cuerpo de bomba.

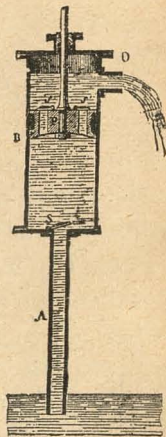


Fig. 62.—Bomba aspirante.

Disminuyendo de este modo la presión que este aire ejercía en el interior del tubo de aspiración sobre el agua del depósito, resulta que una columna de agua es aspirada y sube por el tubo hasta que el equilibrio se restablezca, por una parte, entre la presión exterior, esto es, la presión atmosférica, y por otra parte la presión de la columna líquida elevada, sumada con la tensión del aire rarificado que queda en el aparato. Al bajar el émbolo, este aire se escapa por el tubo *G* y se difunde en la atmósfera. Al segundo golpe del émbolo, los mismos fenómenos se verifican, y así sucesivamente, hasta que el agua penetre en el cuerpo de bomba y pase por encima del pistón. Cuando esto ha sucedido, la bomba está cargada (también se dice llena y cebada); el émbolo, en cada una de las ascensiones, levanta el líquido que está encima, hasta el tubo lateral *G*, por el cual ese líquido sale,

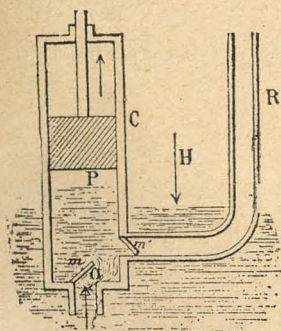


Fig. 63.—Bomba impelente

mientras que otra porción pasa del depósito al tubo de aspiración, y de allí al cuerpo de bomba, para salir en seguida al exterior, siguiendo el mismo camino y por el indicado mecanismo.

### 3. Bomba impelente. —

En la *bomba impelente* (fig. 63) el émbolo es macizo. El cuerpo de bomba sumergido en el agua, comunica con el depósito por una válvula que se abre de abajo arriba. Cuando sube el pistón *P*, la válvula *m'* se cierra, la válvula *m* se abre y el agua pasa al cuerpo de bomba. Cuando baja

el pistón, *m* se cierra, *m'* se abre y el agua está impelida en el tubo de elevación *R*.

4. **Bomba aspirante-impelente.** — La bomba que aspira el agua y la impele en seguida en un cañón se llama *aspirante-impelente*. Está formada (fig. 64) por un cuerpo de bomba *c c'* provisto de un pistón macizo *P*, y comunicando por su parte inferior, mediante dos válvulas *s* y *s'*, con dos tubos, uno *T* llamado *tubo de aspiración*, el otro *R* llamado *tubo de ascensión*

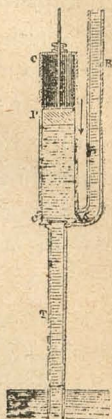


Fig. 64.—Bomba aspirante-impelente

5. **Aplicaciones.**—Los tres sistemas de bombas son diariamente empleados en la industria y en la economía doméstica. Limitémonos á decir algo de la *bomba de incendios*.

La *bomba de incendios* (fig. 65) pertenece á la clase de las impelentes.

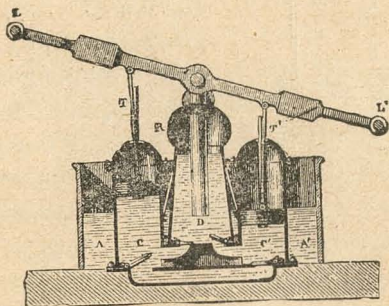


Fig. 65.—Bomba de incendios

Se compone de un recipiente de aire comprimido *R* que regulariza las salidas del agua. El agua vertida en *A* y *A'*, pasa por *C* y *C'* bajo la acción de los pistones llenos, movidos por las palancas *L* y *L'*. La bajada de los pistones la impele después al recipiente central de donde sale al tubo de salida *D*.

CUESTIONARIO.—¿Qué son las bombas?—¿Cuáles son las partes de una bomba?—¿Cuáles son las clases de bombas?—¿De qué se compone la bomba aspirante?—Explicar su maniobra.—¿Hasta qué altura se puede elevar el agua con la bomba aspirante?—¿Por qué?—Describir la bomba impelente.—¿Qué particularidad presenta el pistón de la bomba impelente?—Describir la bomba de incendios.

## CAPÍTULO X

### Sifón

1. **El sifón** (fig. 66).—Es un tubo encorvado de ramas desiguales, abierto en sus dos extremidades, que sirve para traségar los líquidos sin mover los vasos que los contienen.

Para servirse de este instrumento, se comienza por *cebarlo*, esto es, cargarlo ó llenarlo de líquido; en seguida se sumerge el brazo menor en el vaso que ha de vaciarse.

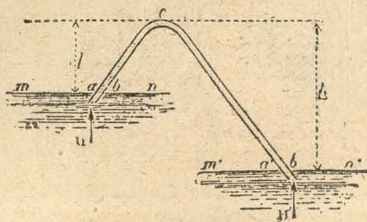


Fig. 66.—El sifón.

Al instante comienza el trasiego, pasando el líquido del brazo menor al mayor.

**2. Teoría del sifón.** — Consideremos una molécula de agua en  $c$  (fig. 66). Esta molécula soporta de izquierda á derecha una presión igual á la presión atmosférica  $H$  expresada en la columna del líquido, disminuída de la columna  $h$ , sea  $H-h$ ; y de derecha á izquierda, una presión igual á  $H-h'$ . Ahora bien, siendo  $h$  menor que  $h'$ , resulta que  $H-h$  es mayor que  $H-h'$ . Luego la molécula  $c$ , obedeciendo á la fuerza mayor, correrá hacia  $b'$ , y con una velocidad tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia  $h'-h$ .

**3. Modos de cargar el sifón.** — Hay varios modos de efectuar esta operación: 1.º introducir la rama menor en el vaso que se desea vaciar y absorber por la extremidad de la otra; 2.º llenar el sifón del líquido, tapando el extremo de la rama menor y después el de la mayor; entonces se destapa la primera y se la invierte, introduciéndola en el líquido que se desea trasvasar.



Fig. 67.—Carga del sifón con líquidos corrosivos.

Para los líquidos corrosivos, se añade al sifón ordinario una rama lateral (fig. 67) que permite cargar el instrumento sin peligro de que el líquido entre en la boca.

Para eso, se cierra la abertura inferior del sifón, se pone la otra extremidad en el líquido y con la boca se aspira hasta que esté lleno el sifón; luego al dejar de aspirar se abre la rama inferior; el sifón queda cargado y sale el líquido.

4. **Pipeta.**—La *pipeta* (fig. 68) está formada de un tubo de vidrio abultado en su parte media. Sirve para tomar cantidades mínimas de líquido. Para ello se sumerge la punta en el líquido y se aspira con la boca en la otra extremidad, tapándola después con el dedo. El líquido sube y se queda en el aparato, por causa de la presión atmosférica que se ejerce en la parte inferior.

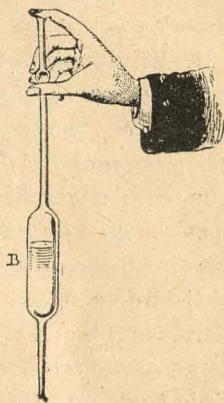


Fig. 68.—Pipeta.

5. **Fuentes intermitentes.** — Las *fuentes intermitentes* (fig. 69), así como lo indica el nombre, no corren más que por intervalos. El agua, al acumularse poco á poco en un depósito, acaba por llenarlo hasta el nivel *MF*, en cuyo caso el sifón está cargado, y corre el agua por la abertura *O*, hasta que el nivel llegue á la extremidad interior del canal de salida.

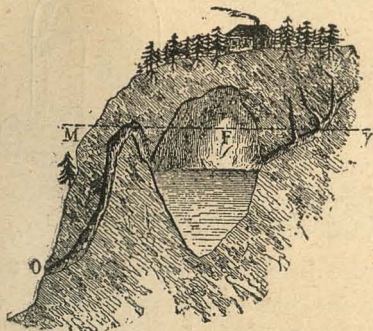


Fig. 69.—Fuente intermitente.

#### CUESTIONARIO.

- ¿Qué es el sifón?
- Dar su teoría.
- ¿Cómo se puede cargar el sifón?
- ¿Qué es una pipeta?
- ¿Para qué sirve?
- ¿Qué se llaman fuentes intermitentes?

## CAPÍTULO X

**Principio de Arquímedes aplicado á los gases**

1. **El principio de Arquímedes** se aplica tanto á los gases como á los líquidos. Por consiguiente, *todo cuerpo sumergido en un gas experimenta un empuje vertical de abajo arriba, igual en magnitud al peso del gas desalojado*; lo que se puede manifestar también, diciendo que *todo cuerpo sumergido en un gas pierde una parte de su peso, igual al peso del volumen de gas que aquel desaloja*.

Cuando se pesa un cuerpo en el aire, no se obtiene por tanto su peso real, sino el exceso de peso del cuerpo sobre el peso del volumen de aire desalojado. Este principio se demuestra con un aparato llamado *baróscopo*,

2. **Baróscopo**.—El *baróscopo* (fig. 70) es una especie de balanza cuyo fiel lleva en uno de sus extremos una pequeña masa de plomo, y en el otro una esfera hueca de cobre, de volumen bastante grande. Estos dos cuerpos se equilibran entre sí en el aire; pero si se coloca el aparato debajo del recipiente de la máquina neumática, y si se hace en ésta el vacío, se ve en seguida que la esfera vence á la masa de plomo, lo que prueba que pesa más en dicho momento.

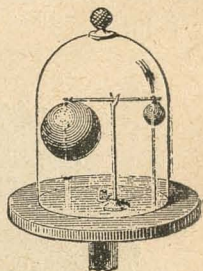


Fig. 70.—Baróscopo

Ahora bien, si en el aire la esfera hueca equilibra la masita de plomo, es porque pierde una parte mayor de su peso. Para probar que esa pérdida de peso es igual al peso del aire desalojado, basta añadir á la masita de plo-

mo el peso de un volumen de aire igual al de la esfera: el equilibrio no existirá en tal caso en el aire, pero sí en el vacío.

3. **Consecuencias.**—Del mismo modo que en los líquidos, cuando un cuerpo está sumergido en el aire, pueden presentarse tres casos:

Si el cuerpo es más denso que el aire, cae; si tiene igual densidad, queda suspendido; si es más ligero, se eleva. El humo, el vapor de agua, los globos suben por ser menos densos que el aire atmosférico.

4. **Globos.**—Los globos aerostáticos se componen de una envoltura de tela ligera é impermeable, de forma

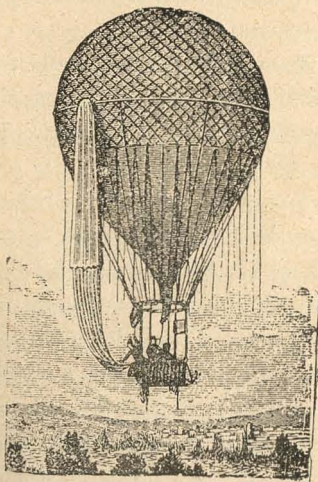


Fig. 71.—Globo con su nave

esferoidal, la cual, llena de aire caliente, de gas hidrógeno, ó de cualquier gas menos denso que el fluido atmos-

férico, pesa menos que el volumen de aire que desaloja y por esta razón sube en la atmósfera.

Los globos están provistos ordinariamente de una *barquilla* y un *paracaídas*. La *barquilla* cuelga de una red que envuelve el globo, y en ella se ponen los aeronautos. El *paracaídas* es una especie de gran paraguas de tela muy sólida que sirve al aeronauta para efectuar lentamente su descenso, en caso que aconteciera algún accidente al globo.

**5. Fuerza ascensional.** — Un globo en la atmósfera está sometido á dos fuerzas: 1.º una fuerza vertical de arriba abajo que es el peso total del globo: gas, envoltura, barquilla, aeronautas, aparejos, instrumentos, etc.; 2.º una fuerza vertical de abajo arriba igual al peso del aire desalojado por el aeróstato entero.

Si la segunda fuerza es mayor que la primera, el globo subirá bajo la influencia de una fuerza dirigida de abajo arriba, igual á la diferencia de aquellas. Esta fuerza aceleratriz se llama *fuerza ascensional*.

La fuerza ascensional, que debe ser calculada de manera que no pase de 4 á 5 kilogramos, permanece constante, aunque suba el globo, mientras este no está enteramente lleno. En efecto, si la presión atmosférica se hace dos veces más pequeña, el gas del globo adquiere, según la ley de Mariotte, un volumen dos veces mayor; y como la densidad del aire es entonces dos veces menor, resulta que el peso del volumen desalojado es siempre el mismo, y por consiguiente, que la fuerza ascensional que tenía el globo en el momento de partir, no ha cambiado. Pero apenas el globo está completamente inflado, su fuerza de ascensión decrece á medida que sube, y llega un momento en que el peso del aire que desaloja es igual al

suyo. En este momento, la fuerza ascensional es nula y el globo deja de subir. Si el aeronauta quiere elevarse más, vacía los sacos de arena que lleva como lastre. Si quiere descender, abre por medio de un cordel una válvula en la parte superior del globo. El aeronauta conoce que sube ó baja, por las indicaciones del barómetro. Por el mismo modo determina la altura á que se encuentra.

**6. Historia de los globos.**—La invención de los globos aerostáticos es debida á los hermanos Etienne y Joseph Montgolfier, fabricantes de papel en Annonay, (Francia) donde fué lanzado el primero de aquellos aparatos, el 5 de Junio de 1788. Era un vasto globo de lienzo, forrado de papel, inflado con aire caliente obtenido quemando paja y papel humedecidos, debajo de una abertura practicada en la parte inferior del aparato. Se da el nombre de *montgolfieras* á todos los globos de ese género.

El 21 de noviembre de ese mismo año, Pilâtre de Rosier y el caballero de Arlandes se atrevieron á elevarse los primeros en un globo de aire caliente completamente libre, que mantenían en tal estado por medio de un fuego de paja húmeda. Su ascensión se efectuó en el jardín de la Muette, cerca del bosque de Boulogne, en París.

Poco tiempo después, el físico Charles, profesor en París, tuvo la feliz idea de sustituir al aire el hidrógeno; después de una primera experiencia ejecutada con acierto en el Campo de Marte, Charles se elevó en los aires, en compañía de Robert, en un globo lleno de ese gas.

Posteriormente, gran número de ascensiones se han realizado. En 1840, Gay-Lussac llegó á más de 7 kms. En 1862, el aeronauta Coxwell y el meteorólogo Glaisher de Greenwich se elevaron á la altura de 8,100 m.

En 1875, Sivel, Crocé-Spinelli y Tissandier subieron

hasta 8,600 m.; pero perecieron asfixiados Sivel y Crocé-Spinelli.

*Globos-sondas*.—Hoy se explora sin peligro la atmósfera, por medio de *globos-sondas*, provistos de aparatos y de instrumentos automáticos. El *Areófilo*, globo explorador, llegó en 1895 á 15 kms., donde tuvo que soportar un frío de 63°. En 1897, el mismo globo alcanzó á 17 km. y según la presión indicada, atravesó los 9/10 de la masa atmosférica. Otro globo-sonda ha alcanzado á 29 km. en 1909.

*Dirigibles*.—Desde hace tiempo se viene buscando el medio de dirigir un globo en el aire como se dirige un navío en la superficie del agua. Con un globo cilíndrico horizontal, provisto de una hélice para tomar un punto de apoyo en el aire, y de un timón para reglamentar la dirección, Mr. Renard, de París, ha llegado á moverse con una velocidad de 6 m., 50 por segundo á pesar del viento. El ingeniero brasileño Santos Dumont alcanzó con su dirigible una velocidad de 8 m.

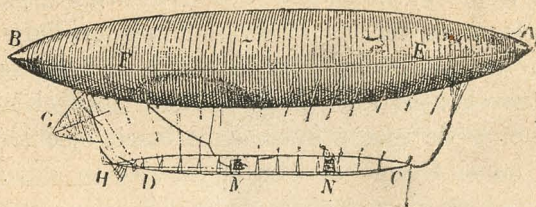


Fig. 72.—El dirigible Santos Dumont

Entre los dirigibles más perfeccionados, señalemos el *Lebaudy* y el *Clement-Bayard*. El *Lebaudy* tiene 57 m. de largo, siendo su diámetro 5 veces y  $\frac{1}{2}$  menor que su

longitud. La canastilla lleva los aeronautas y un motor de petróleo de 40 caballos de fuerza; las hélices dan 1000 vueltas por minuto. La capacidad es de 2,284 metros cúbicos.

El *Clément-Bayard* mide 60 m. de largo y 10 m., 50 de diámetro; su volumen es de 3,500 metros cúbicos; posee un motor de 120 caballos de fuerza.

**7. Aeroplanos.** — Desde algunos años se habla mucho de la navegación aérea por medio de los aeroplanos. Un *aeroplano* consiste primero en un armazón fusiforme de

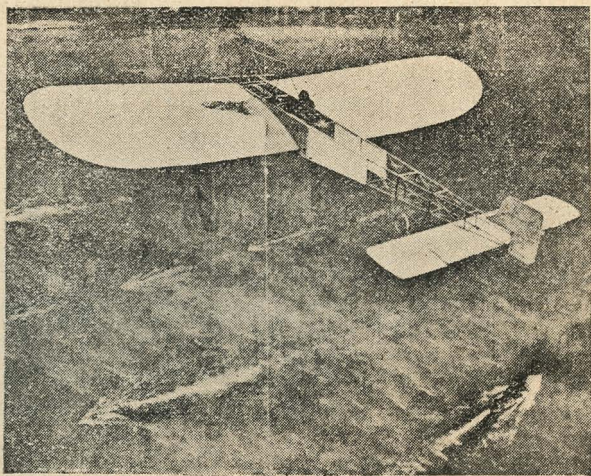


Fig. 73.—Blériot cruzando el Canal de la Mancha.

varillas é hilos entrecruzados; en su extremo posterior, tiene un timón; en su parte anterior lleva un motor provisto de una hélice de ramas largas, y un par (*monoplano*) ó dos pares sobrepuestos (*biplano*) de alas hechas de

tela muy resistente y extendidas horizontalmente. El aviador se sienta detrás del motor. El aspecto general es de un ave ó de una libélula.

El aeroplano vuela á la manera de un águila que se cierne. Las alas son fijas, siendo únicamente órganos de sostén. El aparato recibe el impulso de las rapidísimas vueltas de la hélice.

Los aviadores más célebres hasta la fecha son: los hermanos Wright norte americanos, el brasileño Santos Dumont, los franceses Blériot, Latham, Paulhan, Vedrines, Beaumont.

En 1908, Farman efectuó de Châlons á Reims (Francia) el primer viaje aéreo de una ciudad á otra.

En 1909, Blériot atravesó el Canal de la Mancha en 27 minutos, con un aparato que medía 7 m., 85 de largo y 7 m., 55 del uno al otro extremo de las alas.

En 1910, Paulhan salvó en dos vuelos la distancia de Londres á Manchester; había recorrido en el primero 180 km. en menos de tres horas.

El año 1911 ha visto los aeroplanos volar á bandadas de París á Madrid, de París á Roma, de París á Bélgica é Inglaterra.

Estas y otras proezas demuestran que está en vísperas de ser resuelto el tan difícil problema del vuelo humano.

CUESTIONARIO.—¿A qué se aplica también el principio de Pascal?—¿Qué es el barómetro?—¿Qué globos se llaman mongolfieras?—¿Cuáles han sido las más notables ascensiones aerostáticas?—¿Qué se busca en la navegación aérea?—¿Qué es un dirigible, un aeroplano?



# TERCERA PARTE

# CALOR

## CAPÍTULO I

### Dilatación

1. **Definición.**—*El calor es la causa que produce en nosotros las sensaciones de lo caliente y de lo frío.*

Se admite generalmente que el calor es el resultado de un movimiento vibratorio muy pequeño y muy rápido de las más ínfimas moléculas de la materia ponderable; este movimiento se propaga entre los cuerpos por medio de un fluido llamado *éter*. El *éter*, eminentemente elástico y diseminado por todo el universo, trasmite el calor de un cuerpo á otro, por ondulaciones análogas á las que en el aire propagan el sonido.

2. **Efectos del calor.**—El calor produce dos efectos principales: 1.º *dilata los cuerpos*; 2.º *los hace cambiar de estado*.

3. **Dilatación de los sólidos.**—Los sólidos experimentan, por la acción del calor, dos clases de dilatación: la dilatación *lineal* ó de *longitud* y la dilatación *cúbica* ó de *volumen*.

4. **Dilatación lineal.**—**Pirómetro de cuadrante.**—La dilatación se demues-

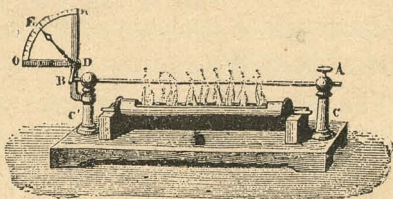


Fig. 74.—Pirómetro de cuadrante.

tra con el *pirómetro de cuadrante* (fig. 74), que se compone de una barra metálica *AB* fija en uno de sus extremos.

por un tornillo de presión, mientras que el otro extremo queda libre, en contacto con el brazo de una aguja móvil en un cuadrante.

Debajo de la barra metálica hay un recipiente donde se quema alcohol; el calor hace alargar la barra en el sentido  $AB$  y este alargamiento hace subir la aguja sobre el cuadrante cierto número de grados, tanto mayor cuanto más intenso es el calor y más dilatáble la citada barra metálica.

**5. Coeficiente de dilatación lineal.**—Llámanse *coeficiente de dilatación lineal* a la prolongación que adquiere la unidad de longitud de un cuerpo cuando su temperatura sube de  $1^{\circ}$ .

Sea  $L_0$  la longitud de una regla metálica á  $0^{\circ}$ , y  $\delta$  su coeficiente de dilatación lineal. Su alargamiento por efecto de una elevación de temperatura de  $t^{\circ}$  será  $L_0 \times \delta \times t$ ; su longitud vendrá á ser

$$L = L_0 + L_0 \delta t = L_0 (1 + \delta t)$$

Este valor  $(1 + \delta t)$  se denomina *binomio de dilatación lineal*.

**6. Aplicaciones.**—Se debe atender á la dilatación para poner arcos á las ruedas de un coche, colocar rieles en los ferrocarriles, las láminas de zinc que forman el techo de algunas casas.

Si los rieles de un ferrocarril de 100 kilómetros fuesen continuos ó se hallasen en perfecto contacto, su aumento de longitud del invierno al verano sería de 70 mts., pues una lámina de 100 mts. se alarga 0 m., 07. Semejante hecho bastaría para torcer los rieles ó arrancar los tornillos que los sostienen, si entre dos rieles consecutivos no se dejase un pequeño espacio llamado *compensador*. En cuanto al plomo y al zinc, cuya dilatación es casi triple de la del hierro, los medios de compensación son más indispensables todavía. Cuando no se toma la precaución de reservar intervalos suficientes, las cubiertas de los techos, donde se usan

esos materiales, presentan en el verano jorobas enormes, y en el invierno rendijas ó resquebrajaduras considerables. Para guarnecer las ruedas de los coches con llantas, se hace que el diámetro del círculo de hierro sea algo menor que el de la rueda. Después se le calienta fuertemente, con lo cual se dilata mucho y la rueda puede caber en él. En seguida se le enfría en el agua; entonces se contrae y ajusta muy bien, apretando con fuerza los arcos de la rueda.

**7. Dilatación cúbica.—Anillo de S' Gravesande.**—Se demuestra la *dilatación cúbica* por medio del *anillo de S' Gravesande* (fig. 75). Este aparato se compone de un anillo metálico por el cual puede pasar libremente, á la tem-

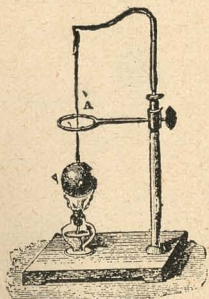


Fig. 75.—Pirómetro de S' Gravesande.

peratura ordinaria, una esfera de cobre de un diámetro aproximadamente igual al del anillo; pero si se calienta esta bola por medio de una lámpara de alcohol, no se puede entonces hacerla pasar por el anillo; lo que prueba el aumento de su volumen.

*El coeficiente de dilatación cúbica de un sólido es sensiblemente el triple del coeficiente de su dilatación lineal.*

**Aplicaciones.**—Para sacar un tapón esmerilado que resiste á los esfuerzos ordinarios, se calienta con cuidado el cuello del frasco; la abertura se ensancha y facilita de ese modo la salida del tapón. A veces se rompe un vaso de vidrio calentado bruscamente en un punto de su superficie. Eso proviene de que, siendo el vidrio un cuerpo muy mal conductor del calor, se dilata solo la parte directamente calentada, la cual ejerce sobre las partes vecinas un esfuerzo que puede determinar la ruptura.

**8. Dilatación de los líquidos.**—Los líquidos se dilatan

más que los sólidos. Para demostrarlo se toma un aparato sencillo, compuesto (fig. 76) de un depósito de vidrio *B* al cual está soldado un tubo largo y estrecho. Se llena el depósito de agua hasta la altura *c* y se lo sumerge en agua caliente; inmediatamente el nivel del agua baja porque el globo se dilata primero, pero á su vez el agua del globo se dilata poco á poco, y como ésta es más dilatante que el vidrio, el nivel vuelve pronto á su posición inicial que tanto más traspasará después; cuanto más suba la temperatura.

Los termómetros ordinarios son aplicaciones de la dilatación de los líquidos.

### 9. Máximum de densidad del agua.—El agua presenta

una excepción notable á las leyes de la dilatación. Tiene su máximum de densidad á  $4^{\circ}$ , es decir, que un mismo volumen de ella pesa más á  $4^{\circ}$  que á cualquiera otra temperatura, ó también que al enfriarse hasta los  $4^{\circ}$  su volumen disminuye, y que si sigue el enfriamiento y baja de  $4^{\circ}$ , el volumen aumenta.

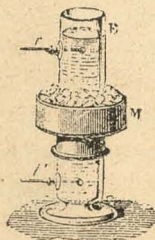


Fig. 77.—Máximum de densidad del agua

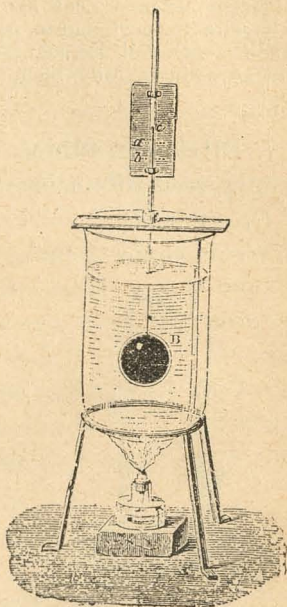


Fig. 76.—Dilatación de los líquidos

El *aparato de Hope* (fig. 77), que prueba este hecho, se compone de una

probeta envuelta en su parte media por un mango *M*, y provista de dos termómetros cuyos tubos atraviesan la pared, uno en la parte superior de la probeta y el otro en su parte inferior. Estando llena de agua la probeta á la temperatura ordinaria, se llena el mango de una mezcla de hielo y de sal marina. Pronto se ve que el termómetro inferior marca  $4^{\circ}$ , mientras el termómetro superior baja progresivamente hasta  $0^{\circ}$ .

Por esta razón, el agua del fondo de los lagos nunca tiene una temperatura menor de  $4^{\circ}$ , y los peces pueden sustraerse á los fríos rigurosos del invierno. Esto explica también por qué las capas superiores del agua de una garrafa se congelan primero, aún cuando se enfríe la garrafa por el fondo.

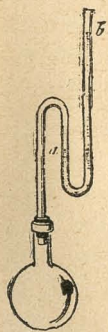


Fig. 78.—Dilatación de los gases

**10. Dilatación de los gases.**—La dilatación de los gases es muy superior á la de los líquidos.

Se la evidencia por medio de un globo de vidrio (fig. 78) soldado á un tubo largo y encorvado, en el cual se encuentra un índice de líquido colorado que intercepta la comunicación del aire, separando la masa interior de la atmósfera. El calor de la mano aplicada sobre la bola basta para dilatar el gas y hacer avanzar el índice hasta *b*, en la dirección del extremo libre del tubo.

*Algunas consecuencias de la dilatación de los gases.*—Un cuerpo al dilatarse conserva el mismo peso aunque aumente su volumen; luego su densidad se disminuye. Es por esto que el aire caliente sube en la atmósfera. Los vientos son movimientos

de las capas atmosféricas, producidos por la ascensión del aire calentado en la superficie de la tierra. La ascensión del aire caliente produce el tiro de las chimeneas.

CUESTIONARIO.—¿Qué es el calor?—¿A qué se atribuye el calor?—¿Cuántos efectos produce el calor? — ¿En qué consiste el pirómetro de cuadrante?—¿Cómo se demuestra la dilatación cúbica?—¿Cómo se puede verificar la dilatación de los líquidos? ¿la de los gases?—¿Como varía la densidad de un cuerpo cuando se lo calienta?—¿Por qué la chimenea no tira sino cuando hay fuego en ella?—¿Qué causa produce los vientos?

---

## CAPÍTULO II

### Termómetros

1. **Definición.**—*Los termómetros son unos instrumentos que sirven para determinar la temperatura de los cuerpos.*

Su construcción se funda en el principio de la dilatación. Todos los cuerpos podrían, en rigor, servir para la construcción de un termómetro, ya que todos son dilatables. Se prefiere los líquidos, cuya dilatación, mayor que la de los sólidos y menor que las de los gases, se presta mejor á la observación de las variaciones medias de la temperatura. Los termómetros de gas son empleados sólo para revelar cambios muy débiles en la intensidad del calor. Los que se construyen con sólidos y que se llaman *pirómetros*, sirven para medir las temperaturas muy elevadas.

Los líquidos que se usan generalmente para la construcción de los termómetros son el *alcohol* y el *mercurio*. El *alcohol*, porque soporta, sin congelarse, los fríos más intensos, pudiendo llegar hasta  $-130^{\circ}$ .

El *mercurio*, porque: 1.º se lo puede obtener purísimo; 2.º toma pronto la temperatura de los cuerpos vecinos; 3.º su dilatación es bastante regular y relativamente grande; 4.º entre su punto de solidificación ( $-40^{\circ}$ ) y su punto de ebullición ( $350^{\circ}$ ) se hallan comprendidas todas las temperaturas usuales.

**2. Construcción del termómetro de mercurio.**—Se toma un tubo capilar *T* bien regular (fig. 79), es decir cuyo diámetro interior es perfectamente igual en todos sus puntos, y terminado en una de sus extremidades por un depósito cilíndrico *R*.

Para introducir el mercurio en el aparato, se suelda á la extremidad del tubo un pequeño embudo *A* que se llena de mercurio; luego inclinando el tubo, se calienta con la lámpara de alcohol el depósito *R*. El aire que este contiene se dilata y sale por el embudo *A*,

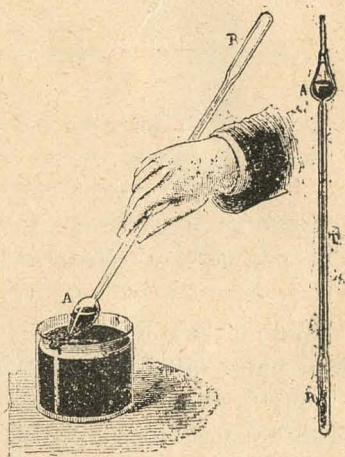


Fig. 79.—Método para llenar un termómetro de mercurio.

atravesando burbuja á burbuja el mercurio. Si entonces se deja enfriar el depósito *R*, el aire que aquél contiene aún, se contrae, y la presión atmosférica obliga al mercurio á bajar del embudo al depósito. Se renueva la misma operación hasta que el depósito y el tubo queden enteramente llenos.

3. **Graduación del termómetro de mercurio.**—Se ha fijado dos puntos que sirven de base á la graduación de los termómetros, la del hielo (fig. 80) que se derrite y da

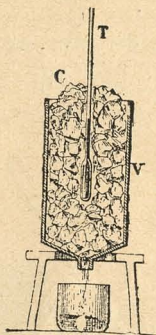


Fig. 80  
Determinación del cero

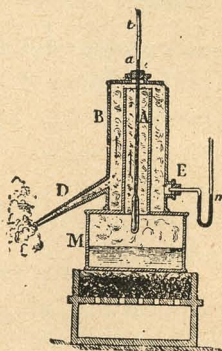


Fig. 81  
Determinación del punto 100

el punto  $0^{\circ}$ , y la del vapor del agua hirviendo (fig. 81) que da el punto  $100^{\circ}$  si la presión atmosférica es de 0m, 76. Obtenidos estos dos puntos, se divide el intervalo en 100 partes iguales que se llaman *grados*. Se prolonga la graduación llevándola por encima de  $100^{\circ}$  y por debajo de  $0^{\circ}$ ; el termómetro así graduado lleva el nombre de *termómetro centígrado*. Para distinguir las temperaturas inferiores á cero de las que están por encima, se las hace preceder del signo —. Llámase las vulgarmente *grados de frío*.

4. **Construcción del termómetro de alcohol.**—Se introduce alcohol en el embudo *C* (fig. 82) y se calienta un tanto el depósito *D*. Al enfriarse el aire, el líquido bajo la

acción de la presión atmosférica. Este termómetro se gradúa según las indicaciones del término de mercurio.

### 5. Diferentes escalas barométricas.

1.º La *escala centígrado* es la que acabamos de construir; el 0º corresponde a la temperatura del agua fundente y el 100º a la del agua hirviendo.

2.º En la *escala Réumur*, el 0º corresponde también a la temperatura del hielo fundente, pero el 80º a la del agua hirviendo.

3.º En la *escala de Fahrenheit*, el 32º corresponde al hielo fundente y el 202º al agua hirviendo; esta escala se emplea sobre todo en los países de lengua inglesa.

100º centígrados valen pues 80º de Réaumur, ó 202º—32º, sean 180º de Fahrenheit; luego 1º centígrado vale  $\frac{4}{5}$  del grado de Réaumur y  $\frac{9}{5}$  del grado de Fahrenheit.

6. **Termómetro de máxima y mínima.**—Este aparato tiene por objeto hacer conocer cuáles han sido en un tiempo dado; la más alta y la más baja de las temperatu-

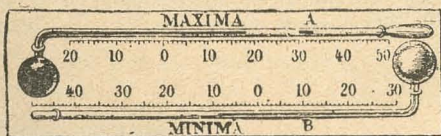


Fig. 83.—Termómetro de máxima y mínima.

ras de un lugar. El más sencillo es el de Rutherford (fig. 83): se compone de dos termómetros, uno de mercurio

rio que indica la temperatura máxima y el otro de alcohol que indica la temperatura mínima.

El termómetro de máxima contiene en su tubo, en contacto con la columna mercurial, un pequeño *índice* de acero. Cuando el mercurio se dilata, empuja el índice. Cuando más tarde, la temperatura desciende, el mercurio se retira, pero sin llevar consigo el índice, que no moja, y con el cual no tiene, por tanto, ninguna adherencia. Este queda, pues, en el sitio á donde fué empujado, é indica de este modo la mayor temperatura á que ha llegado el instrumento.

El termómetro de mínima, contiene igualmente un pequeño *índice* de esmalte, al cual se adhiere el alcohol mojándole. Cuando baja la temperatura, el alcohol al retirarse lleva consigo el índice; pero si la temperatura se eleva, el líquido pasa entre éste y las paredes del tubo, dejando así que el índice señale el punto de más baja temperatura.

CUESTIONARIO.—¿Para qué sirve el termómetro?—¿En qué caso se usa el de alcohol?—¿Qué cuerpos termométricos se usan para medir las temperaturas más bajas?—¿Cómo se construyen el termómetro de mercurio? el de alcohol?—¿Cómo se gradúa el termómetro de mercurio? el de alcohol?—¿En qué se podría usar los termómetros á gas?—¿En qué caso se usa el pirómetro como termómetro?—¿Para qué sirven los termómetros de máxima y de mínima?—¿En qué consiste el termómetro de Réaumur? el de Fahrenheit.

---

## CAPÍTULO III

## Propagación del calor

El calor se comunica á los cuerpos de dos modos: por *conductibilidad* y por *radiación*.

## § I.—CONDUCTIBILIDAD

**1. Definición.**—La *conductibilidad* es la propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor de molécula á molécula á través de su masa.

No todos los cuerpos poseen la misma conductibilidad. Llámase *buenos conductores* á los que lo transmiten fácilmente: tales son los metales; y *malos conductores* á los que lo transmiten con dificultad, como la madera, el vidrio, las resinas.

**2. Conductibilidad de los sólidos.**—*Experimento de Ingenhouz.*—Se averigua la diferencia de conductibilidad de los sólidos con el aparato de Ingenhouz (fig. 84). Es una caja metálica que lleva clavadas, varitas de diferentes substancias cubiertas de cera amarilla, que penetran un poco en el interior. Estando la caja llena de agua hirviente, caliéntanse las varitas por conductibilidad y la cera se funde en una longitud tanto más larga cuanto mayor sea la conductibilidad.

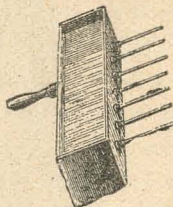


Fig. 84.—Aparato de Ingenhouz

Los sólidos de conductibilidad mayor son, por orden decreciente: plata, cobre, oro, latón, zinc, hierro, platino.

El vidrio, la porcelana, el carbón, la madera, son entre los sólidos de conductibilidad menor.

*Aplicaciones.*—Los carbones mal apagados se conservan entre las cenizas porque éstas conducen mal el calor. El carbón vegetal calentado en una extremidad se enciende por encontrarse allí el calor, mientras que la otra extremidad no se calienta siquiera.

Puédese hacer hervir agua en una cajita de papel delgado sin que éste se queme por ceder su calor al agua. El estaño puesto en las mismas condiciones funde sin que se carbonice el papel (fig. 85).

Una tela metálica colocada encima de una llama la apaga porque se apodera del calor del foco que permita á los gases quemarse.

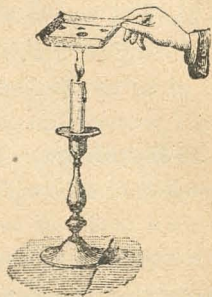


Fig. 85. — Fusión del estaño sobre una hoja de papel

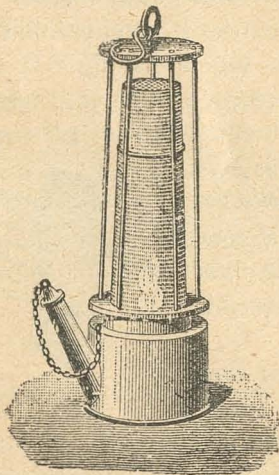


Fig. 86.—Lámpara de Davy

La *lámpara de Davy* (fig. 86), empleada por los mineros, es una aplicación de la propiedad que tienen las telas metálicas de no dejarse atravesar por las llamas.

La mayor ó menor conductibilidad de los sólidos nos explica el porqué ciertas sustancias, aunque de igual temperatura, nos producen al tocarlas sensaciones diferentes.

Por ejemplo, un trozo de madera á la temperatura ordinaria no nos parece, al tocarlo, ni frío ni caliente, mientras que la barra de hierro de igual temperatura nos parece fría.

**3. Conductibilidad de los líquidos.** — Los líquidos son muy malos conductores del calor. Si se pone agua en un tubo (fig. 87) en cuyo fondo hay un termómetro, y si, después de inclinado el tubo,

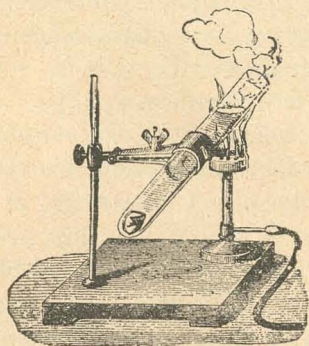


Fig. 87.—Ebullición del agua sobre el hielo se calienta con una lámpara las capas superiores del líquido, podrá hervir la superficie del agua, mientras el termómetro apenas indica un aumento tenue de temperatura.

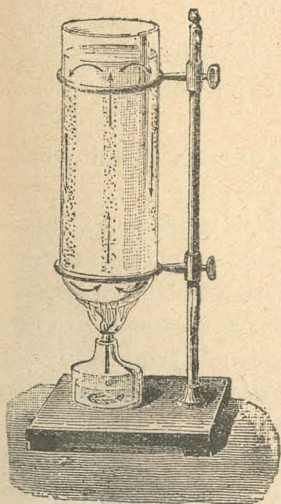


Fig. 88.—Movimiento de un líquido calentado.

*Aplicaciones.* — Los líquidos no se calientan sino por corrientes; las capas inferiores, volviéndose más livianas al calentarse, suben á la superficie, mientras que las capas frías bajan al fondo del vaso (fig. 88). Una causa análoga produce las corrientes marinas.

**4. Conductibilidad de los gases.** — La conductibilidad de los gases es casi nula; sólo

el hidrógeno la posee á cierto grado. Los gases no pueden, por tanto, calentarse sino á la manera de los líquidos, por corrientes ascendentes y descendientes que ponen sucesivamente todas sus moléculas en contacto con el foco calorífico.

*Aplicaciones.*—Los vestidos nos protegen contra el frío mediante el aire que mantienen, por decirlo así, aprisionado en sus intersticios, al modo que las esponjas conservan el agua.

Los alimentos se conservan calientes si se cubre con un tejido de lana el vaso que los contiene. Las casas de ladrillos huecos, las dobles puertas, las ventanas dobles y los tabiques dobles protegen contra el frío. El hielo se conserva en neveras de ladrillos bajo una capa de paja.

## § II.—RADIACIÓN

5. **Definición.**—La radiación es la propiedad que tiene el calor de transmitirse de un cuerpo á otro á través del espacio.

Llámase *calor radiante* al calor que se transmite de un cuerpo á otro á través del espacio.

6. **Leyes principales del calor radiante.**—1.<sup>a</sup> *Un cuerpo caliente despidе calor, en torno suyo, en todas direcciones.*—En efecto, si se coloca un termómetro en diferentes puntos alrededor de un cuerpo caliente, experimenta en todos esos puntos elevación de temperatura.

2.<sup>a</sup> *El calor radiante, en un medio homogéneo, se transmite en línea recta.*—Si se interpone una pantalla en la línea recta que va del foco calorífico al depósito de un termómetro, este no acusa entonces ninguna elevación de temperatura; pero si se quita la pantalla sube en seguida el termómetro.

3.<sup>a</sup> *El calor se propaga en el vacío.*—Sumergiendo en agua hirviendo un globo de vidrio que contenga un termómetro y en el que se haya hecho el vacío, se ve el termómetro subir rápidamente.

4.<sup>a</sup> *La intensidad del calor radiante está en razón inversa del cuadrado de la distancia.*—Si se exponen dos termómetros *A* y *B* á un mismo foco calorífico, siendo la distancia de *B* doble de la de *A*, se notará que la temperatura de *A* es 4 veces mayor que la de *B*.

7. **Poder diatérmico.**—Llámanse *diatérmicos* los cuerpos que se dejan atravesar por el calor; el aire y los gases son eminentemente diatérmicos.

Llámanse *atórmicos* los cuerpos que no se dejan atravesar por el calor; los metales, la madera, la piedra el alumbre sólido ó en disolución son atórmicos.

Algunos cuerpos son diatérmicos para el calor luminoso y atórmicos para el calor oscuro, v. g. el vidrio. Esa propiedad se utiliza en los invernáculos cubiertos de vidrio.

8. **Poder radiante ó emisorio.**—El *poder emisorio* de un cuerpo es la propiedad que tiene de irradiar calor hacia los objetos que lo rodean. El poder emisorio depende de la naturaleza del cuerpo, de su color, etc. Un color negro ó subido, una superficie rugosa, favorecen el poder emisorio. Los metales pulimentados tienen un poder emisorio muy débil; por eso las sustancias colocadas en vasos pulimentados conservan su calor más que las colocadas en vasos de tierra.

El *negro de humo* y el *albayaide* tienen el mayor poder emisorio.

9. **Poder absorbente.**—Se llama *poder absorbente* la propiedad que tienen los cuerpos de dejarse penetrar por

el calor que irradian los cuerpos vecinos. El poder absorbente de un cuerpo es siempre igual á su poder emisivo.

Los cuerpos ásperos y de color subido poseen el mayor poder absorbente.

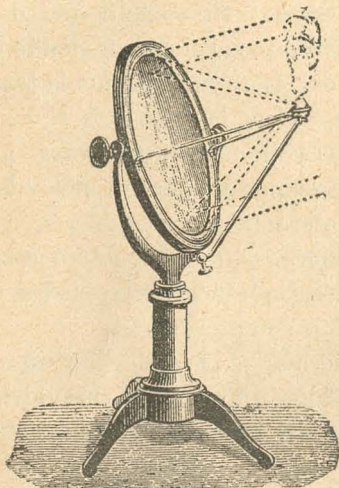


Fig. 89.—Espejo ardiente

y elevar así la temperatura de los cuerpos que se encuentran en su foco.

### 10. Poder reflector.

—El *poder reflector* es la propiedad que tienen los cuerpos de *reflectar* ó *rechazar* los rayos calóricos que caigan en su superficie. Los cuerpos blancos ó de superficie pulimentada son los que tienen el mayor poder reflector.

*Los espejos ardientes* (fig. 89) son espejos cóncavos que tienen la propiedad de reflejar y concentrar el calor del sol,

**11. Aparatos de calefacción.**—Los principales aparatos de calefacción son: las *chimeneas*, las *estufas* y los *caloríferos*.

*Chimeneas.*—Para funcionar bien, una chimenea exige un buen tiro. El tiro resulta de la diferencia de las temperaturas dentro y fuera del tubo ó cañón.

Las condiciones de un buen tiro son las siguientes: 1.º la sección del tubo no debe tener más que la superficie necesaria para la salida de los productos de la com-

bustión; de otro modo, podrían establecerse corrientes descendientes que rechazarían parte del humo.

2.º El tubo debe ser elevado; pues el exceso de la presión exterior será tanto mayor cuanto más alta sea la columna de aire caliente.

3.º El aire exterior debe penetrar en la habitación con rapidez suficiente para responder al llamamiento del fogón.

El tiro depende además de la temperatura del fogón y del estado del aire atmosférico.

Las chimeneas, por el tiro de aire que determinan, son el mejor medio de calefacción respecto de la higiene, pero el menos económico por escaparse por el cañón la mayor parte del calor producido.

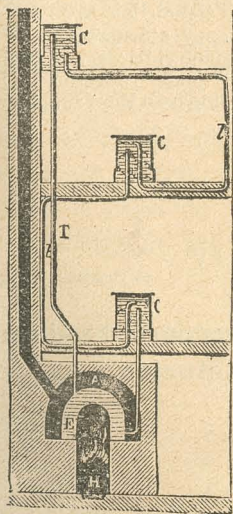


Fig. 90.—Calorífero de agua caliente.

El aire caliente es muy seco y arrastra mucho polvo.

Los *caloríferos de agua caliente* (fig. 90) consis-

*Estufas.*—Las estufas exigen un buen tiro, una buena chimenea y presas de aire suficiente debajo del fogón. Ese sistema de calefacción es económico, pero no higiénico.

*Caloríferos.*—Caloríferos son vastos fogones dispuestos para calentar una casa entera por medio de la distribución de *aire caliente*, de *agua caliente* ó de *vapor de agua*.

Los *caloríferos de aire caliente* se usan poco hoy día, por no devolver más que una débil parte del calor producido por el combustible. Además, el aire

ten esencialmente en un hogar con caldera llena de agua. Un sistema de tubos conduce el agua que, al subir por causa de su peso específico menor, entra en vasos metálicos colocados en los departamentos, volviendo á bajar por otros tubos cuando se ha enfriado. Esos caloríferos dan una temperatura constante y suave; se los utiliza en los invernáculos.

En los *caloríferos de vapor*, el vapor producido á baja presión se dispersa por los tubos, calienta el local dejando su calor de evaporación, y vuelve á la caldera. Este sistema tiene las ventajas del anterior.

CUESTIONARIO.—¿Cómo se propaga el calor?—¿Qué se llaman cuerpos buenos conductores y malos conductores del calor?—Dar ejemplos y aplicaciones.—¿Qué propiedad tienen las telas metálicas?—¿Qué se llaman cuerpos diatérmicos y atérmicos? — Dar ejemplos.—¿Por qué los invernáculos tienen vidrieras? — Definir el poder emisor, el poder absorbente, el poder reflector.—¿Cuáles son los principales aparatos de calefacción?—¿Cómo funcionan?

## CAPÍTULO IV

### Cambios de estado de los cuerpos.—Fusión.—Solidificación.—Disolución

#### § I.—FUSIÓN

1. **Definición.**—*La fusión es el paso de un cuerpo sólido al estado líquido bajo la influencia del calor.*

Ciertos cuerpos tales como el estaño, el plomo, el zinc, se funden fácilmente; otros como el hierro, el platino más

difícilmente; algunos, llamados *refractarios*, han resistido á las más altas temperaturas conocidas, pero se cree que no podrían resistir á temperaturas mucho más considerables.

Los cuerpos orgánicos, tales como la madera, la carne, la hulla, etc., no se funden, pero se descomponen bajo la influencia del calor.

**2. Leyes de la fusión.**—La fusión de los cuerpos está sometida á las dos leyes siguientes:

1.<sup>a</sup> *Un cuerpo entra en fusión siempre á la misma temperatura.*

2.<sup>a</sup> *La temperatura de un cuerpo en fusión permanece constante mientras dura el fenómeno de la fusión.*

Para que la primera ley se verifique exactamente, se debe operar siempre en las mismas condiciones. El punto de fusión del hielo baja cuando aumenta la presión.

Sea cual fuere la intensidad del foco calorífico, se verifica la segunda ley. El calor comunicado durante la fusión de un cuerpo se emplea *todo entero en efectuar el cambio de su estado.*

**3. Cuadro de las temperaturas de fusión de algunas sustancias.**

Mercurio .....	—39°	Plomo .....	320°
Hielo .....	0	Plata .....	1000
Potasio .....	58	Oro .....	1250
Sodio .....	90	Hierro dulce.....	1500
Estaño .....	230	Platino .....	2500

## § II.—SOLIDIFICACIÓN

4. **Definición.**—*La solidificación es el paso de un cuerpo del estado líquido al sólido.*

Este fenómeno, que lleva el nombre de solidificación ó congelación, se presenta siempre sometido á las dos leyes siguientes, que son las recíprocas de las de la fusión:

1.<sup>a</sup> *Un cuerpo se solidifica siempre á la misma temperatura, y el punto de solidificación es el mismo que el de fusión.*

2.<sup>a</sup> *El líquido permanece á la misma temperatura hasta que se ha solidificado por completo.*

Los cuerpos al solidificarse disminuyen de volumen y por consiguiente su densidad aumenta; sin embargo, el agua aumenta de volumen: la densidad del hielo es sólo 0,92.

El aumento de volumen que se verifica en el agua al congelarse puede producir efectos mecánicos de una potencia extraordinaria. La destrucción de las plantas en inviernos fríos proviene de la expansión del hielo que forma la savia; la ruptura de las rocas en las montañas es originada por la congelación del agua que se ha infiltrado en las grietas y en los poros; una botella llena de agua se rompe cuando ésta se congela.

5. **Rehielo.**—Cuando se aprietan fuertemente dos pedazos de hielo uno contra otro, se sueldan: á este fenómeno le dan el nombre de *rehielo*.

El rehielo es debido á que hay un principio de fusión en los puntos de contacto bajo la influencia de la presión; el agua que proviene de esta fusión se solidifica de nuevo tan pronto como acaba la presión y los dos pedazos de hielo quedan unidos.

Así cuando se comprime una masa de hielo en un molde formado de dos casquetes esféricos, se saca un lente de hielo homogéneo, transparente. Hubo fusión y luego solidificación.

Los *ventisqueros* se producen por la aglomeración de las nieves cuya presión produce una fusión parcial, seguida de una solidificación general.

### § III.—DISOLUCIÓN

**6. Definición.**—*Se llama disolución el paso de un sólido á líquido, cuando dicho cambio se hace en otro líquido con que se lo mezcla.*

Un pedazo de azúcar ó de sal, arrojado al agua, se hace poco á poco líquido, y se confunde con el agua. El resultado de esta mezcla es una *disolución*; el agua con que se hace la disolución es un *disolvente* del azúcar; así mismo se dice que el azúcar es *soluble* en el agua.

El agua es el disolvente ordinario; pero algunos cuerpos, tales como el hierro, el cobre, la tiza, el carbón, no se disuelven en el agua. Las grasas insolubles en el agua se disuelven perfectamente en la bencina y en el amoníaco; el fósforo y el azufre se disuelven en el sulfuro de carbono; los cuerpos grasos, en el éter.

Los cuerpos no son igualmente solubles á todas las temperaturas, pero generalmente se puede decir que el calor favorece la disolución; el agua, por ejemplo, disuelve una cantidad mayor de salitre á los 100° que á los 20°.

**7. Saturación.**—Un líquido, el agua por ejemplo, no puede disolver una cantidad ilimitada de un cuerpo; cuando el líquido ha disuelto todo lo que puede, se dice que está *saturado* de dicho cuerpo.

**8. Disolución de los gases y de los líquidos.**—1.º Se da también el nombre de disolución al fenómeno que consiste en hacer absorber un gas por un líquido. Así el agua de Vichy es una disolución de anhídrido carbónico.

Bajo una presión constante, la cantidad de gas que puede disolver un líquido disminuye cuando aumenta la temperatura. Así, bajo la presión ordinaria y á 15° centígrados, el agua disuelve 600 veces su volumen de gas amoníaco, mientras que lo disuelve más de 1000 veces á la temperatura de 0°. Basta calentar una disolución gaseosa para echar fuera todo el gas que contenga.

A una temperatura dada, la cantidad de gas disuelto aumenta con la presión.

2.º La mezcla de dos líquidos se llama también á veces disolución. Así se dice que el sulfuro de carbono es insoluble en el agua pero soluble en el éter; que la esencia de trementina disuelve los aceites.

**9. Mezclas frigoríficas.**—Ciertas sales al disolverse en un líquido absorben calor; las disoluciones de estas sales se llaman *mezclas frigoríficas*.

Las más empleadas se hacen con hielo ó nieve y sal marina. Una parte de sal marina y dos de nieve ó hielo dan un frío de 21°; 4 partes de hielo y una parte de ácido sulfúrico hacen bajar la temperatura hasta —20°; una mezcla de anhídrido carbónico sólido y de éter hace bajar hasta —110°.

**10. Congelador de las familias.**—El *congelador de las familias* (fig. 91), se compone de dos vasos excéntricos; en el vaso interior se pone el agua ó el líquido que se quiere congelar, en el vaso exterior una mezcla de tres partes de sulfato de sodio y dos de ácido clorhídrico. Basta entonces remover con una manija la mezcla frigorífica.

para determinar la congelación del líquido que está en el vaso central.

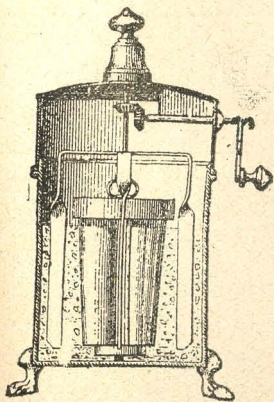


Fig. 91.—Congelador.

**10. Cristalización.** — La cristalización es la propiedad que poseen muchos cuerpos de tomar formas geométricas al pasar del estado líquido al sólido. Para determinar la cristalización, basta generalmente exponer la disolución al aire libre sobre una grande superficie. Ej.: salinas, plato lleno de agua salada.

Se puede activar la cristalización calentando la disolución: una parte del líquido se evapora y la otra se satura de más en más hasta que se depositan los cristales sólidos.

**CUESTIONARIO.**—¿Qué es fusión?—¿Cómo se llaman los cuerpos que no se funden?—¿Cuál es la primera ley de la fusión? la segunda?—¿Qué se llama rehielo?—¿Qué se llama solidificación?—¿Cuáles son sus leyes?—¿Qué efectos mecánicos produce el hielo?—¿Qué se entiende cuando se dice que el agua está en su máximo de densidad?—¿Qué se llama disolución?—¿Cuándo está saturado un líquido?—¿Por qué las mezclas frigoríficas enfrían los cuerpos?—¿Qué es cristalización?

## CAPÍTULO V

**Formación de los vapores.—Evaporación**

## § I.—FORMACIÓN DE LOS VAPORES

1. **Definición.**—*La vaporización es el paso de un cuerpo líquido al estado gaseoso.*

Este fenómeno toma diversos nombres según las circunstancias en las cuales se producen. Se le da el nombre de *evaporación* cuando el vapor se forma sólo en la superficie del líquido á la temperatura ordinaria. Se la llama *ebullición* cuando el vapor se produce sobre las paredes calentadas del vaso, bajo la forma de burbujas que se elevan al través del líquido y van á estallar á la superficie.

2. **Formación de los vapores en el vacío.**—Cuando se introduce una gota de algún líquido en la cámara barométrica, se nota que el líquido se evapora instantáneamente y que el nivel del mercurio baja en seguida.

Se puede formular la ley siguiente: *En el vacío un líquido se vaporiza instantáneamente, y ese vapor ejerce una tensión como un gas.*

La tensión del vapor se valúa ordinariamente por medio de la depresión barométrica.

3. **Máximo de tensión.**—La tensión del vapor no aumenta siempre; cuando el espacio vacío está *saturado*, el cuerpo no da más vapor y queda un exceso de líquido arriba del mercurio (fig. 92).

En ese momento el vapor tiene una *tensión* ó *fuerza elástica máxima* que no puede traspasar si la tempera-

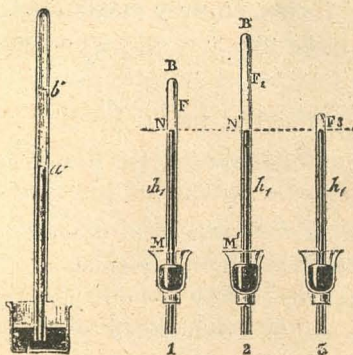


Fig. 92.—Maximum de tensión

tura queda la misma. Se dice entonces que el vapor es *saturante*. Pero si se calienta el tubo, el líquido sigue dando vapores y la tensión aumenta. La tensión máxima depende, pues, de la temperatura.

Esta tensión no es la misma para todos los vapores. Si se disponen tres tubos barométricos y que se introduzca *agua* en uno, *alcohol* en el otro y *éter* en el tercero, se nota que la fuerza elástica del vapor del éter es mayor que la del alcohol, y ésta mayor que la del agua.

De un modo general, mientras más volátil es el líquido, más grande es la presión de su vapor.

## § II.—EVAPORACIÓN

**3. Definición.**—*La evaporación es la transformación de un líquido en vapor á la temperatura ordinaria.*

Un líquido se evapora tanto más rápidamente cuanto más volátil es. El agua es menos volátil que el alcohol, y éste menos que el éter.

Si el vapor se forma en un espacio indefinido, la evaporación sigue hasta que todo el líquido se haya evaporado; pero si el espacio es limitado, la evaporación cesa cuando el ambiente está saturado de vapor.

**4. Causas que favorecen la evaporación.** — Esas causas son:

1.º *La extensión de la superficie del líquido.* La evaporación, produciéndose sólo en la superficie, es tanto más rápida cuanto mayor es ésta. Se utiliza esa propiedad en las marismas y en los edificios de graduación para la extracción de la sal.

2.º *La elevación de la temperatura.* Los tejidos y el papel se enjugan por medio de cilindros calentados interiormente por una corriente de vapor de agua.

3.º *La agitación del aire,* que remueve las capas ya saturadas. Un viento seco y cálido enjuga pronto la ropa.

4.º *La disminución de presión.* Un líquido se evapora tanto más rápidamente cuanto menor sea la presión que soporta su superficie.

5.º *El estado de sequía ó de humedad del aire.* La ropa mojada se seca difícilmente en un tiempo húmedo. La transpiración cutánea es muy abundante cuando está seca la atmósfera y casi nula en los días fríos y húmedos.

Es de notar que el vapor de agua atmosférico sólo influye sobre la evaporación del agua y no sobre la de cualquier otro líquido; el éter, el sulfuro de carbono, por

ejemplo, se evaporan tan fácilmente en un tiempo húmedo como en un tiempo seco.

**5. La evaporación enfría los cuerpos.**—Un cuerpo al evaporarse toma el calor de los cuerpos vecinos.

El *experimento de Leslie* que demuestra este hecho consiste en colocar bajo el recipiente de la máquina neumática una cápsula de corcho cubierto con negro de humo, en la que se haya vertido un poco de agua, y puesta encima de un vaso que contenga ácido sulfúrico (fig. 93). Cuando se hace el vacío, al paso que va disminuyendo la presión, la evaporación se verifica y el frío producido basta para congelar lo que queda del agua no evaporada.

El ácido sulfúrico tiene por objeto absorber el vapor de agua que se forma, é impedir así la saturación del espacio limitado del recipiente.

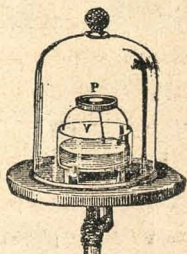


Fig. 93.—Congelación del agua en el vacío

*Aplicaciones.*—Las vasijas porosas llamadas *alcarrazas* conservan fresca el agua durante el verano, porque el líquido que sale al través de sus paredes se evapora en el aire, tomando calor del vaso y del agua.

Cuando suda el cuerpo, hay que evitar las corrientes de aire, porque producirían un enfriamiento súbito por la evaporación rápida del sudor, pudiendo ejercer una influencia nociva en el aparato respiratorio. Para precaverse contra dichos inconvenientes, se usan vestidos de franela.

El *aparato de Carré* (fig. 94) que sirve para la producción artificial del hielo es una aplicación del experimento de Leslie.

Una palanca  $L$  (fig. 94) hace mover el pistón de una máquina neumática de un sólo cilindro  $P$  que hace el va-

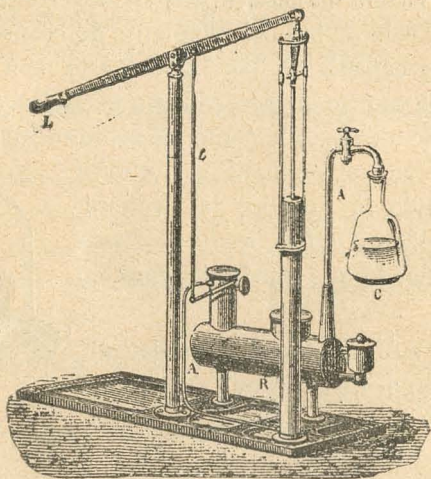


Fig. 94.—Producción del hielo por evaporación del agua (aparato de Carré).

cío en una garrafa  $C$  la cual contiene agua y está fija en el conducto  $A$ . Un recipiente de plomo  $R$  contiene ácido sulfúrico que remueve la palanca  $A$  y cuyo objeto es absorber el vapor de agua que se produce. Cuando la presión es suficientemente baja, el agua de la garrafa entra en ebullición y no tarda en congelarse.

El señor Carré ha ideado otro aparato llamado *aparato de gas amoníaco* que se compone de un depósito de paredes sólidas en que se halla una disolución acuosa de gas

amoníaco *A* (fig. 95). Ese depósito comunica con un recipiente *C* herméticamente cerrado que tiene la forma de un manguito; en su centro se puede colocar un vaso *E* en que está el líquido que se quiere congelar.

Cuando se calienta la disolución *A*, se desprende el gas amoníaco de la disolución y viene á liquidarse en el recipiente *C*; después cuando se deja de calentar, ese gas liquidado se evapora rápidamente para disolverse en el agua de *A*, produciendo un frío considerable que determinará la congelación del líquido puesto en el vaso central.

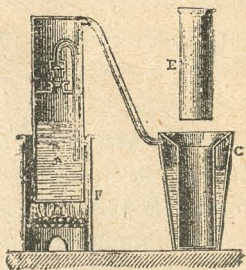


Fig. 95.—Producción del hielo por evaporación del amoníaco

CUESTIONARIO.—¿Qué sucede cuando se introduce una gota de algún líquido en la cámara barométrica?—¿La depresión mercurial aumenta siempre que se introduzca nuevas gotas de líquido?—¿Depende de la temperatura esa depresión?—¿Para una temperatura igual varía la depresión según la naturaleza del líquido?—¿Cómo se verifica?—¿Cuándo se dice que el vapor es saturante?—¿Con qué experimento se demuestra que, para una temperatura dada, un vapor saturante tiene una tensión invariable?—¿Qué es la evaporación?—¿La evaporación de un líquido se verifica indefinidamente?—¿Qué causas favorecen la evaporación?—Dar aplicaciones—¿En qué consiste el experimento de Leslie?—¿Qué cosa prueba?—Describir los dos aparatos de Carré para la fabricación del hielo.

## CAPÍTULO VI

**Ebullición**

1. **Definición.**—*La ebullición es la transformación rápida de un líquido en vapor bajo la influencia del calor, formando burbujas que agitan la masa del líquido.*

Este fenómeno, cualquiera que sea el líquido que lo presenta, está sometido á las tres leyes siguientes:

1.<sup>a</sup> *Un líquido sometido á presiones iguales hierve siempre á la misma temperatura.*

2.<sup>a</sup> *La temperatura de un líquido queda constante mientras dura la ebullición.*

3.<sup>a</sup> *Un líquido hierve cuando la fuerza elástica de un vapor es igual á la presión que soporta.*

Muchas causas pueden hacer que varíe la temperatura á la cual se efectúa la ebullición:

1.<sup>a</sup> *La naturaleza del líquido.*—La temperatura de ebullición no es la misma para todos los líquidos. Así, el agua hierve bajo la presión de 0m., 76 á 100°; el alcohol á 79°; el éter ordinario á 35,° 5; el mercurio á 350°.

2.<sup>a</sup> *La naturaleza del vaso.*—En un globo de vidrio, el agua hierve á una temperatura más elevada que en un vaso metálico. Así, cuando la superficie interior del globo de vidrio está bien pulimentada, la temperatura de la ebullición del agua puede elevarse á 101, 102, 103 y hasta 106°.

3.<sup>a</sup> *Las sustancias disueltas.*—Las sustancias disueltas en el agua, cuando no son volátiles por sí mismas, retardan la ebullición. Así, el agua saturada de sal marina

no hierve sino á  $109^{\circ}$ ; la de nitrato de potasa, á  $116^{\circ}$ ; la de carbonato de potasa, á  $135^{\circ}$ ; de cloruro de calcio, á  $179^{\circ}$ .

4.<sup>a</sup> *La presión exterior.* — Hemos visto que la fuerza elástica del vapor producida por un líquido que hierve debe ser igual á la presión que se ejerce sobre la superficie del líquido. Este, para entrar en ebullición, se calentará tanto menos cuanto más pequeña sea la presión exterior. Así al nivel de los mares, y bajo la presión de 0m., 76, el agua hierve á  $100^{\circ}$ , pero en la cima de las montañas donde la presión es menor, hierve á una temperatura más baja. Sobre el monte Blanco, por ejemplo, la temperatura de ebullición del agua es sólo de  $84^{\circ}$ . Bajo el recipiente de una máquina neumática en la que se rarifica el aire, el agua puede hervir á la temperatura ordinaria.

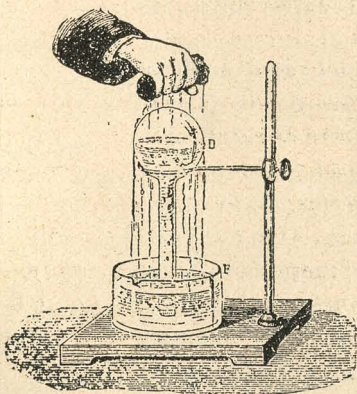


Fig. 96.—Experimento de Franklin.

2. **Experimento de Franklin.** — Se puede obtener el mismo resultado del modo siguiente: se toma un matraz de vidrio *B* (fig. 96) en el cual se hace hervir agua durante algunos minutos. Cuando el vapor ha arrastrado consigo

todo el aire del globo, se tapa éste herméticamente y se lo invierte, haciendo que el extremo del cuello se sumerja en un vaso *E* que contenga agua. El líquido cesa entonces de hervir; pero si se vierte agua fría sobre el globo así invertido, como el vapor que está sobre el líquido se condensa en parte, su presión disminuye, y se ve en seguida producirse una viva ebullición en la masa de agua caliente que contiene el globo.

Recíprocamente si la presión aumenta en lugar de disminuir, la ebullición sufre un retardo. Así es que en el agua, por ejemplo, aquel fenómeno no se verifica hasta los  $121^{\circ}$ , cuando la presión es de dos atmósferas. He ahí el porqué en un vaso profundo las capas inferiores de un líquido que hierve están siempre á una temperatura más elevada que las capas superiores.

### 3. Presión del vapor de agua

**hirviente.**—*Cuando un líquido hierve al aire libre, la fuerza elástica de su vapor es igual á la presión atmosférica.* Se lo ve por medio del tubito *A'* (fig. 97), semejante al del manómetro trun-

cado de la máquina neumática. Se introduce un poco de agua en la parte superior de la rama cerrada y se lo coloca en el vapor del agua hirviendo. El agua del tubo entra en ebullición, y la tensión del vapor hace bajar el mercurio en la rama cerrada, hasta que los niveles tengan la misma altura en las dos

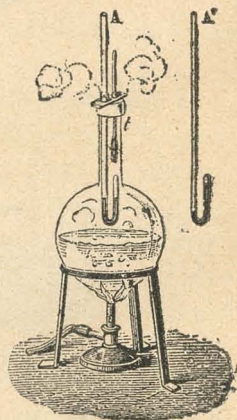


Fig. 97.—Presión del vapor de agua hirviendo

ramas; lo cual prueba que el vapor aprisionado en la rama cerrada ejerce en la superficie del mercurio una presión igual á la que soporta el nivel del mercurio en la rama abierta, es decir, igual á la presión atmosférica.

El agua de los depósitos de las máquinas de vapor no entra en ebullición aunque su temperatura pase de 100°, por causa de la presión que el vapor ejerce en su superficie.

4. **Baño de María.**—La constancia de la temperatura durante todo el tiempo de la ebullición se utiliza en la calefacción por el *baño de María*. Para mantener constante la temperatura de un líquido, basta sumergir el vaso que lo contiene, en otro líquido convenientemente elegido que se mantiene en ebullición.

5. **Destilación.**—La destilación es una operación por la cual se reduce un líquido á vapor por medio del calor, para hacerlo volver en seguida al estado líquido por medio del enfriamiento.

Esta operación tiene por objeto purificar los líquidos, separándolos de las sustancias diferentes que contengan en disolución. Se destila el agua para obtenerla pura; el vino, para extraerle el alcohol; la madera, para obtener el espíritu y el vinagre de madera; la hulla, para obtener gas de alumbrado.

Cuando se somete á la destilación una mezcla de varios líquidos, éstos se evaporan por orden de temperatura de vaporización; por lo tanto se puede separar el alcohol del agua que contiene el vino.

6. **Alambique.**—El alambique, (fig. 98) que sirve particularmente para la destilación del agua y del alcohol, se compone esencialmente de una *caldera* ó *cucúrbita* *A*, de un *capitel* *B* y de un serpentín *S*, enfriado en un vaso *E* lleno de agua fría (*refrigerante*); un tubo *F* con-

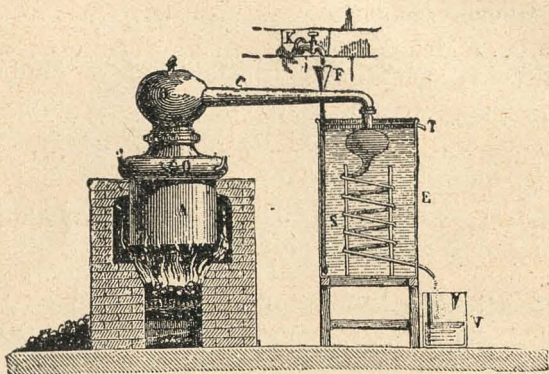


Fig. 98.—Alambique

duce el agua fría al fondo del refrigerante; otro tubo *T* da salida al agua caliente que viene á la parte superior del aparato.

CUESTIONARIO.—¿Qué es ebullición?—¿Cuáles son sus leyes?—¿Cuál es la influencia de la presión sobre la temperatura de la ebullición?—Describir el experimento del globo de Franklin.—¿A qué es igual la fuerza elástica del vapor de un líquido que hierve al aire libre?—¿Qué causas modifican el punto de ebullición?—¿Qué es un baño de María?—¿Para qué sirve el alambique?—¿Qué es destilación?—¿Cuáles son las diferentes partes del alambique?

## CAPÍTULO VII

## Máquina de vapor

1. **Empleo del vapor.** — A principios del siglo XVII, Salomón de Caus, ingeniero francés, que había observado la fuerza expansiva ó elástica del vapor, tuvo antes que nadie la idea de emplearla como *fuerza motora*. Algo más tarde, Papin, ingeniero francés también, indicó la construcción de esas máquinas en que el vapor, regularizado y sometido al imperio del hombre, obedece á los más sencillos movimientos de su mano. No es necesario recordar cuan inmensos servicios presta hoy ese hermoso descubrimiento.

2. **Tensión del vapor.**—*Marmita de Papin.*—Cuando se calienta el agua en un vaso completamente cerrado, el vapor adquiere pronto una fuerza elástica que crece rápidamente al paso que aumenta la temperatura.

La *marmita de Papin*, tiene por objeto hacer evidente este fenómeno.

El aparato (fig. 99) se compone de un vaso cilíndrico de paredes gruesas, provisto de una tapadera del mismo metal, que pueda adaptarse perfectamente al primero por medio de un tornillo de presión. La tapadera tiene un orificio al cual se adapta perfectamente un disco metálico. Una palanca, movable en su extremo, ejerce

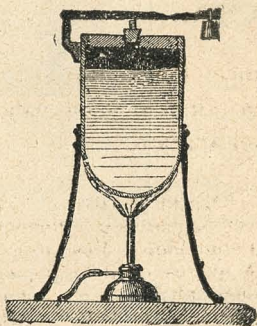


Fig. 99.—Marmita de Papin.

en su extremo, ejerce

presión sobre el disco obturador, con una fuerza, tanto más grande cuanto más cerca de la extremidad libre se encuentre un peso cuya posición puede variar á voluntad.

Para hacer funcionar la marmita de Papin, se la llena de agua en sus dos terceras partes, y después de haberla cerrado, se la coloca sobre un hornillo. El líquido pasa muy pronto de  $100^{\circ}$ , y se calienta tanto más cuanto más cargada está la válvula. La temperatura podrá elevarse á  $135^{\circ}$  si la carga de la válvula corresponde á una tensión de 3 atmósferas; si es de 6 atmósferas, subirá hasta  $160^{\circ}$ . Si se abre entonces la válvula, una columna de vapor se escapa con ruido y se eleva á una gran altura.

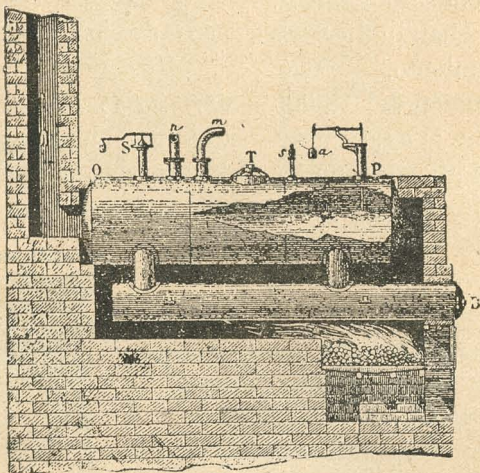


Fig. 100.—GENERADOR DEL VAPOR.

*B*, hervidores; *E*, flotador unido con la señal de alarma; *P*, flotador que indica el nivel del agua en la caldera; *S*, válvula de seguridad; *t*, abertura por donde se pasa para limpiar el generador; *m*, toma del vapor; *n*, tubo que trae el agua de alimentación del generador.

**3. Máquinas de vapor.** — Las *máquinas de vapor* son aparatos en que se utiliza como fuerza motriz, la tensión

del vapor de agua. Toda máquina de vapor consta esencialmente de un *generador* ó *caldera* y de un *aparato motor*.

**4. Generador.**—El *generador* (fig. 100) por lo general es un cilindro horizontal que contiene agua y está colocado encima de un fogón. Comunica generalmente por medio de cuatro gruesos tubos con dos cilindros *B* (*hervidores*), en contacto directo con la llama.

Cuando el gasto del vapor ha de ser considerable, la caldera está atravesada por una serie de tubos paralelos á su eje, por los cuales el calor del fogón debe pasar para llegar á la chimenea (*caldera tubular*). Así se aumenta considerablemente la superficie de calefacción.

Una *bomba de alimentación* introduce en la caldera, cuando es necesario, la cantidad de agua destinada á reemplazar la que desaparece con la vaporización. En muchos generadores, se emplea un inyector particular (*inyector de Giffard*), mediante el cual la caldera se alimenta automáticamente.

**5. Aparatos de seguridad.**—El generador lleva varios aparatos de seguridad:

1.º Unas *valvulas* ó aberturas cerradas con una palanca provista de un contrapeso ó un resorte. La tensión del resorte ó la masa del contrapeso se ha estudiado de tal modo, que el vapor pueda levantar la palanca y escaparse libremente cuando su fuerza elástica llega á un punto pasado el cual podrían producirse accidentes.

2.º Un *manómetro metálico* que indica el valor de la presión interior del generador.

3. Un *flotador* que hace subir ó bajar un pequeño contrapeso según el agua baja ó sube en la caldera, indicando así la altura de su nivel.

4.º Un *nivel de agua* formado de un tubo vertical de vidrio, de paredes resistentes, que comunica con la caldera en su parte inferior. El nivel del agua en el tubo corresponde exactamente al de la caldera.

6. **Aparato motor.**—El aparato motor se compone de un cilindro en que se mueve un pistón macizo, y de un mecanismo que le trae el vapor de la caldera. Al pene-

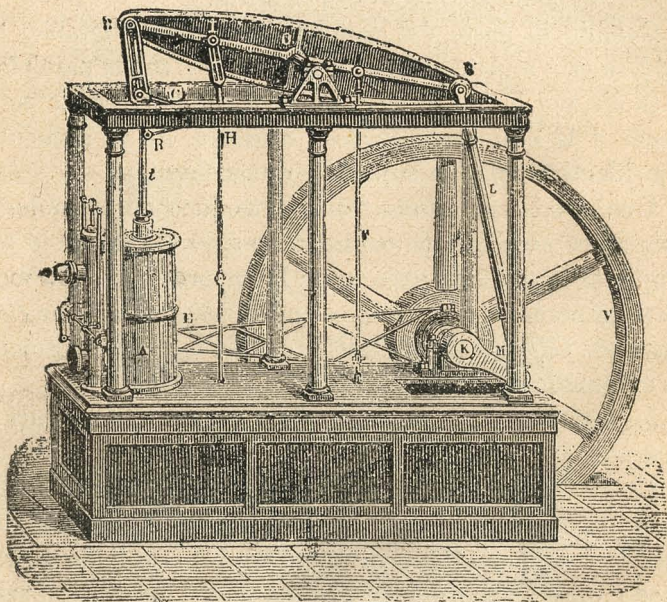


Fig. 101.—Aparato-motor

A, cilindro en que entra el vapor; *a t*, varilla del pistón; B B', balancín, L, biela; M, manija; K, árbol; V, bomba; F, bomba de agua fría

trar en el cilindro alternativamente por un extremo y por el otro, el vapor imprime al pistón, un movimiento de vaivén rectilíneo, el cual, por medio de bielas y ruedas, se puede transmitir y transformar.

7. **Condensador.**—La fuerza que empuja el pistón en el cilindro es igual á la diferencia de las presiones que se ejercen en sus dos caras. Cuando el vapor sale libremente del cilindro, la cara en que acaba de obrar soporta á lo menos la presión atmosférica; hay ventajas en disminuirla. Se lo alcanza haciendo llegar ese vapor á un espacio cerrado donde se condensa rápidamente bajo la influencia de una lluvia de agua fría, y produce así un vacío parcial que favorece la acción del vapor en la otra cara del pistón. El agua del *condensador* calentada por el vapor que en ella viene á condensarse, sirve para alimentar la máquina.

8. **Expansión.**—Watt fué el primero que tuvo la idea de no dejar que llegara el vapor de la caldera al cilindro, sino *durante una parte del trayecto del pistón*.

En un momento dado, cuando el pistón ha recorrido tan sólo  $\frac{1}{5}$  ó  $\frac{1}{10}$  de su carrera, el tubo de llegada se encuentra cerrado; y el vapor que ha entrado en el cilindro sigue moviéndolo en virtud de su *expansión*. Resulta economía de vapor.

9. **Máquinas de alta y máquinas de baja presión.**—Se llaman máquinas *de alta presión* aquellas en que la tensión del vapor pasa de 5 atmósferas, y máquinas *de baja presión* aquellas en que no llega á 2 atmósferas. Las máquinas *de media presión* son aquellas en que la tensión está comprendida entre dos y cinco atmósferas.

El poder de una máquina no depende sólo de la tensión del vapor, sino también de la superficie del pistón; por eso una máquina de baja presión puede ser más poderosa que una máquina de alta presión, si su pistón tiene una superficie bastante grande.

10. **Locomotora.**—Una *locomotora* es una máquina de alta presión, con dos cilindros y colocada sobre ruedas, (fig. 102). Las varillas de los pistones impulsan dos ruedas (*ruedas motrices*), de modo que la máquina se mueve de por sí sobre los rieles que la guían.

11. **Trabajo de las máquinas.**—La unidad de trabajo es el kilográmetro; pero para las máquinas de vapor, se adopta generalmente otra unidad de trabajo, el *caballo de vapor*.

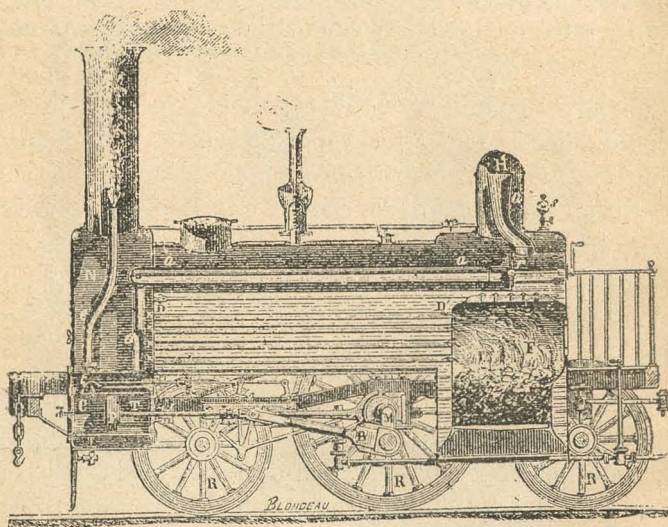


Fig. 102.—Locomotora

*a, a, a, a*, recipiente del vapor; *B*, biela; *c*, cilindro; *D, D'* caldera tubular; *e*, tubo de salida; *F*, fogón; *H*, toma del vapor; *N*, caja de humo; *P*, pistón; *R, R* ruedas; *r*, llave para tomar el vapor; *s*, pito; *T*, caja de distribución y su varilla.

Se llama *caballo de vapor* un trabajo de 75 kilográmetros por segundo.

Una máquina de 10 caballos de vapor puede producir  $75 \times 10 = 750$  kilográmetros por segundo, es decir, el trabajo necesario para levantar 750 kg. á un metro de altura. El caballo de vapor vale el trabajo de más de 5 caballos ordinarios.

CUESTIONARIO.—¿Cuál es el empleo del vapor?—¿En qué consiste la marmita de Papin?—¿Cuáles son los principios de una máquina de vapor?—¿Qué sucede cuando se calienta agua en un vaso cerrado?—¿Qué es un generador?—¿Qué es una caldera tubular?—¿Qué ventaja ofrece sobre las calderas de hervidores?—¿Para qué sirven las válvulas?—¿Cómo funcionan?—¿Cómo están dispuestos los aparatos que indican el nivel del agua en la caldera?—¿Cómo se reemplaza el agua que se vaporiza?—Describir el cilindro.—¿En qué consiste la expansión?—¿Qué ventaja presenta?—¿Qué se llaman máquinas de alta y máquinas de baja presión?—¿Qué es el condensador?—¿Qué es una locomotora?—¿Cuál es la unidad de trabajo en las máquinas?—Definirla.

## CAPÍTULO VIII

### Higrometría

1. **Objeto de la Higrometría.**—*La higrometría estudia el estado de sequía ó de humedad de la atmósfera.*

Cuando el aire está saturado de vapor, cualquier descenso de temperatura ó aumento de presión determina la condensación de una parte del vapor.

En general no está seco del todo el aire; se lo observa cuando se exponen al aire *substancias higroscópicas*, es decir, capaces de absorber el vapor de agua. Por ejemplo, si equilibramos en una balanza un plato con sal de cocina, ó mejor, potasa cáustica, pronto veremos esas

substancias impregnarse de agua tomada de la atmósfera, y el equilibrio quedará vencido á favor del platillo que contiene esas substancias.

**2. Estado higrométrico.**—*Se llama estado higrométrico del aire, la relación de la tensión actual  $f$  del vapor de agua con la tensión máxima  $F$  que corresponde á la misma temperatura.*

$$e = \frac{f}{F}$$

También se puede definir el estado higrométrico, la relación entre el peso  $p$  del vapor de agua contenido en un volumen dado de aire, y el peso  $P$  que ese mismo volumen contuviera si estuviera saturado á la misma temperatura.

Las tablas de tensión dan  $F$ ; para obtener el estado higrométrico basta, pues, determinar  $f$ . El estado higrométrico depende no sólo de la cantidad absoluta del vapor de agua que contiene el aire, sino también de la temperatura.

**3. Higroscopios.**—Los *higroscopios* son unos instrumentos que indican aproximadamente el estado de sequía ó de humedad del aire; se fundan en la propiedad que tienen las cuerdas y los intestinos torcidos, de destorcerse bajo la influencia de la humedad.

**4. Higrómetros.**—Se llaman *higrómetros* unos instrumentos que sirven para determinar el estado higrométrico del aire. Los principales higrómetros son: el *higrómetro de cabello* ó de *Saussure*, el *higrómetro químico* y los *higrómetros de condensación*.

El *higrómetro de Saussure* (fig. 103) se compone de un cabello cuidadosamente desgrasado fijo en *a*, enroscado en la garganta de una polea *b*, y tendido por un peso pequeño *c*. El alargamiento ó la reducción del cabello bajo la influencia de la humedad ó de la sequedad del aire produce el desplazamiento de una aguja delante de un cuadrante. El cero de la graduación corresponde á la sequedad absoluta, el  $100^{\circ}$  á la saturación. Se lo gradúa del modo siguiente:

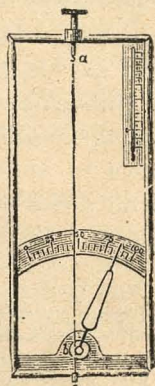


Fig. 103.—El higrómetro de Saussure.

Para obtener el punto  $0^{\circ}$  ó de sequedad absoluta, se coloca el instrumento debajo de una campana, junto con otro vaso pequeño que contenga ácido sulfúrico concentrado, destinado á absorber todo el vapor de agua. El punto  $100^{\circ}$ , ó de humedad extrema, se obtiene reemplazando el ácido sulfúrico por agua y remojando las paredes interiores de la campana. Se divide después en 100 partes iguales el arco comprendido entre  $0^{\circ}$  y  $100^{\circ}$ .

El *higrómetro químico* comprende un aspirador de unos quince litros, y unos tubos secantes los cuales, pesados antes y después de la operación, dan el peso del vapor de agua contenido en el aire que los atravesó. Se deduce después la tensión *f* de dicho vapor; las tablas dan *F*.

Los *higrómetros de condensación* tienen por objeto enfriar una pequeña porción del aire que se estudia, de modo que sea saturante el vapor de agua que contienen, lo que se reconoce cuando se depositan gotitas de rocío en la parte enfriada. El más conocido es el *de Daniell*, que se compone de un globo de vidrio *A* que contiene éter

en el cual se sumerge un termómetro, y de otro globo de vidrio *P*, envuelto en gasa humedecida con éter que, al vaporizarse, enfría dicho globo. Los dos globos comunican entre sí por medio de un tubo.

El éter de *A* se destila hacia *B* y enfría *A*. Pronto se deposita en la superficie del vidrio un tenue rocío. Se nota la temperatura interior; es el *punto de rocío*. Después se busca en las tablas, la tensión maximum *f* correspondiente á esta temperatura; la temperatura exterior señalada por el termómetro da *F*.

CUESTIONARIO.—¿Cuál es el objeto de la higrometría?—¿Qué se llaman substancias higroscópicas?—¿Qué es el estado higrométrico?—¿Qué se llaman higroscopios ó higrómetros?—Describir el higrómetro de Saussure y decir cómo se gradúa.—¿Qué comprende el higrómetro químico?—¿De qué se compone el higrómetro de Daniell?—Explíquese su uso.

---

## CAPÍTULO IX

### Climatología y Meteorología

1. **Climas.**—*Clima* de un país es el conjunto de las condiciones atmosféricas que le son características: temperatura, humedad, vientos, presión atmosférica.

*Clima constante* es aquel cuya variación de temperatura entre el verano y el invierno no pasa de 8° (centígrados), por ej.: los marítimos y los insulares.

*Clima excesivo* es aquél cuya diferencia entre las temperaturas extremas de verano é invierno, es de 30 ó más grados, por ej.: el de Nueva York, de Pekín.

2. **Temperatura media.**—Temperatura media de un día es el cociente por 24, de 24 observaciones hechas de hora en hora: es más ó menos igual á la media aritmética de la temperatura máxima y mínima del día y de la noche. La temperatura media de un año se obtiene, haciendo la suma de las temperaturas medias de todos los días del año, y dividiendo esta suma por el número de ellas.

3. **Causas que influyen en la temperatura.**—1.º *La latitud.* La temperatura media disminuye del Ecuador á los polos. Esa disminución proviene en gran parte de la oblicuidad de los rayos solares.

2.º *La altitud* produce una disminución media de 1.º centígrado por 180 metros de elevación; á una cierta altura la temperatura es siempre inferior á cero, siendo esta la causa de las nieves perpetuas cuyo límite varía según la latitud; en el Aconcagua, por ej.: el límite se halla á 4.500 mts.; en las montañas del Ecuador á 4.800 mts.; en los Pirineos y los Alpes, á 2.700 mts., etc.

3. *La dirección de los vientos.* Los vientos fríos vienen de los polos y los vientos templados y cálidos, del Ecuador.

4.º *La proximidad al mar*, que uniforma la temperatura.

4. **Meteorología.**—La meteorología estudia los fenómenos atmosféricos y las causas que los producen.

*Meteoro* es cualquier fenómeno que se produce en la atmósfera. Los principales meteoros son: los *vientos*, las *nubes*, la *lluvia*, el *rocío*.

5. **Vientos.**—Los vientos son corrientes aéreas que resultan de la diferencia de densidad, consecuencia de la diferencia de temperatura, en algunas porciones de la masa atmosférica. Se observan por medio de las veletas

mejor es, sin embargo, observar la dirección de las nubes que indican las corrientes superiores. Para determinar la velocidad del viento, se hace uso del *anemómetro*, especie de molinillo que da un número de vueltas en relación con la velocidad del viento.

Los *alisios* soplan regularmente en la zona tórrida, de los polos hacia el Ecuador y oblicuando por efecto de la rotación de la tierra.

Los *monzones* soplan en el Océano Índico y las comarcas adyacentes, seis meses en una dirección y otros seis en dirección opuesta. Los dos principales son el monzón de la primavera que sopla de Abril á Octubre, y el monzón de otoño que dura desde Octubre hasta Abril.

En Santiago, los vientos reinantes son: el del *norte*, húmedo y caliente, que trae las lluvias en invierno; el del *sur* ó *suroeste*, seco y frío, que disuelve la humedad atmosférica y despeja las nubes; el de *travesía*, que corre en el día de poniente á oriente desde las 9 A. M. á las 5 P. M., y el de *cordillera* ó *puelche*, en sentido contrario, desde las 10 P. M. á las 6 A. M., dejando dos períodos de calma, entre las 6 y las 9 A. M. y entre las 5 y 9 P. M.

*Ciclón* es una masa de aire que abarca un espacio indeterminado y está animada de los movimientos de rotación y de translación.

*Tromba* es una enorme cantidad de vapor de agua que tiene movimientos violentos y arrasa cuanto encuentra á su paso.

Los *aguaceros* y las *tempestades* resultan de las variaciones rápidas de la presión atmosférica que producen vientos violentos, generalmente acompañados de relámpagos, rayos y lluvia de corta duración.

6. **Nubes.**—Las *nubes* son formadas por gotitas de

agua suspendidas en la atmósfera; provienen de la condensación del vapor en las regiones elevadas, húmedas y frías.

Respecto á su forma, se distinguen los *estratos*, los *cirros*, los *cúmulos* y los *nimbos*.

Los *estratos* son nubes horizontales sobrepuestas y angostas en apariencia, que se forman generalmente á la caída del sol; por la tarde, anuncian buen tiempo para el día siguiente, y por la mañana, lluvia para el día.

Los *cúmulos* son nubes redondeadas, amontonadas y de forma regular; cuando en la tarde van acompañadas de cirros en su parte superior, anuncian lluvia ó tempestad; se hallan á 2 ó 3 km. en la atmósfera.

Los *cirros*, nubes blancas, pequeñas y muy delgadas, son de ordinario el presagio de un cambio atmosférico; están situadas á unos 9 ó 10 km. de altura en la atmósfera.

Los *nimbos*, masas sombrías y diformes, son nubes de lluvia que ocupan algunas veces una extensión considerable, y situadas á una distancia media entre los cúmulos y los nimbos.

Las *nieblas* son nubes que se forman en el suelo por la evaporización de la humedad terrestre.

**7. Lluvia.**—*Lluvia* es la caída continua, más ó menos rápida, de las gotitas de agua que provienen de la condensación de los vapores de la atmósfera, causada por un descenso de temperatura ó aumento de presión.

Cuando son muy finas las gotitas y caen después de la puesta del sol sin que se note nube alguna, la lluvia se llama *sereno*.

La cantidad de lluvia que cae anualmente en una comarca, tiene cierta influencia sobre el clima; se mide esa

cantidad de agua con el *pluviómetro* ó *udómetro* (fig. 104). En Santiago, cae anualmente una capa de agua de 0<sup>m</sup>, 419; en Buenos Aires, de 0<sup>m</sup>, 815; en la Habana, de 2<sup>m</sup>, 710; en París, de 0<sup>m</sup>, 560, y en Calcuta, de 2<sup>m</sup>, 230.

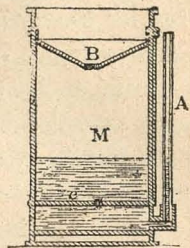


Fig. 104.—Pluviómetro.

8. **Rocío.**—Por la noche, los cuerpos se enfrían por radiación, más pronto que el aire ambiente; prodúcese en su superficie una condensación de vapor de agua, tanto más rápida cuanto mayor es su poder emisorio (enfriamiento); por lo cual se observa el rocío en los árboles, la tierra, la madera, el vidrio, etc., y no en los metales pulimentados. El enfriamiento, y por tanto, el rocío, aumenta con un cielo claro favorable á la radiación. Las nubes y los techos lo impiden, un viento ligero lo favorece, por renovar las capas de aire; un viento recio impide su formación.

9. **Nieve.**—La *nieve* es el resultado de la solidificación en la atmósfera de gotas de agua que dan origen á pequeños cristales; esos cristales reunidos forman los copos de nieve.

El *granizo*, formado de pequeñas agujas de hielo entremezcladas, es producido por la congelación de las gotas de lluvia en un aire agitado.

El *pedrisco* está formado por un núcleo central blanco, análogo al granizo, envuelto en una capa de hielo transparente. Los pedriscos empiezan á formarse á una altura superior á 10,000 mts. y una temperatura de  $-20^{\circ}$ ; al caer atraviesan nimbos muy fríos donde se envuelven de

capas de hielo concéntricas, alcanzando el tamaño de un puño.

CUESTIONARIO.—¿Qué se llama clima?—¿Qué nombres se dan á los climas según su temperatura?—¿Qué se llama temperatura media?—¿Qué causas influyen en la temperatura?—¿Qué es la meteorología?—¿Cómo se producen los vientos?—¿Cómo se observa la dirección del viento?—¿Cómo se determina su velocidad?—¿Qué vientos han recibido nombres especiales?—¿Qué es una tromba?—¿A qué son debidos los huracanes, los aguaceros?—¿De dónde provienen las nubes?—¿Cuáles son sus formas principales?—¿Qué son las nieblas?—¿Qué es la lluvia, el rocío?—¿Por qué no se forma el rocío sino en les sitios descubiertos?—¿Qué es la nieve, el granizo?—¿Cómo se forma un pedrisco?

---

# CUARTA PARTE

## ACÚSTICA

### CAPÍTULO I

#### Producción y propagación del sonido

1. **Objeto de la acústica.**—La *acústica es la parte de la física que estudia los sonidos.*

Se llama *sonido* la sensación producida en el oído por las vibraciones rápidas de un cuerpo elástico.

El *ruido* resulta de un conjunto de varios sonidos confusos que es difícil analizar; como el murmullo de las olas, la rodadura de los coches en el empedrado.

#### 2. Movimiento vibratorio.

—Un cuerpo *vibra* cuando oscila rápidamente al rededor de su posición de equilibrio.

Si se aprieta la extremidad de una lámina larga de acero en un tornillo (fig. 105), y después de apartarla de su posición de equilibrio, si se la abandona á sí misma, esta lámina ejecutará una serie de oscilaciones

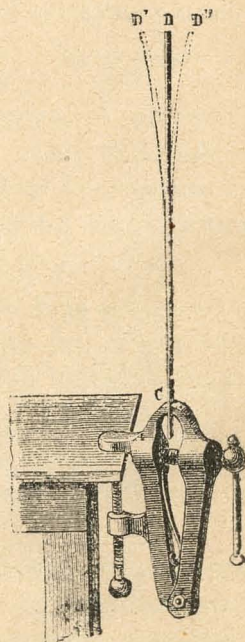


Fig. 105.—Vibración de una varilla elástica

rápidas. El ángulo que forman las dos posiciones extremas, se llama *amplitud de las vibraciones*. El movimiento de  $D'$  en  $D''$  se llama *vibración simple*; el paso de la varilla vibrante de  $D'$  en  $D''$  y su vuelta en  $D'$  se llama *vibración doble*.

**3. Producción del sonido.**—*El sonido resulta siempre de la vibración de un cuerpo elástico.* Si se frota un arco de violín (fig. 106) en el borde de una campana de vidrio, ésta da un sonido, y su movimiento vibratorio puede evidenciarse con los golpes pequeños y reiterados que

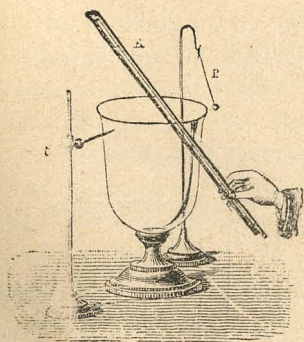


Fig. 106.—Vibración de una campana de vidrio

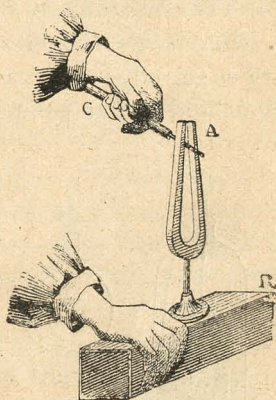


Fig. 107.—Diapasón

recibe al contacto de la campana una pequeña bola colgada de un hilo P.

Un golpe dado en un timbre, el frotamiento del arco de un violín sobre una cuerda tendida, el aleteo rápido de los insectos, originan movimientos vibratorios que se transforman en sonidos. Al puntear una cuerda tendida, se percibe un sonido mientras se la ve vibrar.

Notemos, sin embargo, que el movimiento vibratorio se percibirá en forma de sonido con tal que sea suficientemente rápido. Es imposible percibir un sonido cuando el cuerpo elástico da menos de 32 vibraciones por segundo.

Se llama *diapasón* (fig. 107) una varilla de acero acodillada en forma de pinzas. Se le hace vibrar por medio de un cilindro que se pasa rápidamente entre sus ramas; se refuerza el sonido obtenido con una cajita que se llama *resonador*.

**4. Transmisión del sonido.**—*El sonido se transmite en un medio elástico y no en el vacío.*

Si se introduce una campanilla en un globo, ó un timbre debajo de una campana (fig. 109) en que se hace el

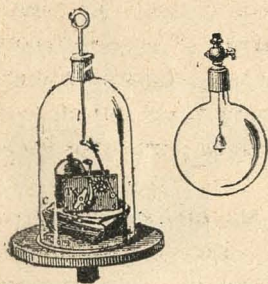


Fig. 108.—Producción del sonido en el vacío

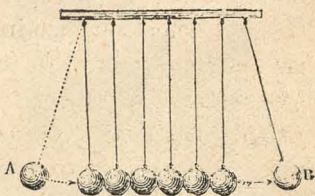


Fig. 109.—Transmisión del choque

vacío con la máquina neumática, se nota que el sonido disminuye á medida de la rarefacción del aire y acaba por ser imperceptible.

En un medio elástico, el movimiento vibratorio se transmite por el movimiento sucesivo de las moléculas. Se puede tener una idea de ese modo de propagación

por medio de una serie de bolas de marfil (fig. 109) colgadas de modo que sus centros estén en línea recta. Esas bolas nos representan una hilera de moléculas. Si se aparta la primera *A* de su posición de equilibrio, y que se la abandone después, va á dar en la segunda, la cual transmite su movimiento á la tercera, ésta á la cuarta y así sucesivamente, de modo que la última *B* está á la derecha, para volver sobre sí, y el fenómeno se reproducirá en sentido inverso.

En el movimiento de propagación del sonido, hay transmisión rápida del movimiento, pero no transporte de las moléculas; cada cual oscila en límites muy reducidos.

En el aire y los medios homogéneos, el sonido se propaga en todas direcciones al rededor del centro de vibración, con una rapidez que varía con el medio ambiente.

**5. Velocidad del sonido en el aire.**—El sonido recorre unos 340 metros por segundo á la temperatura ordinaria ( $12^{\circ}$ ); esa velocidad disminuye con la temperatura; no es más que de 331 m. á  $0^{\circ}$ . Es la misma para todos los sonidos, agudos y graves.

*Experimento del «Bureau des longitudes» entre Montlhéry y Villejuif, cerca de París.* — De cada estación de Montlhéry y Villejuif, se disparaba un cañonazo cada cinco minutos; la luz se transmitía instantáneamente y el sonido se oía cierto tiempo después de la aparición de la luz; dividiendo el espacio que dista entre Montlhéry y Villejuif (18,613 m.) por el tiempo que emplea el sonido para recorrer esa distancia (55 segundos), se encuentra unos 340<sup>m</sup> por segundo.

Para saber la distancia á que se halla una nube tempestuosa, basta multiplicar 340 m. por el número de se-

gundos que separa el relámpago del momento en que se oye el trueno.

**6. Velocidad del sonido en los líquidos y en los sólidos.**—En los *líquidos*, la velocidad del sonido es mayor que en el aire. En el agua á 8° (lago de Ginebra), es de 1435 m. por segundo.

En los *sólidos*, esa velocidad es aún mayor que en los líquidos. El experimento hecho en los hilos telegráficos de París á Versailles, dió 3485 m. por segundo.

**7. Reflexión del sonido.**—Cuando el sonido encuentra un obstáculo, se refleja, es decir, cambia de dirección. Las leyes de la reflexión del sonido son análogas á las de la reflexión del calor y de la luz.

1.º *El rayo sonoro incidente y el rayo reflejado están en un mismo plano perpendicular á la superficie reflectora.*

2.º *El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.*

Esta reflexión del sonido es la que produce los *ecos*.

**8. Eco.**—El *eco* es la repetición de un sonido que se refleja una ó más veces contra un obstáculo.

Un sonido emitido entre dos paredes paralelas se refleja varias veces. El eco disminuye de intensidad al paso que se va alejando. El eco se observa en los salones acústicos, en las grandes iglesias, debajo de las nubes, etc.

El centro sonoro ha de estar á 34 m. de la superficie reflectora para dar un eco monosilábico.

**CUESTIONARIO.**—¿Qué es la acústica?—¿Qué es el sonido?—¿Es un sonido el ruido?—¿Cuándo se dice que un cuerpo vibra?—¿Qué es la amplitud de una vibración?—¿Cómo uno puede producir un sonido?—¿Qué es un diapasón?—¿Se transmite en el vacío el sonido?—Explicad cómo se hace la transmisión del sonido, valiéndose del aparato de bolas de marfil.—¿Cómo se hizo para determinar la velocidad del sonido en el aire?—¿Cuáles son las leyes á que obedece un rayo sonoro al reflejarse?—Explicad el fenómeno del eco.

## CAPÍTULO II

## Cualidades del sonido

1. **Cualidades del sonido.** — Los sonidos se distinguen entre sí por la *elevación*, la *intensidad* y el *timbre*.

La *elevación* es la cualidad por la cual juzgamos que un sonido es grave ó agudo.

La *intensidad* de un sonido es la energía con que hiere el nervio acústico.

El *timbre* es la cualidad que distingue uno de otro dos sonidos de igual elevación é intensidad.

2. **Elevación.** — La elevación de un sonido depende del número de las vibraciones del cuerpo sonoro en un segundo; según el cuerpo vibre más ó menos rápidamente, produce sonidos agudos ó graves. Se determina el número de las vibraciones, ya por medio de un instrumento llamado *sirena*, ya por el *procedimiento gráfico*.

*Sirena de Cagniard-Latour.* — La sirena (fig. 110) se

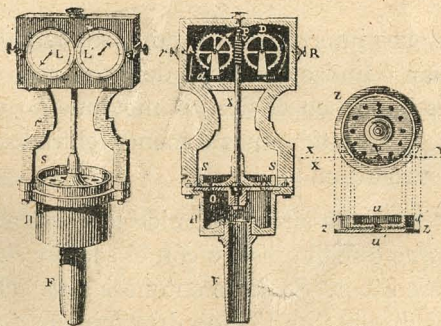


Fig. 110. — Sirena de Cagniard-Latour

1, perspectiva; 2, corte; *F*, toma del aire; *H*, cámara de aire; *O O*, aberturas del disco inferior y del disco superior *S S*; *X*, eje con su tornillo sin fin *B*; *d*, rueda de las vueltas; *D*, rueda de las centenas de vueltas; *l*, dedo que hace adelantar de un diente la rueda *D*; 3, disco: frente y sección *x, y*, de los dos discos y de los agujeros *u u'*.

compone de una caja cilíndrica  $H$  á que se puede hacer llegar aire por el conducto  $F$ . La cara superior de esa caja tiene en su circunferencia una serie de aberturas que atraviesan su pared oblicuamente.

A una distancia muy pequeña de esas aberturas, se encuentra un disco  $S$  movable al rededor del eje  $X$  y que tiene un número de aberturas igual á las de la cara de la caja, pero inclinadas en sentido opuesto, pudiendo coincidir con las de la caja.

El eje  $X$  por medio de una palanca  $R$  puede hacer girar un sistema de ruedas que permiten leer en los cuadrantes  $L$  y  $L'$ , el número de vueltas que diere el disco móvil.

Si se hace llegar aire en la sirena, ese aire se escapa por las aberturas del disco fijo, y viene á dar oblicuamente en las del disco móvil que toma entonces un movimiento de rotación más ó menos rápido según la fuerza del aire.

Resultan pues interrupciones en la salida del aire según coincidan ó no las aberturas de los discos, y esas interrupciones imprimen al aire un movimiento vibratorio que produce un sonido más ó menos elevado, según la rapidez de la rotación.

Para servirse de la sirena, se mide la corriente de aire de manera que esté al unísono con el sonido cuya elevación se quiere saber. Se hace entonces girar el sistema del contador durante un tiempo determinado,  $t$  segundos por ejemplo. Si el disco tiene  $n$  aberturas, y si dió  $N$  vueltas durante ese tiempo, el número de interrupciones,

es decir, el número de vibraciones del cuerpo sonoro durante un segundo se dará por la expresión:

$$\frac{n \times N}{t}$$

Es poco preciso este aparato, por ser difícil mantener el sonido á la misma elevación durante un tiempo algo largo; por otra parte se necesita un oído muy ejercitado para juzgar si el cuerpo sonoro y la sirena están al unísono.

*Procedimiento gráfico.*—Ese método muy exacto puede aplicarse á los diapasones. En una de sus ramas se fija un estilete pequeño muy liviano, un pelo de escobilla por ejemplo, y mientras vibra el diapasón se lo pasea sobre una tabla de vidrio ennegrecida con la llama de una vela. El estilete traza entonces sobre el negro de humo una línea sinuosa de la cual cada sinuosidad corresponde á una vibración. Basta entonces contar esas sinuosidades y dividir el número obtenido por el número de segundos que empleó el diapasón en trazarlas.

**3. Intervalos.**—Se llama *intervalo* de dos sonidos la relación entre los números de vibraciones que los caracterizan, correspondiendo el numerador al sonido más agudo. Cuando es simple esa relación, los sonidos producen una impresión grata al oído; dicese que hay *consonancia*. La consonancia es tanto más perfecta cuanto más sencilla es la relación que expresa el intervalo. Los intervalos más consonantes son los siguientes:

Unísono.....	1/1	Cuarta.....	4/3
Octava.....	2/1	Tercia mayor	5/4
Quinta.....	3/2	Tercia menor	6/5

Se dice que un sonido es la *octava aguda* de otro, cuando corresponde á un número doble de vibraciones ejecutadas en el mismo tiempo. Recíprocamente el segundo es la *octava grave* del primero.

Cuando se hacen oír simultáneamente más de dos sonidos cuyos números de vibraciones formen una relación simple, se obtiene un *acorde múltiplo*. Los acordes más notables son el *acorde perfecto mayor* y el *acorde perfecto menor*. Para el primero los números de vibraciones son entre sí como los números 4, 5 y 6, y para el segundo como los números 10, 12 y 15.

Considerando el primer sonido como fundamental, los intervalos del acorde perfecto mayor son, pues,  $1, 5/4$  y  $3/2$ ; se compone del sonido fundamental ó tónica, de la *tercia mayor* y de la *quinta*. Los del acorde perfecto menor son  $1, 6/5$  y  $3/2$ ; está formado pues por la tónica, la *tercia menor* y la *quinta*.

**4. Gama.**—La *gama* está formada por una serie de siete sonidos separados por intervalos que parecen tener su origen en la naturaleza de nuestro oído; esos intervalos son siempre los mismos para todas las gamas ó escalas.

Las notas de la gama de *ut* ó *do* son: *do, re, mi, fa, sol, la, si*. Las seis primeras son las sílabas que empiezan los hemistiquios de los tres primeros versos del himno de San Juan Bautista.

Los intervalos de la gama son con relación á la nota fundamental ó *tónica*:

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

Se acuerdan los instrumentos sobre una nota invariable, el *la normal*, dado por el diapasón normal: corresponde á 870 vibraciones simples por segundo.

5. **Intensidad.** — La *intensidad* del sonido depende de la *amplitud* de las vibraciones.

Las principales causas que disminuyen la intensidad del sonido son:

1.º *La distancia del cuerpo sonoro.* — La intensidad varía en razón inversa del cuadrado de esta distancia. En virtud de esta ley, la intensidad disminuye cuando se aleja el cuerpo. Pero si se hace seguir al sonido una di-

rección dada, esa disminución no se verificará tan rápidamente. Dicho resultado se obtiene con la *bocina*, la *trompetilla acústica* (fig. 111) y todavía más con los *tubos acústicos*. Los tubos acústicos se utilizan para comunicar de una habitación á otra; se emplean á bordo de los buques. Hay que notar, sin embargo, que ya el teléfono ha reemplazado el tubo acústico en casi todas partes.

2.º *La densidad del aire.* — Ya hemos visto que la intensidad del sonido de un timbre colocado bajo el recipiente de la máquina neumática disminuye á medida que se va enrareciendo el aire.

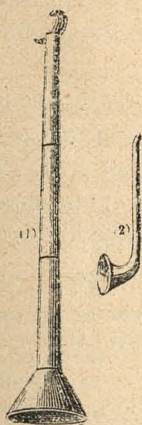


Fig. 111. — 1, bocina; 2, trompetilla acústica

3.º *La agitación del aire.* — El sonido se propaga mejor en el aire tranquilo que en el aire agitado. También ejerce grande influencia la dirección del viento: siendo igual la distancia, el sonido se oye mucho mejor en la dirección del viento que en sentido contrario.

4.º *Proximidad de cuerpos sonoros.* — El sonido es aumentado por esta proximidad. Una cuerda tendida

sobre una caja amplia, de paredes delgadas y elásticas, como sucede en el violín, la guitarra, etc., emite un sonido mucho más intenso que si vibrara aisladamente.

Al contrario, los cuerpos blandos, como el algodón, los géneros, disminuyen en gran manera la intensidad de los sonidos. Una alfombra suave acalla el ruido de los pasos; un piano pierde gran parte de la intensidad en una pieza llena de alfombras y tapicerías.

**6. Timbre.**—El *timbre* varía con la naturaleza del cuerpo vibrante, y proviene de muchos sonidos secundarios (*armónicos*) que se producen con el sonido fundamental.

Se llaman *armónicos* de un sonido, una serie de sonidos cuyos números de vibraciones son, en relación con el sonido fundamental, como la serie de los números 1, 2, 3, 4, etc. El primer armónico es pues la octava; el segundo, la quinta de la octava; el tercero, la segunda octava, etc.

CUESTIONARIO.—¿Qué se entiende por cualidades del sonido?—¿Cuáles son esas cualidades?—¿Qué es la elevación del sonido?—¿De qué depende?—Dar la descripción de la sirena.—¿Por qué da un sonido cuando la atraviesa una corriente de aire?—¿Para qué sirve?—Dar cuenta de un experimento.—¿Cómo se mide la elevación de un sonido por el método de los contadores gráficos?—¿Qué se llama intervalo de dos sonidos?—¿Qué intervalos componen los acordes perfectos?—¿Qué es la gama?—¿Cuáles son los intervalos de las notas de la gama?—¿Qué es la intensidad del sonido?—¿De qué depende?—¿Cuál es el efecto de los cuerpos blandos sobre la intensidad?—¿De qué depende el timbre de los sonidos?—¿Qué se llaman sonidos armónicos?

---

## CAPÍTULO III

## Vibración de las cuerdas.—Tubos sonoros

I.—VIBRACIONES TRANSVERSALES DE LAS  
CUERDAS

1. **Definición.**—Se llaman *cuerdas* en acústica, á unos cuerpos filiformes, de metal ó de tripa, tendidos entre dos puntos fijos. Se las hace vibrar transversalmente punteándolas con los dedos (guitarra) ó frotándolas con un arco de violín (violín) ó sencillamente hiriéndolas (piano).

2. **Leyes de las vibraciones transversales de las cuerdas.—Sonómetro.** Los números de las vibraciones de una cuerda están:

1.º *En razón inversa de la longitud y del radio de la cuerda;*

2.º *En razón inversa de la raíz cuadrada de su densidad;*

3.º *En razón directa de la raíz cuadrada del peso que la tiende.*

Todas esas leyes pueden resumirse en la fórmula:

$$n = \frac{1}{2rl} \sqrt{\frac{Pg}{\pi D}}$$

$n$  siendo el número de vibraciones,  $l$  la longitud de la cuerda,  $r$  su radio,  $P$  el peso de tensión,  $D$  la densidad de la cuerda, y  $g$  la intensidad de la gravedad.

Estas leyes se verifican con el *sonómetro* (fig. 112). Es una caja sonora que lleva en el sentido longitudinal una regla dividida, sobre la que pueden tenderse dos cuerdas con una llave la una y con pesas la otra.

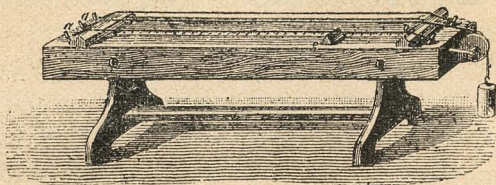


Fig. 112.—Sonómetro

**3. Instrumentos de cuerda.**—Los *instrumentos de cuerda* se componen de un sistema de cuerdas tendidas sobre un cajón sonoro cuyo fin es reforzar la intensidad del sonido. Los unos tienen tantas cuerdas como sonidos han de emitir, v. g., el piano, el arpa. La longitud de las cuerdas es entonces fija y tanto menor cuanto más agudo ha de ser el sonido emitido. Los demás tienen un número limitado de cuerdas; pero por medio de los dedos convenientemente colocados, se acorta la longitud de la parte vibrante para dar sonidos más elevados, v. g., el violín, el violoncelo.

En los instrumentos de cuerda se aumenta el diámetro y la densidad de las cuerdas que han de emitir los sonidos más graves, envolviéndolas en un hilo metálico arrollado.

## II.—TUBOS SONOROS

**4. Definición.**—Los *tubos sonoros* son unos tubos en que el sonido se produce por la vibración de la columna

de aire que contienen. Se dividen en *tubos de boca* y *tubos de lengüeta*.

La elevación del sonido es independiente de la naturaleza del tubo; sólo el timbre depende de ella.

5. **Tubos de boca.**—En los tubos de boca, el aire sale por una hendidura (fig. 113), viene á dar contra la pared del tubo cortada en bisel, y produce un silbido formado por numerosos sonidos discordantes, entre los cuales el tubo elige á uno para reforzarlo.

El *pito*, la *flauta* y el *caramillo*, son aplicaciones de los *tubos de boca*.

## 6. Tubos de lengüeta.

—Una lengüeta es una pequeña lámina metálica fija por una extremidad y cerrando incompletamente una abertura que debe atravesar el aire (fig. 114).

El timbre de los tubos de la lengüeta es gangoso; no tiene la suavidad de los sonidos emitidos por los tubos de boca. Se puede modificar la elevación del sonido que emiten por medio del *rasete* que aumenta ó disminuye, según se quiera, la longitud de la parte vibrante de la lámina.

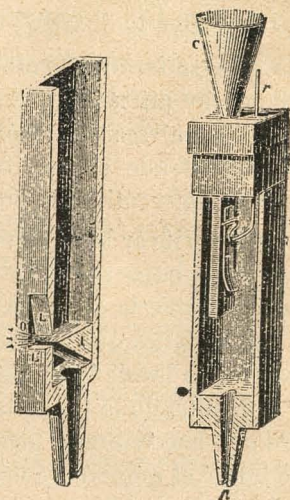


Fig. 113.—  
Tubo de boca.

Fig. 114.—Tubo de lengüeta; *a*, lengüeta; *r*, rasete; *C*, trompeta de resonancia; *P*, portaviento ó pie.

Los tubos de lengüeta se utilizan en los *armonios*, los *clarinetes*, los *oboes*, los *fagotes*. En los instrumentos de embocadura de trompa, los labios desempeñan el papel de *lengüeta*. Ej.: el *cornetín*, el *figle*.

**7. Movimiento vibratorio de un tubo.**—Cuando un tubo emite un sonido, la columna de aire que contiene se divide en *segmentos vibrantes* ó *vientres*, separados por los *nodos* donde el movimiento vibratorio es nulo. Dos *vientres* consecutivos se separan siempre con un *nodo*.

Para verificar la presencia de los nodos y de los vientres, basta bajar por el tubo una pequeña membrana horizontal cubierta de arena (fig. 115). Se ve á la arena bailar en las regiones que corresponden á los vientres y quedar inmóvil en las de los nodos.

Aumentando la potencia de la corriente de aire que hace vibrar el aire del tubo, se puede modificar el número de los vientres y de los nodos, y hacerle producir sonidos cada vez más elevados, que son los armónicos del sonido fundamental.

**8. Leyes de los tubos.**—1.º La elevación del sonido fundamental emitido por un tubo es *en razón inversa de su longitud*.

2.º Un tubo cuya extremidad está cerrada emite un sonido que es la octava grave del sonido emitido por un tubo abierto cuya longitud sea igual.

3.º Los armónicos emitidos por un tubo abierto son entre sí como la serie de los números enteros, mientras que para los tubos cerrados, son entre sí como la serie de los números impares.



Fig. 115.—Vibración del aire

9. **Instrumentos de viento.**—Ciertos instrumentos tales como el clarín, la trompeta, son *tubos de longitud fija*. Los sonidos que emiten son, pues, armónicos del sonido fundamental. Otros son *tubos de longitud variable*. Las variaciones de longitud se obtienen por medio de llaves como en el cornetín, el bajo, ó por una corredera como en los trombones. En la flauta, el oboe, el clarinete, el fagot, el fligle, las variaciones de elevación se obtienen abriendo y cerrando pequeñas aberturas que modifican el número y posición de los nodos y de los vientres de la columna de aire en vibración.

CUESTIONARIO.—¿Qué se llaman cuerdas vibrantes? — Dar la fórmula general que expresa el número de vibraciones emitidas por una cuerda, y dar su explicación.—¿Qué es el sonómetro?—¿Para qué sirve?—¿Cómo se modifica la elevación del sonido emitido por una cuerda en el violín?—¿Por qué se envuelven algunas cuerdas con un hilo metálico?—¿Con qué se produce el sonido en los tubos sonoros?—¿Cómo se verifica la agitación del aire en los tubos de boca y en los tubos de lengüeta?—¿Para qué sirve el rasete?—¿Cómo se subdivide la columna de aire que vibra en un tubo? — Decir la ley de las longitudes. — ¿En qué relación se hallan los armónicos emitidos en un tubo abierto?—¿Cómo se producen las variaciones de elevación en los instrumentos de viento?



# QUINTA PARTE

## ÓPTICA

### CAPÍTULO I

#### Propagación de la luz

1. **Definición.**—La Optica es la parte de la Física que estudia los fenómenos ocasionados por la luz.

La luz es el agente de los fenómenos que notamos por medio del órgano de la vista.

Se admite hoy que la luz es, como el calor, un modo particular de la energía, es decir, que está producida por vibraciones sumamente rápidas de las moléculas de los cuerpos luminosos. Estas vibraciones se propagan por medio de un fluido imponderable y muy elástico, el *éter*, difundido en todas partes, hasta en el vacío y en los espacios intermoleculares de los cuerpos transparentes.

2. **Cuerpos luminosos, transparentes, opacos.**—Todo cuerpo visible emite luz: es un cuerpo *luminoso*; pero puede ser luminoso por sí mismo como el sol, una lámpara, un cuerpo incandescente; ó bien recibir la luz de otro cuerpo. En este último caso se dice que el cuerpo se vuelve luminoso porque es iluminado.

Los cuerpos *transparentes* ó *diáfanos* son los que se dejan atravesar por la luz, como el aire, el agua, el vidrio.

Los cuerpos *opacos* son los que detienen la luz, como la madera, los metales, el papel.

**3. Leyes de la propagación de la luz.** — La propagación, de la luz en un medio homogéneo está sometida á las leyes siguientes:

1.<sup>o</sup> *La luz se propaga en línea recta.*—Si se interpone una pantalla en la recta que une el ojo con un punto luminoso, el punto deja de verse. En cualquiera otra posición, el ojo percibe el punto luminoso.

Se llama *rayo luminoso* á la línea que sigue la luz al propagarse. La reunión de muchos rayos luminosos emanados de un mismo foco, se llama un *haz de luz*.

2.<sup>o</sup> *La intensidad de la luz varía en razón inversa del cuadrado de la distancia.*—Sean dos pantallas iguales, colocadas una á un metro, otra á dos metros del mismo foco; la primera recibirá cuatro veces más luz que la segunda.

3.<sup>o</sup> *La intensidad de la luz varía con la inclinación de la superficie que la emite ó que la recibe.* — Una superficie es tanto menos alumbrada cuanto mayor es su inclinación respecto de la dirección de los rayos incidentes.

**4. Velocidad de la luz.**—La luz recorre unos 300.000 km. por segundo. A pesar de esta velocidad prodigiosa, la luz emplea 8 minutos 13 segundos para llegar del sol á la tierra, y 3 años para llegar de la estrella más cercana.

**5. Sombra y penumbra.**—Cuando un haz luminoso encuentra un cuerpo opaco, no puede pasar, y la parte situada atrás del cuerpo no recibe luz: se dice que está en la *sombra*.

Cuando el foco luminoso se reduce á un punto, la parte que está en la sombra queda separada de la parte alumbrada por una superficie cónica engendrada por una

recta que sale del foco y es tangente al cuerpo. Para cualquier punto situado en la parte cónica privada de luz, ese foco está totalmente eclipsado.

Cuando el foco es un cuerpo *de dimensiones precisas*, una esfera *S*, por ejemplo (fig. 116), la región comprendida entre las tangentes exteriores *AC* y *BD* y las tan-

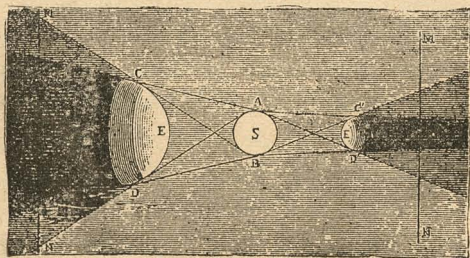


Fig. 116.—Sombra y penumbra circulares

gentes interiores *BC* y *AD*, no recibe más que una parte de los rayos luminosos. Esa región es lo que se llama *penumbra*. El paso es insensible de la sombra absoluta hasta la luz completa.

**6. Fotómetros.**—Los *fotómetros* son unos aparatos que sirven para comparar las intensidades de dos fuentes luminosas. Se fundan en la ley del cuadrado de las distancias. Los más conocidos son el de *Rumford* y el de *Bunsen*.

El *fotómetro de Rumford* se compone de una varilla colocada cerca de una pantalla. Se colocan las dos fuentes luminosas á distancias tales de esa varilla, que las sombras proyectadas sobre la pantalla sean igualmente oscuras. Las intensidades de las dos luces son entonces

proporcionales á los cuadrados de sus distancias á la pantalla.

Sean  $I$  y  $I'$  las intensidades de las dos luces;  $d$  y  $d'$  sus distancias respectivas á la pantalla; se tiene la relación:

$$\frac{I}{I'} = \frac{d^2}{d'^2}$$

El *fotómetro de Bunsen* consiste en una pantalla de papel blanco, en cuyo centro se halla una mancha de grasa. Se colocan las fuentes de luz que se quieren estudiar de cada lado de la pantalla, de modo que ya no se vea la mancha, lo que sucede cuando está igualmente alumbrada de cada lado. Se miden las distancias de las fuentes hasta la pantalla: sus intensidades son proporcionales á los cuadrados de esas distancias.

CUESTIONARIO. — ¿En qué dirección se propaga la luz? — ¿Qué es un objeto transparente? — Explicad con una figura lo que se entiende por sombra y penumbra. — ¿Cuál es la velocidad de la propagación de la luz? — ¿Para qué sirven los fotómetros? — Describid los fotómetros de Rumford y de Bunsen y decid cómo uno se vale de ellos.

---

## CAPÍTULO II

## Reflexión de la luz

1. **Definición.**—*La reflexión es el cambio de dirección que experimentan los rayos luminosos al encontrar una superficie pulimentada (fig. 117).*

Cuando un rayo luminoso  $AB$  encuentra una superficie plana  $MN$ , toma la dirección  $BC$ .

2. **Leyes de la reflexión.**—La reflexión sigue las leyes siguientes:

1.º *El rayo reflejado queda en el plano de incidencia.*

2.º *El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.*

El *plano de incidencia* es el plano que pasa por el rayo incidente  $AB$  y la normal  $BP$  al plano de reflexión en el punto de incidencia  $B$ .

El *ángulo de incidencia* es el ángulo  $i$  que forma el rayo incidente  $AB$  con la normal  $BP$ ; el *ángulo de reflexión* es el ángulo  $r$  que forma el rayo reflejado  $BC$  con la misma normal.

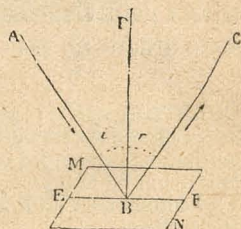


Fig. 117.— $i$ , ángulo de incidencia;  $r$ , ángulo de reflexión.

3. **Espejos planos.**—Cuando se mira en un espejo plano, (fig. 118) la luz de un punto luminoso  $A$  parece llegar de un punto  $A'$ , simétrico de  $A$  con respecto al espejo. Se cree, pues, ver *detrás del espejo* los objetos luminosos que están colocados adelante. La imagen dada por un espejo plano es *recta, igual al objeto y simétrica* con él, con relación al plano del espejo.

Al inclinar convenientemente dos espejos planos, se

pueden obtener varias imágenes del mismo objeto: es el principio del *kaleidoscopio*.

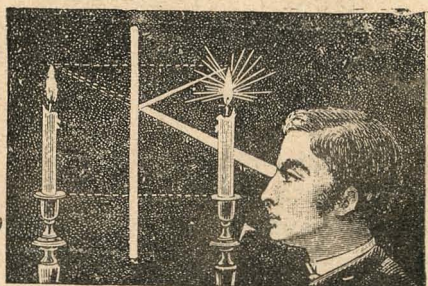


Fig. 118.—Imagen vista en un espejo plano.

**4. Espejos esféricos.**—Los *espejos esféricos* se forman de un casquete esférico cuya superficie interior ó exterior es reflejante.

En el primer caso, se tiene un *espejo cóncavo*; en el segundo un *espejo convexo*.

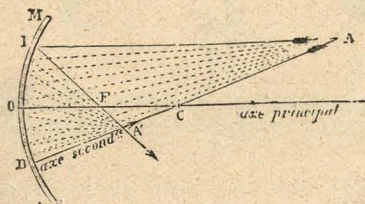


Fig. 119.—Elementos de los espejos.

Se llama *centro de curvatura* (fig. 119), el centro  $C$  de la esfera de que forma parte el espejo, y *centro de figura* el punto  $O$  de su superficie equidistante de todos los puntos de su borde.

Se llama *eje principal* la recta  $OC$  que pasa por el cen-

tro de figura y el centro de curvatura, y *eje secundario* cualquiera otra recta que pasa por el centro de curvatura.

**5. Reflexión de la luz sobre los espejos.**—Todos los rayos,  $AI$  por ejemplo, paralelos al eje principal, van á pasar después de su reflexión por un solo punto  $F$  colocado sensiblemente en el medio de  $OC$  y que se llama *foco principal*.

Cualquier rayo  $AB$  que pasa por el centro de curvatura  $C$  se refleja sobre sí mismo.

Todos los rayos que salen del punto  $A$  convergen después de su reflexión al mismo punto  $A$ , donde forman la *imagen* del punto  $A$ . La imagen de un objeto es el conjunto de las imágenes de todos sus puntos.

Una imagen se llama *real* cuando puede recibirse en una pantalla (fig. 120); se llama *virtual* en el caso contrario.

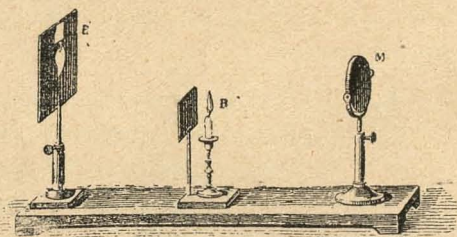


Fig. 120.—Imagen real formada por un espejo cóncavo.— $M$ , espejo;— $B'$  imagen

**6. Formación de las imágenes en los espejos.**—Para encontrar la imagen de un punto  $A$  en un espejo (fig. 121), basta trazar dos rayos, el uno paralelo al eje del espejo, y el otro pasando por su centro. Después de la reflexión, el primero pasa por el foco  $F$  y toma la dirección  $MF$ ; el segundo se refleja sobre sí mismo según  $EC$ . La inter-

sección de esos dos rayos da el punto  $A'$ , imagen del punto  $A$ .

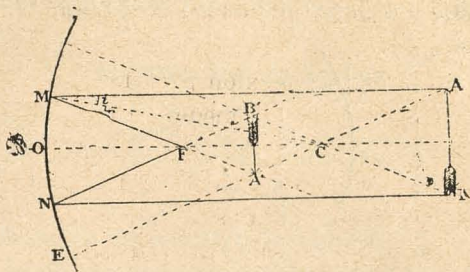


Fig. 121.—Imagen real formada por un espejo cóncavo.

Del mismo modo se obtendría la imagen de los otros puntos del objeto.

**7. Imágenes en un espejo cóncavo.**—Aplicando la regla á varios objetos colocados delante de un espejo cóncavo, se nota:

1.º *Que los objetos colocados más allá del centro de curvatura dan una imagen real, invertida y menor que el objeto, y colocada entre el foco principal y el centro (fig. 121).*

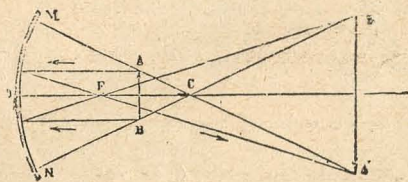


Fig. 122.—Imagen real formada por un espejo cóncavo

2.º *Que los objetos colocados entre el centro de curvatura y el foco principal dan una imagen real, invertida, mayor que el objeto, y colocada más allá del centro (fig. 122).*

3.º Que los objetos colocados entre el centro de figura  $O$  y el foco principal, dan una imagen virtual, recta, mayor que el objeto y colocada detrás del espejo (fig. 123).

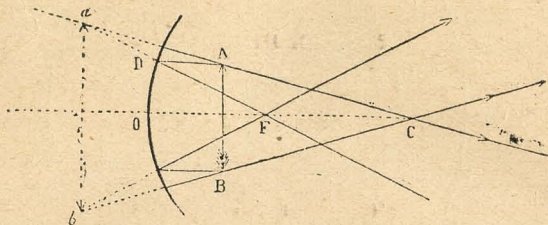


Fig. 123.—Imágenes virtuales de los cóncavos.

8. **Imágenes en un espejo convexo.** — Aplicando la misma regla á objetos colocados delante de un espejo convexo, se nota que la imagen es siempre *virtual, derecha y menor que el objeto*.

9. **Fórmulas de los espejos esféricos.** — La distancia del foco al espejo, ó distancia focal  $f$ , y las distancias  $p, p'$  del espejo á un objeto cualquiera y á su imagen, verifican la relación:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

Sea  $O$  el objeto,  $I$  su imagen, se tiene

$$\frac{I}{O} = \frac{p'}{p}$$

CUESTIONARIO. — ¿Cuáles son las leyes de la reflexión de la luz? — ¿Qué se llama ángulo de incidencia y ángulo de reflexión? — ¿Qué imágenes dan los espejos planos? — ¿Qué son los espejos esféricos? — ¿Qué se llama centro de curvatura, eje principal, eje secundario, foco principal en un espejo cóncavo? — ¿Cuándo se dice que una imagen es real? — ¿Cuándo se dice que es virtual? — Explicar cómo se busca la imagen en un punto. — Buscar la imagen de un objeto colocado: 1.º más allá del centro del espejo; 2.º entre el centro y el foco; 3.º entre el foco y el espejo. — Decir en cada caso si la imagen es real ó virtual.

## CAPÍTULO III

## Refracción de la luz

## I.—PRINCIPIOS GENERALES

1. **Refracción de un rayo luminoso.**—*La refracción es el cambio de dirección que experimentan los rayos luminosos al pasar oblicuamente de un medio á otro medio.*

Los rayos, al refractarse, unas veces se acercan y otras se alejan de la normal.

En el primer caso, se dice que el segundo medio es *más refringente* que el primero, y en el segundo caso se dice que es *menos refringente*.

Sea un rayo oblicuo  $SI$  que pasa de un medio á otro más refringente, v. g. del aire al agua (fig. 124); se desvía

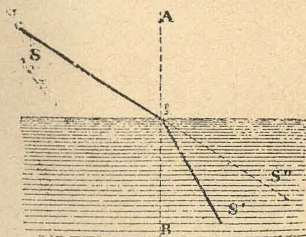


Fig. 124.—Fenómeno de refracción.

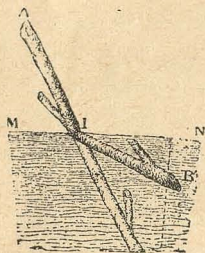


Fig. 125.—Rotura aparente de los objetos vistos con refracción.

de su dirección  $IS''$  para acercarse á la normal  $AB$  tomando la dirección  $IS'$ .

$SIA$  es el ángulo de incidencia, y  $S'IB''$  el ángulo de refracción.

**2. Leyes de la refracción.**—El fenómeno de la refracción obedece á las dos leyes siguientes, llamadas *leyes de Descartes*:

1.º *El rayo incidente y el rayo refractado están en un mismo plano, perpendicular á la superficie que separa los dos medios.*

2.º *Dados los mismos medios, la relación es constante entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción.*—Esta relación constante se llama *índice de refracción*.

A consecuencia de la refracción: 1.º un objeto en parte sumergido en el agua parece roto (fig. 125); 2.º el fondo de un vaso lleno de agua se nos aparece como levantado, lo que permite ver objetos que quedarían invisibles si el vaso fuera vacío.

**3. Lámina de caras paralelas.** — Cuando un rayo luminoso atraviesa oblicuamente una lámina de caras paralelas, experimenta, á la entrada y á la salida, dos desviaciones iguales y en sentido contrario. El rayo no está, pues, desviado, pero sale de la lámina en una dirección paralela á la que tenía antes.

**4. Reflexión total.**—Cuando un haz luminoso encuentra muy oblicuamente la superficie de un medio menos refringente que aquel en que se propaga, puede suceder que no penetre en el segundo medio, y se refleje enteramente en el primero. Esa propiedad se utiliza en los prismas de *reflexión total*, para invertir la dirección de un haz luminoso (fig. 126).

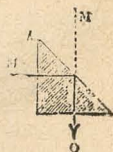


Fig. 126.—Prisma de reflexión total:  $M$ , rayo incidente;  $O$ , rayo reflejado.

5. **Espejismo.**—El espejismo es un caso de reflexión total. Un rayo como  $AO$  (fig. 127) atravesando, á medida que se acerca al suelo, capas de aire cada vez más calien-

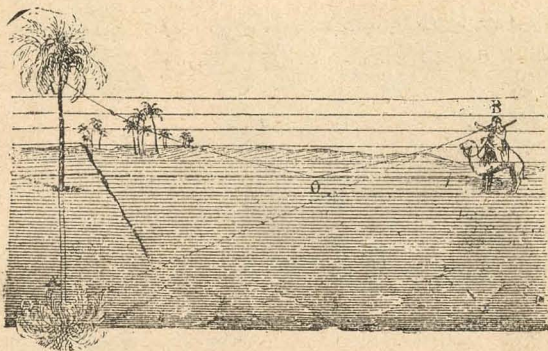


Fig. 127.—Espejismo.

tes y, por lo tanto, menos refringentes, acaba por reflejarse totalmente y subir según  $OB$ . Un observador  $B$  verá la imagen de  $A$  en  $A'$ , es decir, como si  $A$  se reflejara en una superficie líquida.

6. **Definición.** — El *prisma* (fig. 128) en óptica, es un sólido transparente comprendido entre caras planas inclinadas una sobre otra.

La intersección de las caras forma la *arista* del prisma; la *base* es la superficie opuesta á la arista. Se llama *sección principal* del prisma, cualquiera sección plana perpendicular á la arista.



Los efectos producidos por el prisma sobre un rayo luminoso que lo atraviesa son: Fig. 128.—Prisma.

1.º una *desviación*; 2.º una *descomposición de su luz*.

**7. Desviación del rayo.**—Sea  $SI$  un rayo incidente (fig. 129) que cae sobre la cara  $CA$ . Se refracta en  $I$ , acercándose á la normal  $NF$  al entrar en el prisma, y toma la dirección  $IE$ . Cuando sale al aire en  $E$ , se aleja de la normal  $N'F'$  y toma la dirección  $EB$ . El ángulo  $KOB$  es el *ángulo de desviación*.

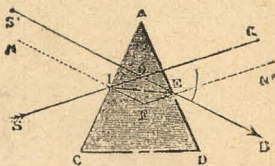


Fig. 129.—Refracción al través de un prisma.

**8. Descomposición de la luz blanca.**—Si se hace llegar convenientemente un haz de luz solar (fig. 130) sobre un prisma, y que se reciba ese *haz refractado* en una pantalla, se obtiene una serie de siete colores en el orden

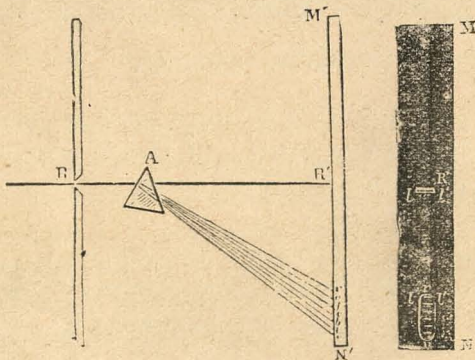


Fig. 130.—Descomposición de la luz.

siguiente: *violado, indigo, azul, verde, amarillo, anaranjado, rojo*; el violado es el color más desviado. El conjunto de esos colores forma el *espectro solar*.

Ese experimento demuestra que la luz blanca no es simple, pero que se compone de siete colores principales.

**9. Arco iris.**—El *arco iris* proviene de la descomposición de la luz solar á través de las gotas de lluvia, y de

la reflexión de los rayos colorados, sobre la superficie interna y sobre la opuesta de estas mismas gotas (fig. 131). Para ver el arco iris, hay que dar vuelta al sol y tener en frente nubes de lluvia.

Se notan á veces círculos irisados al rededor del sol ó de la luna. Esos círculos se llaman *halos* cuando su borde *interior* es rojo, y *coronas* cuando es rojo su borde *exte-*

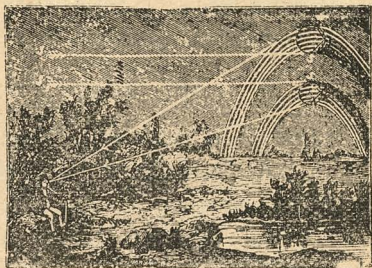


Fig. 131.—Arco iris.

*rior*. El diámetro de estas es mucho menor que el de aquellos.

Los halos provienen de la descomposición de la luz por los prismas de hielo de los cerros.

Las coronas se producen cuando pasa una ligera nube delante del sol ó de la luna.

**10. Recomposición de la luz blanca.**—Se puede hacer la síntesis de la luz blanca por medio de los colores elementales.

1.º Se los dispone por orden según los sectores de un círculo, *disco de Newton* (fig. 132). Se da á este círculo

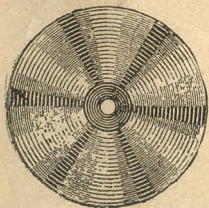


Fig. 132.—Disco de Newton.

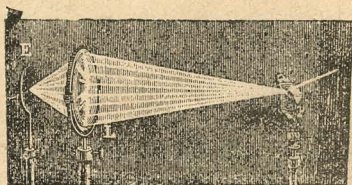


Fig. 133.—Síntesis de la luz blanca con una lente.

un movimiento rápido de rotación: el ojo no percibe más que el color blanco.

2.º Se hace caer el *haz coloreado* sobre una lente convergente (fig. 133); se nota que la imagen formada sobre una pantalla *E*, por la reunión de los colores del espectro, es una imagen blanca.

### III.—LENTES ESFÉRICAS

11. **Forma de las lentes.**—Las *lentes esféricas* son unos cuerpos transparentes (vidrio, cristal) que terminan en superficies esféricas.

Según la acción que ejercen sobre los rayos luminosos, se las distingue en *lentes convergentes* y en *lentes divergentes*.

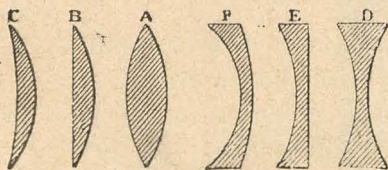


Fig. 134.—Lentes.

Lentes convergentes: *C*, menisco convergente; *B*, plano convexo; *A*, biconvexo.  
Lentes divergentes: *P*, menisco divergente; *E*, plano cóncavo; *D*, biconcavo.

Las lentes convergentes tienen más espesor en el medio que en los bordes, y las lentes divergentes, al contrario, son más delgadas en el medio que en los bordes.

12. **Elementos de las lentes.**—1.º *Eje principal*. Se llama eje principal de una lente la recta que pasa por los centros de curvatura de las dos superficies esféricas. Si una de las superficies es plana, es la perpendicular trazada del centro de la superficie esférica sobre la superficie plana.

2.º *Foco principal*.—Se da el nombre de foco principal

al punto del eje hacia el cual convergen los rayos paralelos al eje después de haber atravesado la lente (fig. 135).

3.º *Centro óptico*.—En cualquiera lente esférica, hay un punto llamado *centro óptico* tal que todo rayo luminoso que atraviesa la lente pasando por este punto no puede experimentar desviación alguna.



Fig. 135.—Convergencia de los rayos paralelos al eje.

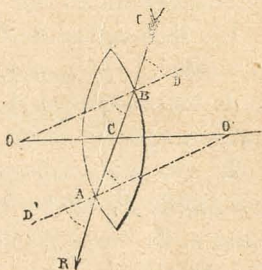


Fig. 136.—Centro óptico

Si las dos superficies de la lente tienen el mismo radio de curvatura, el centro óptico es el punto  $C$  del eje (fig. 136) situado á igual distancia de las dos superficies.

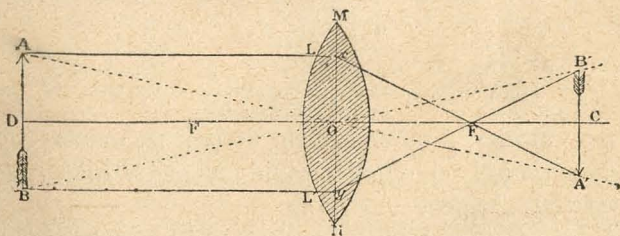


Fig. 137.—Marcha de los rayos luminosos en una lente biconvexa:  
 $DC$ , eje principal;  $O$ , centro óptico;  $F, F_1$ , focos principales.

4.º *Eje secundario*.—Cualquier recta que pasa por el centro óptico toma el nombre de eje secundario.

13. **Construcción de las imágenes en las lentes**.—Sea una lente convergente  $MN$  (fig. 137); para construir la

imagen de un punto  $A$ , se traza el rayo  $AL$ , paralelo al eje principal; debe pasar por  $F_1$  después de la refracción. Se traza el rayo  $AO$  del centro óptico; se lo considera como no refractándose. El encuentro de  $xF_1$  y de  $AO$  da  $A'$ , imagen de  $A$ .

Repitiendo la misma construcción para los diferentes puntos del objeto  $AB$ , se obtendrá la imagen  $A'B'$ .

**14. Naturaleza de las imágenes.** — En las *lentes convergentes*: 1.º Un objeto colocado á una distancia de la lente mayor que el doble de la distancia focal, da una imagen *real, invertida y menor que el objeto* (fig. 137).

2.º Un objeto colocado á una distancia de la lente mayor que la distancia focal y menor que el doble de la misma, da una imagen *real, invertida y mayor que el objeto* (fig. 138).

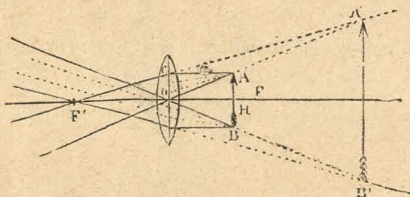


Fig. 138.—Formación de la imagen virtual en las lentes convergentes.

3.º Colocado á una distancia de la lente menor que la distancia focal, el objeto da una imagen *virtual, recta y mayor que el objeto*.

Las *lentes divergentes* dan siempre imágenes *virtuales, rectas y más pequeñas* que el objeto (fig. 139).

**15. Fórmulas de las lentes.**—Si se designa por  $f$  la distancia focal de una lente, y por  $p, p'$ , las distancias de esta lente á un objeto cualquiera y á su imagen, se obtendrá:

1.º Con una lente convergente  $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$

2.º Con una lente divergente  $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f}$

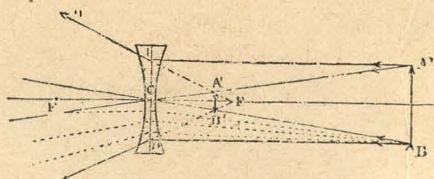


Fig. 139.—Construcción de la imagen en una lente divergente.

Si se designa por  $O$  el objeto y por  $I$  su imagen, se tiene la relación

$$\frac{I}{O} = \frac{p'}{p}$$

CUESTIONARIO.—¿Cómo se comporta un rayo luminoso que pasa oblicuamente del aire al agua?—¿Qué es un prisma de reflexión total? Explicar en breves palabras el fenómeno del espejismo.—¿Cuáles son las propiedades del prisma?—Construir la marcha de un rayo luminoso que atraviesa el prisma.—Decid por orden los colores del espectro solar.—¿Cómo se puede reconstituir la luz blanca por medio de los colores del espectro?—¿Qué se llaman lentes esféricas?—Decid las diferentes formas de las lentes convergentes y de las lentes divergentes?—¿Por qué les dan esos nombres?—¿Cuáles son los elementos de las lentes?—Dar de ellos las definiciones.—¿Qué es el centro óptico?—¿Qué propiedad tiene?—¿Cómo se construye la imagen de un punto por una lente convergente?—Deducir de ello la imagen de un objeto colocado á varias distancias de la lente.

## CAPÍTULO IV

**Principales instrumentos de óptica**

1. **Cámara oscura** (fig. 140). — Si, en la pared de un aposento absolutamente oscuro (*cámara oscura*), se hace una pequeña abertura, se notará en una pantalla conve-

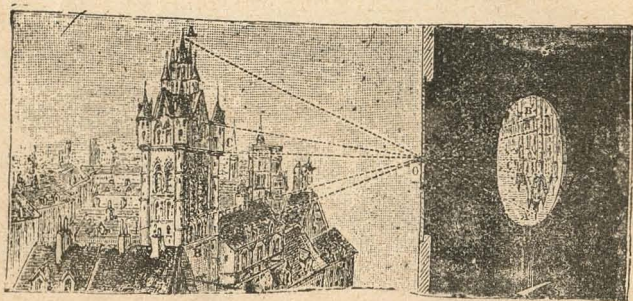


Fig. 140.—Construcción de la imagen en una cámara oscura.

nientemente colocada, la imagen invertida de los objetos exteriores.

La imagen será mucho más clara, si en la abertura se pone una lente convergente.

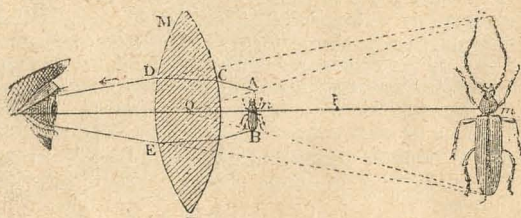


Fig. 141 —Lente.

2. **Microscopio simple ó lente.** — *El microscopio simple* (fig. 141) no es más que una lente convergente. Se

coloca el objeto que se quiere observar entre la lente y su foco principal; se obtiene así una imagen virtual, recta y mayor que el objeto.

Se emplea la lente para estudiar los seres de la naturaleza (animales, plantas, etc.) de dimensiones pequeñas. Con el nombre de *cuentahilos*, sirve también para estudiar

la composición y naturaleza de los tejidos.

**3. Microscopio.**—El *microscopio compuesto* (fig. 142) es un aparato formado de dos sistemas de lentes convergentes, el *ocular* y el *objetivo*; esas lentes están dispuestas de modo que produzcan aumentos considerables.

Al microscopio, se agrega una lente convergente *L*, para alumbrar los objetos que se colocan sobre la platina *P*, y un reflector *M* para alumbrar esos mismos objetos por debajo, cuando se los quiere observar por transparencia.

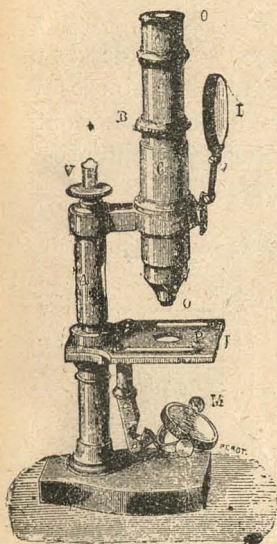


Fig. 142.—Microscopio

*B*, cuerpo del aparato; *O*, ocular; *O*, objetivo; *V*, tornillo; *P*, platina; *L*, lente; *M*, espejo.

El microscopio ha permitido hacer muchos descubrimientos y estudiar un mundo entero de seres llamados *microscópicos*, cuya existencia no se sospechaba siquiera antes de la invención de ese maravilloso instrumento. Permite reconocer muchas falsificaciones; enseña á me-

nudo la existencia de numerosísimos microbios que son gérmenes de enfermedades contagiosas.

**4. Aparato de proyección.**—*El aparato de proyección* (fig. 143) tiene per objeto aumentar las imágenes y proyectarlas sobre una pantalla para hacerlas visibles á muchos observadores á la vez.

Por lo general, se toma como fuente luminosa la luz de Drummond, obtenida por la incandescencia de una varita de creta *F'*, bajo la acción de un soplete de gas oxhídrico *H*. Un espejo *M* refleja los rayos luminosos y los envía sobre la lente convergente *C* que los concentra y alumbra el objeto *AB*. El objetivo *O* da entonces una imagen *A'B'* que se recibe en la pantalla.

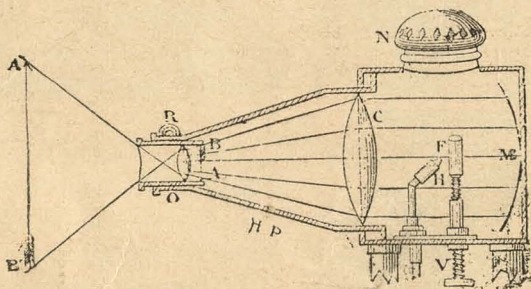


Fig. 143.—Aparato de proyección.

*F*, foco luminoso; *C*, condensador de luz; *AB*, objeto que se proyecta; *O*, objetivo amplificador; *R*, tornillo; *A'B'*, imagen.

La *linterna mágica* (fig. 144) se funda en el mismo principio que el aparato de proyección.

Las imágenes son tanto más fieles cuanto menor es el aumento; su resplandor varía en razón inversa del cuadrado de su distancia al objetivo.

**5. Microscopio solar.**—El *microscopio solar* es análogo al aparato de proyección; sólo difiere de él por el objetivo que es más poderoso y por el foco luminoso formado por un haz de luz solar.

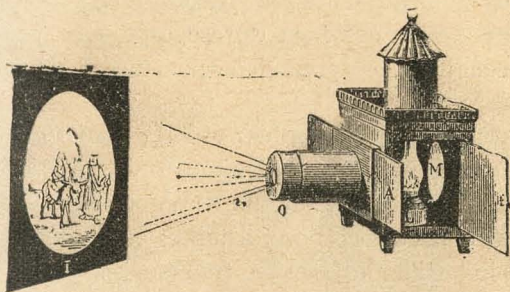


Fig. 144.—Linterna mágica.

O, objetivo; A, objeto; L, foco luminoso; I, imagen; M, reflector.

6. **Telescopio.**—El *telescopio* (fig. 145) es un instrumento que da una imagen muy aumentada de los astros;

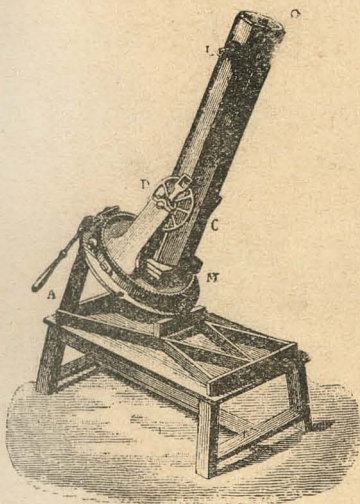


Fig. 145.—Telescopio de Foucault.

O, abertura del telescopio; OC, tubo del telescopio de madera ó de metal; M, puesto del espejo; L, ocular.

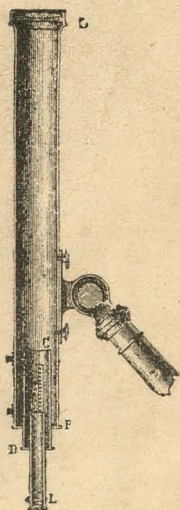


Fig. 146.—Anteojo astronómico: L, ocular; L', objetivo; B L, portaobjetivo; F F, portaocular.

se forma de un tubo grande en cuyo fondo hay un espejo cóncavo; cerca del foco de ese espejo se produce la imagen del astro, observándola por medio de un ocular ampliador.

**7. Anteojo astronómico.** — El *anteojo astronómico* (fig. 146) comprende, como el microscopio, un *objetivo* y un *ocular*, con la diferencia de que el objetivo es de foco largo y el ocular de foco poco distante; ese anteojo da una imagen invertida, lo que no trae consecuencias para la observación de los astros.

El *anteojo terrestre* ó de *larga vista* es análogo al anteojo astronómico; un mecanismo colocado en el interior del tubo lleva un *sistema rectificador* formado por varias lentes, que dan una imagen recta.

El *anteojo de Galileo* es un telescopio terrestre de ocular divergente; da una imagen recta sin emplear el sistema rectificador. Los *gemelos* de teatro se forman de dos anteojos, uno para cada ojo.

CUESTIONARIO.—¿De qué se compone la lente?—¿De qué está compuesto el microscopio?—¿Cuáles son los principales instrumentos de óptica que acercan los objetos?—Describid los aparatos de proyección y explicad la formación de las imágenes.

---

## CAPÍTULO V

### Fotografía

**1. Cámara oscura fotográfica.** — Cuando se coloca una lente convergente en la abertura de la cámara oscura (fig. 147), se obtiene sobre la pared opuesta una ima-

gen muy clara de los objetos que están á una *cierta distancia* de la lente. *La fotografía permite fijar la imagen de la cámara oscura.*

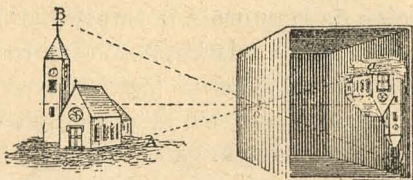


Fig. 147.—Cámara oscura.

**2. Preparación de la placa sensible.**—Se toma una placa de vidrio muy limpia; en una de sus caras se deposita una capa de *colodión* fotográfico que contiene yoduro de potasio en disolución; se vierte encima de esa capa, una disolución de nitrato de plata. Fórmase yoduro de plata muy alterable á la luz, por lo cual la manipulación ha de verificarse en un cuarto oscuro, alumbrado sólo

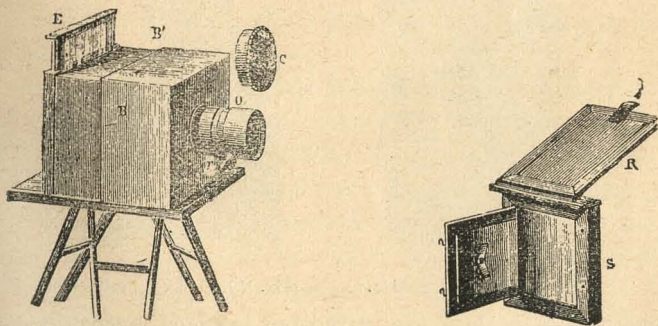


Fig. 148.—Cámara oscura del fotógrafo.

- 1.º Cámara oscura de corredera; O, tubo del objetivo con su piñón dentado r; C, obturador; B', B, partes de la cámara oscura; E, cuadro movible que tiene un vidrio sin pulimentar para enfocar.
- 2.º Cuadro S con su tablilla de bisagra R, destinado á recibir la placa sensible.

por un vidrio de color amarillo, por no tener acción alguna aquel color sobre la sal de plata así preparada. A partir de ese momento, se debe conservar la placa al abrigo de la luz.

### 3. Exposición de la placa á la impresión luminosa.

—Para someter la placa á la impresión luminosa, se usa la *cámara obscura del fotógrafo* (fig. 148); se *enfoca*, es decir que se dispone el aparato de modo que la imagen se forme entera y clara en la pared opuesta al objetivo;

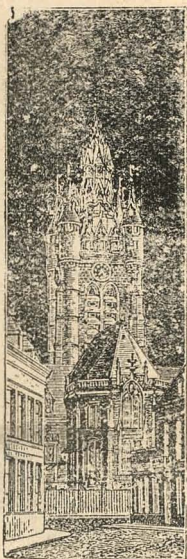


Fig. 149.—Imagen negativa.

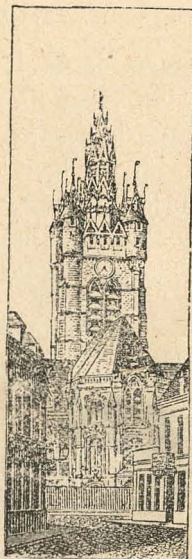


Fig. 150.—Imagen positiva.

luego se reemplaza esa pared por la placa preparada, y colocada en un bastidor que la preserva de la luz. El objetivo estando cerrado con un obturador, se levanta la pantalla *E* para descubrir la placa del lado de la cámara

obscura, se saca el obturador durante un instante; luego se baja la pantalla, y se lleva el bastidor á la cámara obscura para revelar la imagen.

4. **Revelación y fijación de la imagen.**—Se sumerge la placa en un *baño revelador* que muchas veces es una disolución de sulfato de hierro. Las partes claras del dibujo *aparecen* negras, y las sombras aparecen blancas; se fija entonces la imagen sacando la sal de plata que no haya sido atacada por la luz, por medio de una disolución de hiposulfito de sodio. Así se obtiene una *imagen negativa* (fig. 149).

Se coloca la imagen negativa sobre una hoja de papel hecha sensible á la luz por medio de cloruro de plata, y se la expone después á la luz del día. El papel ennegrece más ó menos según que la luz atraviesa las partes más ó menos claras de la imagen negativa, y así se obtiene después de algunos instantes una *imagen positiva* (fig. 150) en el papel, es decir una imagen cuyos *blancos* y *sombreados* corresponden á los blancos y sombreados del modelo. Basta fijarla sacando el exceso de sal de plata con un lavado al hiposulfito de sodio.

5. **Fotomicrografía.**—Entre las muchas aplicaciones de la fotografía, es preciso nombrar la *fotomicrografía* cuyo fin es reproducir figuras, dibujos, etc., en dimensiones microscópicas, ampliando después esas reproducciones cuando fuere menester. Así han podido caber trescientas páginas en folio en una cara de película de colodión, pesando en todo como medio gramo.

CUESTIONARIO.—¿Cómo se prepara la placa sensible?—¿Cómo se enfoca?—¿Cómo se obtiene la revelación de la imagen?—¿Cómo se fija la imagen?—Explicar cómo se obtienen las imágenes positivas.—¿Cuál es el fin de la fotomicrografía?

---

# SEXTA PARTE

## ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

---

### SECCIÓN I

#### ELECTRICIDAD ESTÁTICA

##### CAPÍTULO I

##### Generalidades

1. **Definición.** — *La electricidad es un agente imponderable cuya naturaleza no conocemos sino por sus efectos, y que se manifiesta por atracciones, repulsiones, efectos químicos, etc.*

La palabra *electricidad* se deriva de la palabra griega *electron* que quiere decir *ámbar*, porque los antiguos habían observado que, frotando esta substancia, adquiría la propiedad de atraer los cuerpos ligeros. Tales de Mileto, que vivió 600 años antes de Jesucristo, decía hablando del ámbar: «*Cuando el rozamiento le ha dado calor y vida, atrae las pajas ligeras como el imán atrae el hierro.*»

2. **División.** — El estudio de la electricidad comprende dos grandes divisiones principales: la *electricidad estática* y la *electricidad dinámica*. La primera comprende los fenómenos producidos por la electricidad en reposo, mantenida equilibrada en un estado de tensión en la superfi-

cie de los cuerpos; la segunda abarca los fenómenos producidos por la electricidad en movimiento.

**3. Desarrollo de la electricidad estática por frotamiento.**—Ciertas sustancias como el vidrio, la resina, el ámbar, el azufre, etc., cuando se las frota con lana ó con una piel de gato, tienen la propiedad de atraer los cuerpos ligeros como pajillas, plumón, etc. Entonces decimos que dichos cuerpos están *electrizados* (fig. 151).



Fig. 151.—Atracción eléctrica.

**4. Péndulo eléctrico.**—Se conoce que está electrizado un cuerpo por medio de unos aparatos, llamados *electros-*

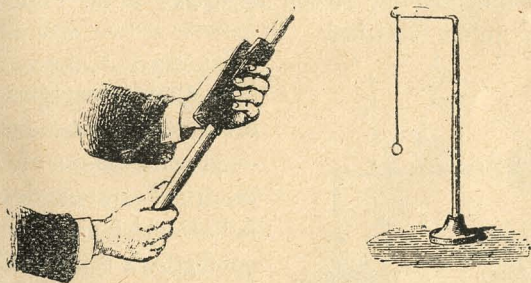


Fig. 152.—Péndulo eléctrico.

*copios*, siendo el más sencillo de ellos el *péndulo eléctrico* (fig. 152).

Este aparato consiste en un soporte de vidrio del que pende un hilo de seda, en cuyo extremo hay una bolita de medula de saúco. Cuando se acerca á ésta algún cuerpo electrizado, la bolita se ve atraída por él y abandona su posición vertical.

**5. Cuerpos conductores y no conductores.**—Los cuerpos, relativamente á la electricidad, se dividen, como para el calor, en cuerpos *buenos conductores* y en cuerpos *malos conductores*.

Los cuerpos *buenos conductores* son los que se electrizan en toda su extensión cuando están en contacto, por un solo punto, con un manantial de electricidad; ej.: los metales, el cuerpo humano, la tierra, el agua, etc. Los cuerpos *malos conductores* son los que no se electrizan sino en el punto de contacto ó en un espacio muy limitado al rededor de dicho punto; ej.: el vidrio, la resina, el azufre, el aire seco. No es absoluta esta distinción: entre los mejores conductores y los peores, existen otros muchos, cuya conductibilidad ocupa todos los grados intermedios. Los cuerpos malos conductores se llaman también *aisladores*; sirven de apoyo á los conductores que se quiera electrizar.

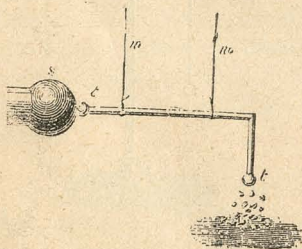


Fig. 153. — S, origen de la electricidad; m, m', hilos de seda (malos conductores); t t', caño de cobre (buen conductor).

## 6. Comunicación de la electricidad por contacto.

—Al contacto de un cuerpo electrizado, un conductor aislado se electriza también. El conductor t t' (fig. 153) aislado por medio de dos hilos de seda m, m', y en contacto con

un cuerpo electrizado *s*, adquiere la propiedad de atraer los cuerpos livianos.

CUESTIONARIO. —¿Cómo se manifiesta la electricidad?—¿Qué es péndulo eléctrico; para qué sirve? — ¿Qué es cuerpo conductor, aislador?—¿Cómo se comunica electricidad á un cuerpo mal conductor, buen conductor?

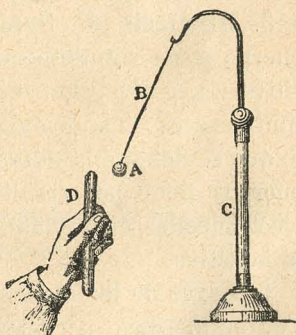
## CAPÍTULO II

### Atracciones y repulsiones eléctricas

1. **Distinción de dos electricidades.**—1.º Si se acerca al péndulo eléctrico una varilla de vidrio electrizada, comienza por atraer la bolita de saúco; pero apenas ésta toca la varilla, y mediante este contacto le sustrae parte de su electricidad, vemos que la repele con fuerza.

2.º De igual modo, si presentamos á un segundo péndulo una varilla de resina electrizada, hay atracción primero y repulsión despues del contacto.

3.º Si ahora aproximamos la resina á la bolita de saúco electrizada por el vidrio, esta será atraída con fuerza; lo mismo se verificará, si se presenta la varilla de vidrio al péndulo



Acción de un cuerpo electrizado sobre el péndulo.

electrizado por la resina. De estos experimentos sacamos las consecuencias siguientes:

1.º *La electricidad que se desarrolla por el frotamiento de un paño de lana sobre el vidrio, no es idéntica á la que produce ese mismo frotamiento sobre la resina. Dase á la primera el nombre de electricidad vitrea ó positiva (+), y á la segunda, el de electricidad resinosa ó negativa (—).*

2.º *Dos cuerpos cargados de la misma electricidad se repelen.*

3.º *Dos cuerpos cargados de electricidades contrarias se atraen.*

## 2. Desarrollo simultáneo de ambas electricidades.—

Si se frota uno contra otro dos discos conductores formados de substancias diferentes y con mangos aisladores, cada uno de estos discos atrae la bolita de saúco electrizada al contacto con el otro; y si se aplican los discos uno contra otro, no tienen ninguna acción eléctrica sobre el péndulo.

De este experimento resulta la ley general siguiente: *Las dos electricidades aparecen siempre al mismo tiempo y en cantidades iguales.*

3. **Hipótesis de Symmer.** — Según Symmer, todo cuerpo posee simultáneamente las dos electricidades, positiva y negativa. Estas dos electricidades se neutralizan mutuamente, cuando existen en cantidad igual, formando lo que se denomina *flúido* neutro. El frote mutuo de dos cuerpos tiene por resultado la separación de estas dos electricidades, acumulando en uno la positiva y en el otro la negativa.

4. **Leyes de las atracciones y repulsiones o leyes de Coulomb.**—Las acciones que los cuerpos electrizados ejercen unos sobre otros, están sometidas á las dos leyes siguientes:

1.º *Las atracciones y repulsiones eléctricas están en razón inversa de los cuadrados de las distancias.*

2.º *Las atracciones y repulsiones eléctricas son proporcionales al producto de las dos cantidades de electricidad de que se hallan cargados los cuerpos.*

Estas dos leyes se demuestran por medio de la *balanza eléctrica de Coulomb*.

*Fórmula.*—Si llamamos  $m$  y  $m'$  dos masas de electricidad, y  $d$  el intervalo que las separa, la fuerza  $F$ , repulsiva ó atractiva, que ejercen mutuamente, estará representada, conforme á las leyes de Coulomb, por la fórmula:

$$F = \frac{m m'}{d^2}$$

CUESTIONARIO.—¿Cómo se demuestra que hay dos clases de electricidad?—¿Acciones recíprocas de estas dos electricidades?—Enuncie la hipótesis de los dos flúidos.—¿Qué se llama flúido neutro?—¿Con qué instrumento se miden las acciones eléctricas?—Enúnciense las leyes de Coulomb.

---

### CAPÍTULO III

#### **Distribución de la electricidad en los cuerpos conductores**

1. **Distribución superficial.** — La electricidad de un cuerpo electrizado *está en su totalidad en la superficie de dicho cuerpo*, cualquiera que sea la forma de éste.

Este principio se demuestra por medio de una esfera hueca de cobre, que tiene una pequeña abertura circular y aislada mediante un soporte de vidrio (fig. 155). Se la electriza; se toca con un *plano de prueba* la superficie exterior, y se lo presenta á un péndulo eléctrico: la bolita de saúco se ve atraída. Se toca la superficie interior, y se presenta de nuevo al péndulo: no hay atracción. Luego hay electricidad sólo en la superficie exterior.

El *plano de prueba* es una varilla de vidrio que termina en un pequeño disco de talco.

## 2. Repartición de la electricidad según la forma del conductor.

—El *espesor eléctrico* ó *densidad eléctrica* en cada punto se mide por la cantidad de electricidad recogida por el plano de prueba aplicado en ese punto; el experi-

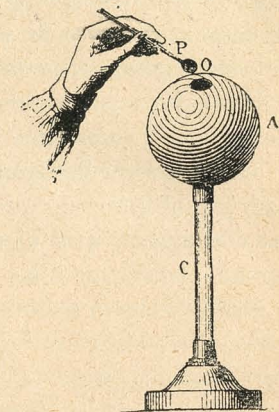


Fig. 155. — La electricidad se distribuye en la superficie de los cuerpos.

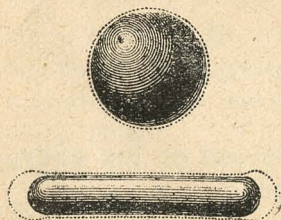


Fig. 156

Distribución de la electricidad en la superficie de los cuerpos.

mento prueba que varía de un punto á otro según la curva de la superficie: es débil en las partes planas, mayor en las partes curvas y aumenta con la convexidad de ellas.

Sobre una esfera, la electricidad se halla igualmente repartida en toda la superficie (fig. 156).

Sobre un cilindro que remata en dos hemisferios

(fig. 156), el espesor es constante á lo largo del cilindro y aumenta en las dos extremidades.

Sobre un cuerpo oval *abc* (fig. 157), el espesor eléctrico es mayor en las dos extremidades que en la parte media, y mayor en *a* que en *c*.

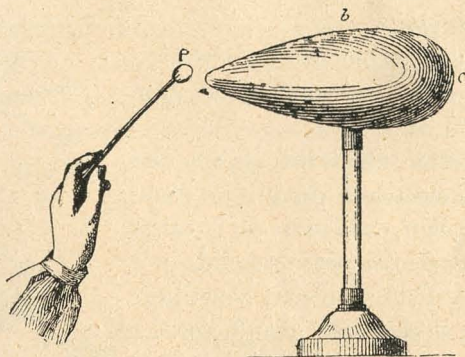


Fig. 157.—Distribución de la electricidad en la superficie de los cuerpos.

**3. Poder de las puntas.**—En un conductor con puntas, la electricidad se acumula hacia ellas. En esas condiciones, obrando sobre sí mismo por repulsión, el fluido se escapa en la atmósfera. Eso es lo que se denomina *poder de las puntas*.

Se puede hacer patente el poder de las puntas, presentando una vela encendida á la extremidad (fig. 158)

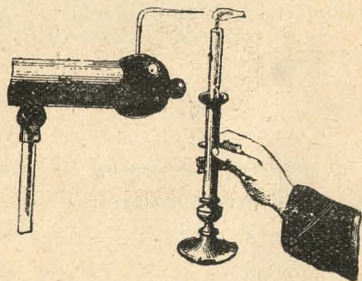


Fig. 158.—Poder de las puntas.

de una punta fija que corresponde á una máquina eléctrica; cuando trabaja la máquina, se ve la llama torcerse bajo la acción del aire rechazado.

Si se reemplaza la punta fija del experimento anterior con un sistema *C* (fig. 159) que gira al rededor de un eje vertical, el aparato ejecuta un movimiento de rotación (*torniquete eléctrico*).

Para que no pierdan la electricidad, se da á los conductores una forma esférica.

**4. Tensión eléctrica.** — Ya que las masas eléctricas de mismo nombre se repelen, cada parte de la carga de un conductor está repelida por las demás. Esta repulsión constituye la *tensión eléctrica* del conductor. La equilibra la resistencia del aire, cuerpo mal conductor.

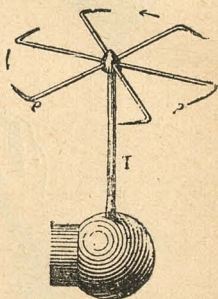


Fig. 159  
Torniquete eléctrico

**CUESTIONARIO.**—¿Cómo se mide el espesor eléctrico?—¿Cómo se distribuye la electricidad en una esfera? en un cilindro? en un cuerpo ovalado?—¿Explíquese el poder de las puntas?—¿Cómo se hace evidente?—¿Cómo se mide el nivel eléctrico?—¿Qué es tensión eléctrica de un conductor?

## CAPÍTULO IV

## Electrización por influencia

1. **Definición.**—Hemos visto ya que un cuerpo electrizado electriza á otros comunicándoles una parte de su flúido; vamos ahora á demostrar que también puede electrizarlo, sin comunicarle ninguna parte de su flúido y sin perder la más pequeña cantidad.

En este caso se dice que hay *electrización por influencia*.

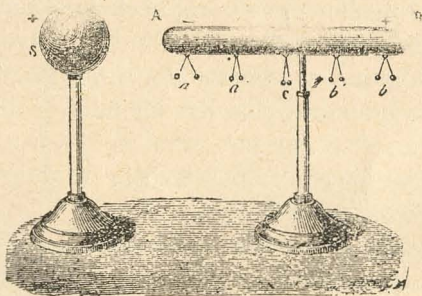


Fig. 160.—Electrización por influencia.

2. **Experimento.** — Sea un conductor aislado  $AB$  (fig. 160) en estado neutro, y provisto de péndulos dobles  $a$ ,  $a'$ ,  $b$ ,  $b'$ , y  $c$ , formados con esferillas de saúco colgadas de hilos conductores.

Si se acerca á éste conductor una esfera aislada  $S$ , electrizada positivamente, se puede hacer los experimentos

siguientes en los cuales se notan fenómenos de influencia eléctrica.

1.º Cuando se acerca la esfera  $S$ , todos los péndulos de  $AB$  se alejan unos de otros como lo indica la figura.

La explicación es sencilla: el fluido positivo  $S$ , descompone de lejos, por influencia, el fluido neutro del conductor  $AB$ , atrae el fluido negativo en  $A$  y rechaza el fluido positivo en  $B$ .

De donde se deduce que el extremo  $A$  está cargado de electricidad negativa y el extremo  $B$  de electricidad positiva, como lo indica dicha figura. El cilindro resulta, pues, dividido en dos partes electrizadas en sentido inverso, quedando entre ambas una línea de separación  $c$  en que es nula la tensión eléctrica. Esta línea neutra se encuentra cerca del medio del cilindro, hacia la esfera.

2.º Si se aleja la esfera, el cilindro vuelve al estado natural. La influencia dejando de obrar, los dos flúidos se combinan de nuevo para dar un fluido neutro.

3.º Si antes de alejar la esfera, se toca con el dedo el cilindro en un punto cualquiera, los péndulos  $a$ ,  $a'$  y  $c$ ,  $c'$  divergen más.

La electricidad positiva ha desaparecido, quedando tan sólo la electricidad negativa ya contenida, sumada con otra negativa, debida á la descomposición, por la influencia de la esfera, del fluido neutro del conductor que pone al cilindro en comunicación con el suelo.

4.º Si después de haber sacado el dedo, se aleja la esfera, todos los péndulos divergen igualmente.

La electricidad negativa siendo libre, se ha esparcido en toda la superficie del conductor que queda cargado de electricidad negativa.

**3. Chispa eléctrica.**—Si se acerca más y más la esfera

al cilindro (fig. 161), la atracción del fluido positivo y del fluido negativo, aumenta á medida que se acercan. Esta

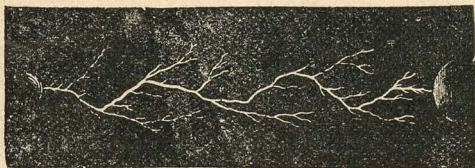


Fig. 161.—Chispa eléctrica.

atracción acaba por vencer la resistencia del aire, y los flúidos se combinan bruscamente al través del espacio que los separa, produciendo una chispa llamada *chispa eléctrica*.

#### 4. Teoría del péndulo (fig. 162).

—Acerquemos al péndulo un cuerpo cargado de electricidad positiva, v. gr.: una varilla de vidrio electrizada. El fluido positivo de la varilla descompone por influencia el fluido neutro de la bola, rechaza el fluido positivo y atrae el fluido negativo. Estando éste más próximo á la varilla de vidrio que el fluido positivo, la atracción vence la repulsión y se hace cada vez mayor al propio que la distancia disminuye.

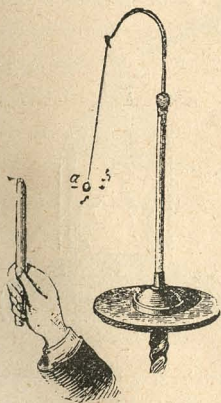


Fig. 162  
Atracción eléctrica.

En el momento del contacto, el fluido positivo de la varilla de vidrio neutraliza el fluido negativo de la bola de saúco, la que estando entonces cargada únicamente del fluido positivo es repelida en seguida.

5. **Electroscopio.**—El *electroscopio* es un aparato que sirve para conocer la presencia y la naturaleza de la electricidad.

El *electroscopio ordinario* ó de *hojas de oro* (fig. 163) se compone de una campana de vidrio cuya tubular da paso á una varilla metálica terminada exteriormente en una bola y por dentro en dos laminillas de oro  $l$  y  $l'$ ; dos columnitas metálicas  $d$  y  $d'$  que comunican con el suelo actúan por influencia sobre las laminillas y contribuyen así á la mayor sensibilidad del instrumento.

Se aproxima á la bola exterior, el cuerpo que se examina; si está electrizado, las laminillas se separan entre sí.

Para conocer la naturaleza del agente eléctrico, se carga el aparato con una electricidad conocida; en seguida se aproxima á la bola el cuerpo cuya electricidad se quiere conocer, y según haya entre las laminillas repulsión ó atracción, el cuerpo posee electricidad empleada para cargar el aparato, ó de signo contrario.

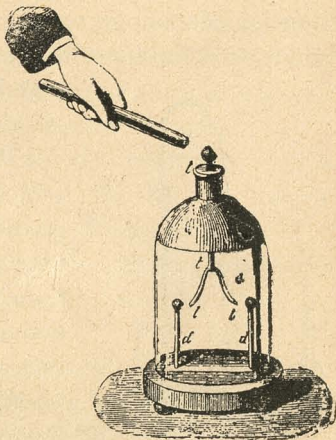


Fig. 163.—Electroscopio de hojas de oro.

**CUESTIONARIO.**—¿Qué sucede cuando se acerca una esfera electrizada á un cilindro metálico aislado?—Dar la explicación de los fenómenos que se observan?—¿Por qué la bola de un péndulo eléctrico está atraída cuando se le acerca un cuerpo electrizado?—¿Por qué está rechazada después del contacto?—¿De qué se compone el electroscopio de hojas de oro?—¿Para qué sirve?—¿Cómo se carga, v. gr., de flúido positivo?

## CAPÍTULO V

## Máquinas eléctricas

1. **Primera máquina eléctrica.**—La primera máquina eléctrica es debida á Otto de Guericke, inventor de la máquina neumática.

Esta máquina consistía en una esfera de azufre fija en un eje, movida por una persona, mientras que otra apoyaba las manos en la esfera y la electrizaba con el roce.

2. **Principales máquinas.**—

Las principales máquinas eléctricas son: el *electróforo*, la máquina de *Ramsden*, la de *Holtz* y la de *Wimshurst*.

3. **Electróforo.** — El electróforo, inventado por Volta (fig. 164) se compone de una torta de resina, y de un disco de madera envuelto en una hoja metálica; un mango de vidrio sirve para aislar el disco.

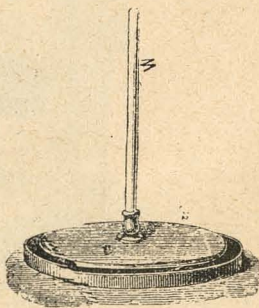


Fig. 164.—Electróforo.

Se golpea la resina con una piel de gato o con un pedazo de franela caliente; la resina se carga de electricidad negativa; para utilizar esta electricidad, se procede de la manera siguiente:

1.º Se coloca el disco sobre la masa de resina. La electricidad neutra del disco se descompone por influencia, en flúido positivo que permanece en la cara inferior, y en

fluido negativo que pasa á la parte superior, en donde se manifiesta por la separación de los péndulos.

2.º Tocando el disco con el dedo, vuelven á unirse los péndulos, porque el fluido negativo libre ha pasado al suelo, y el fluido positivo se mantiene siempre en la parte inferior por la influencia de la resina electrizada negativamente (fig. 165).

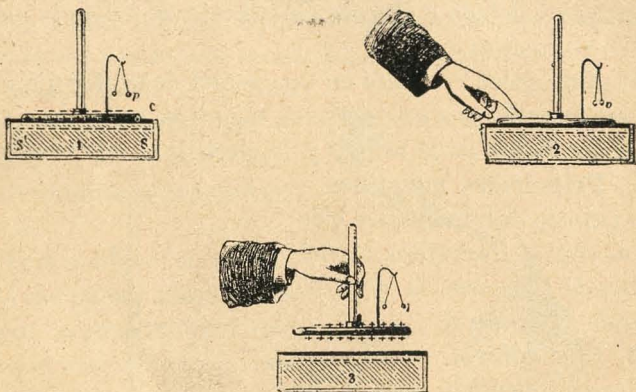


Fig. 165.—Carga del electróforo.

2.º Al sacar el dedo y alzando el disco, los péndulos se separan, porque el fluido positivo, que queda libre, se extiende sobre el conductor.

Tocando entonces el disco con el dedo, se saca una chispa. Puede repetirse muchas veces el experimento, sin golpear de nuevo la resina.

4. **Máquina de Ramsden.**—*Descripción.*— El aparato se compone de un disco circular de vidrio  $DD'$ , que gira por medio de un manubrio  $M$ , entre dos pares de almohadillas, que con él se frotan.

Delante del disco de vidrio, se encuentran dos cilindros huecos de latón *C* y *C'*, llamados *conductores*, sobre pies de vidrio. Los dos conductores comunican entre sí por medio de una barra transversal y terminan por el lado del disco en dos brazos *F* y *F'* (*peines*), en forma de herradura, armados de puntas metálicas y que abrazan el disco de vidrio.

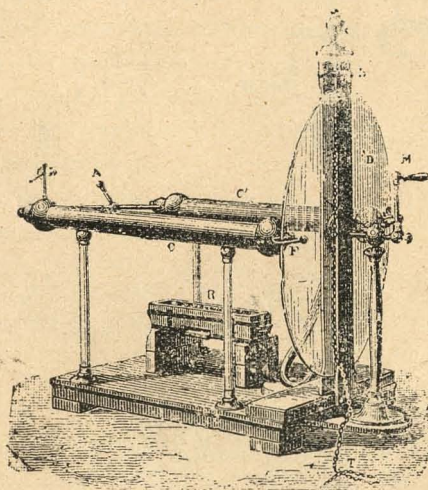


Fig. 166.—Máquina eléctrica de Ramsden.

*DD'*, disco de vidrio; *M*, manubrio; *B*, pies; *F*, *F'*, mandíbulas; *C*, *C'*, conductores; *A*, varilla móvil del conductor; *H*, péndulo de Henley; *T*, cadena que une los pies con el suelo; *R*, estufa.

*Teoría de la máquina.*—Esta teoría se funda en la electrización por frotamiento y por influencia. El disco de vidrio, en su movimiento de rotación y al frotar las almohadillas, se electriza positivamente. Esta electricidad positiva descompone por influencia el fluido neutro de

los conductores, atrae la electricidad negativa que, escapándose por las puntas, viene á neutralizarla en el disco á medida que se produce, y deja sobre los conductores la electricidad positiva.

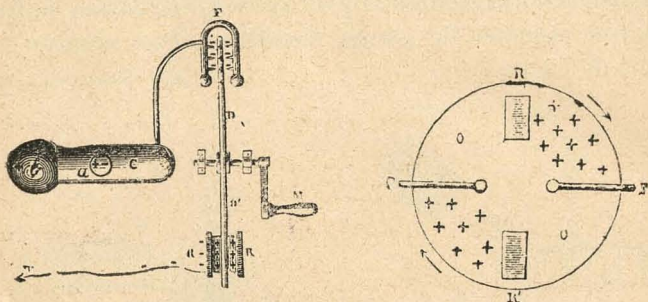


Fig. 167.—Teoría de la máquina de Ramsden.

1. fenómenos de influencia; 2, estado eléctrico de la rueda en movimiento.

*Electrómetro de Henley.*—La presencia de la electricidad y hasta cierto punto su tensión, se marcan con el *electrómetro de Henley* (fig. 168).

Es un pequeño péndulo compuesto de una varilla de madera con una bola de saúco en la extremidad que se aleja tanto más del conductor cuanto mayor sea la carga eléctrica. El ángulo de divergencia se lee en un pequeño cuadrante que lleva divisiones iguales.

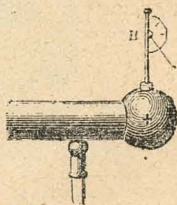


Fig. 168

Electrómetro de Henley

**5. Máquinas eléctricas de Holtz y de Wimshurst.**—En la máquina de Ramsden, el frotamiento absorbe una gran parte del trabajo, y no se recoge sino una sola electricidad. Se emplean hoy máquinas de *influencia*, sin *frotamiento*, y que recogen á la vez las dos electricidades.

La *máquina de Holtz* se compone esencialmente de un disco de vidrio que gira, frente a los peines de dos conductores *A* y *B*. Cuando la máquina está cargada, el fluido neutro de estos dos conductores se descompone por influencia. El fluido (+) de *A* y el (—) de *B* se esparcen por los peines y se combinan constantemente sobre el disco móvil. El fluido (+) se acumula, pues, sobre el conductor *B*, el fluido (—) sobre el conductor *A*, y se puede hacer estallar entre estos conductores largas chispas.

La *máquina de Wimshurst* se basa en el mismo principio y presenta la ventaja de cargarse más fácilmente y de funcionar en tiempo húmedo.

## 6. Usos de la máquina eléctrica. —

*Campanario eléctrico.* — El campanario eléctrico (fig. 169) se compone de tres timbres metálicos suspendidos de un brazo horizontal, que se halla en co-

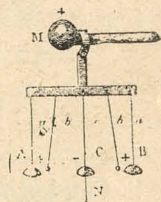


Fig. 169.—Campanario eléctrico.

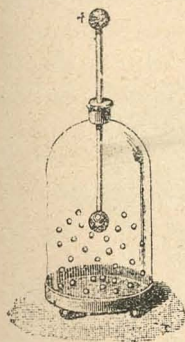


Fig. 170.—Granizo eléctrico

comunicación con los conductores de la máquina eléctrica. Los timbres *A* y *B* cuelgan de cadenas metálicas, mientras que el del centro está suspendido por un hilo de seda, y comunica con el suelo. Entre los timbres se encuentran dos pequeños péndulos metálicos aislados. Cuando se carga la máquina, las bolas oscilan entre los timbres y los tocan sucesivamente.

*Granizo eléctrico.* — Sobre un disco conductor (fig. 170) unido con el suelo, se colocan bolas de saúco debajo de una campana de vidrio; la varilla metálica que atra-

viesa el cuello comunica con la máquina eléctrica. Cuando funciona la máquina, se ven las bolas agitarse con gran velocidad; el ruido producido recuerda el del granizo.

CUESTIONARIO.—¿Qué es el electróforo?—¿Cómo se sirve uno de él?—Dar la teoría.—Describir la máquina de Ramsden y explicar su funcionamiento.—¿Qué es el electrómetro de Henley?—¿Cuál es el principio de la máquina de Holtz?—¿En qué consiste el experimento del campanario eléctrico y del granizo eléctrico?

## CAPÍTULO VI

### Condensación eléctrica

1. **Condensador.**—Se da el nombre de *condensadores* á ciertos aparatos que sirven para acumular cantidades considerables de electricidad en superficies relativamente pequeñas. Los principales son: el *de platillos*, el *de lámina de vidrio*, la *botella de Leiden*.

2. **Condensador de platillos.**—El *condensador de platillos* ó *de Epinus* (fig. 171) se compone de dos platillos

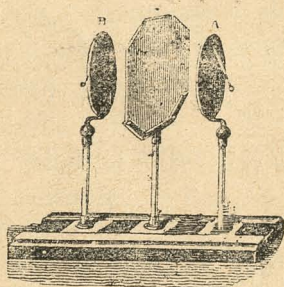


Fig. 171.—Condensador de platillos.

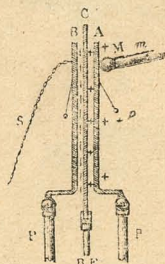


Fig. 172.—Carga del condensador.

conductores paralelos y aislados *A* y *B*, que pueden acercarse ó alejarse, y que separa una lámina aisladora.

*Carga de los platillos.*—Estando sólo el platillo *A* y funcionando la máquina *M*, el péndulo *P* señala electrificación (fig. 172). Si se acerca el platillo *B* que comunica con el suelo por medio de la cadena *S*, el péndulo *B* diverge más, hay pues aumento ó condensación de electricidad en *A*. Esa condensación proviene de la descomposición del fluido neutro de *B* por el fluido (+) de *A* que rechaza el fluido (+) en el suelo y atrae el fluido (—); y este último, obrando á su vez sobre el fluido de la máquina, lo atrae en mayor cantidad sobre el disco *A*.

Si se aísla el platillo *A* de la máquina eléctrica, queda cargado de electricidad positiva; aislando también el platillo *B* del suelo y alejándolo de *A*, señala electrificación negativa.

El platillo *A* lleva el nombre de *colector* y *B* el de *condensador*.

3. **Condensador de lámina de vidrio.**—El *condensador de lámina de vidrio* es un condensador de platillos en algo modificado. Para construirlo (fig. 173), se toma una lá-

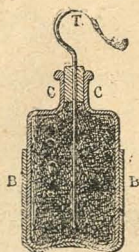
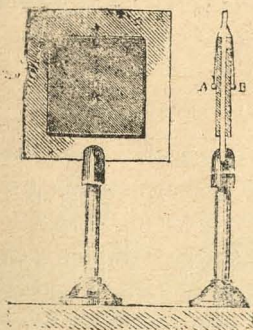


Fig. 173.—Condensador de lámina de vidrio,      Fig. 174.—Botella de Leiden.

mina de vidrio en cuyas dos caras se pega una hoja metálica; estas dos hojas reemplazan los platillos movibles del aparato anterior. También se le da el nombre de *cua-dro fulminante*.

4. **Botella de Leiden.** — La botella de Leiden se compone de un frasco de vidrio delgado, cubierto exteriormente con una hoja de estaño que constituye la *armadura exterior*. Una varilla metálica encorvada y terminada exteriormente en una esferita, atraviesa el tapón y comunica con la *armadura interior* formada por las hojas de oro batido que llenan la botella (fig. 174).

Para cargar la botella de Leiden, se la tiene en la mano, cogiéndola por la armadura exterior, y se presenta la varilla encorvada á un foco eléctrico (fig. 175).

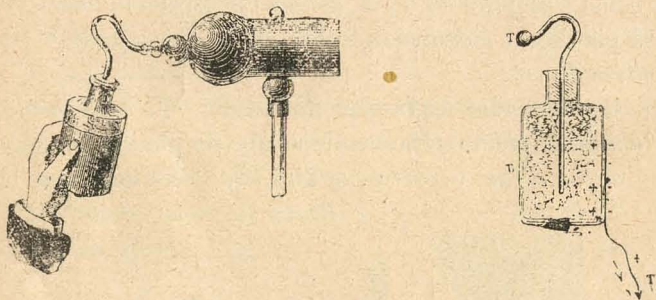


Fig. 175.—Carga de la botella de Leiden.

*Descarga instantánea.*—Se descarga *instantáneamente*, poniendo en comunicación las dos armaduras por medio de un instrumento llamado *excitador* (fig. 176).

*Descarga sucesiva.* — Se descarga también *lentamente* por medio de descargas sucesivas tocando alternativamente las armaduras. Para el caso puede servir el aparato representado en la fig. 177: *v* y *c* son timbres; el pén-

dulo  $p$  de bola metálica, está atraído por el timbre  $v$ , y rechazado luego hacia el timbre  $c$ , donde se descarga; pero es atraído de nuevo por el timbre  $v$ , y así sucesivamente.

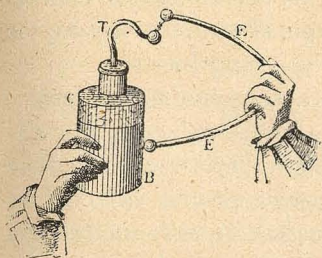


Fig. 176.—Descarga instantánea.

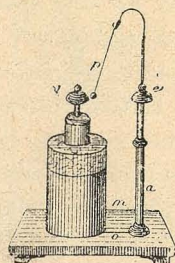


Fig. 177.—Descarga sucesiva.

5. **Botellas de Leiden de armaduras movibles.**—Cuando se descarga una botella de Leiden con el excitador, se nota que después de la descarga puede dar muchas chispas (*carga residual*). Esas chispas son debidas á que el fluido eléctrico penetra en el espesor de la lámina de vidrio y necesita cierto tiempo para descargarse. Se nota ese hecho por medio de la botella de Leiden de *armaduras movibles* (fig. 178) que se compone de una envoltura

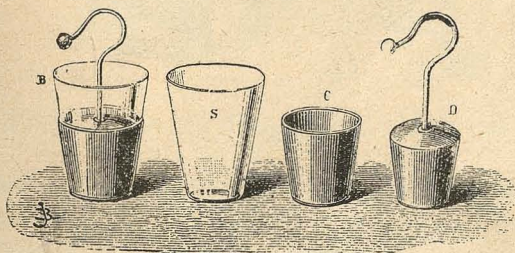


Fig. 178.—Botella de armaduras movibles.

metálica *C* que desempeña el papel de armadura exterior, de un vaso de vidrio *S*, y de una armadura interior *D*. Después de haber electrizado este aparato, colócase sobre una torta de resina y luego se separan las tres piezas. Se nota entonces que las armaduras parecen apenas electrizadas. Y sin embargo, si se vuelve á componer el aparato, se obtiene una chispa muy fuerte.

**6. Batería eléctrica.**—Para construir una batería, se reúnen grandes botellas de Leiden ó *jarras*, de modo que sus armaduras de mismo nombre estén en contacto (fig. 179). Para ello, se las coloca en una caja cubierta interiormente de una hoja metálica que reúne las armaduras externas y comunica con el asa de la caja *T*; unas varillas metálicas *C* reúnen las armaduras internas.

La descarga de una batería produce una chispa poderosa.

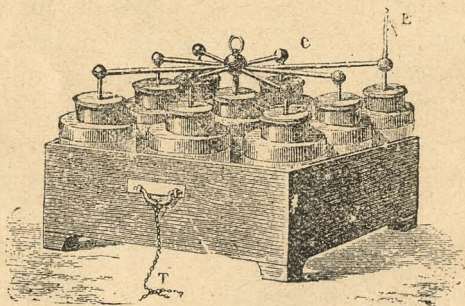


Fig. 179.—Batería eléctrica.

**7. Electroscopio condensador ó electroscopio de Volta.**—El *electroscopio condensador* (fig. 180) está formado de un electroscopio de hojas de oro, provisto en su parte superior del disco metálico *A*, sobre el cual se puede

colocar otro disco conductor *B* que tiene un mango de vidrio. Los discos están separados por una capa de goma laca puesta sobre el disco *A*, formando así un condensador. Ese aparato sirve para poner de manifiesto las fuentes eléctricas de escaso potencial.

Para ello, se hace comunicar la fuente *Z* con el disco *A* que sirve de colector, y el disco *B* con la tierra, tocándolo con el dedo. Se saca primero el dedo, después la fuente, y por fin el disco *B*. Las hojas de oro señalan si hay electrización.

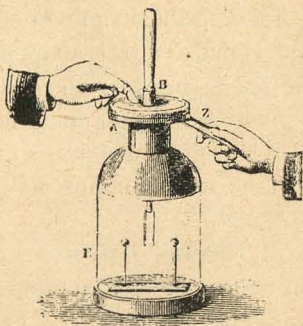


Fig. 180.—Electroscopio condensador.

CUESTIONARIO.—¿Cuál es el objeto de los condensadores?—¿De qué se compone el condensador de platillos?—¿Cómo se lo carga?—¿Qué es el condensador de lámina de vidrio?—Describir la botella de Leiden.—¿Cómo se la carga?—¿Cómo se la descarga?—¿Para qué sirve la botella de armaduras móviles?—¿Cómo se procede?—¿Cómo se construye una batería eléctrica?—¿De qué es compone el electrómetro condensador?—¿Cómo se sirve uno de él?

## CAPÍTULO VII

### Efectos de las descargas eléctricas

1. **División.**—Los efectos de las descargas eléctricas pueden dividirse en efectos *fisiológicos*, *físicos* y *químicos*.

2. **Efectos fisiológicos.**— Cuando una descarga eléctrica atraviesa los órganos de los animales, los músculos

se contraen bruscamente produciendo una sensación desagradable llamada *commoción eléctrica*.

La commoción puede comunicarse simultáneamente á un crecido número de personas. Para ello, deben éstas formar cadena, es decir, darse la mano; la primera toca la armadura exterior de un condensador. Al tocar la última, el botón de la armadura interior, todas reciben una commoción más ó menos violenta, según la intensidad de la descarga.

**3. Efectos físicos.**—Los efectos físicos pueden subdividirse en efectos *luminosos*, *caloríficos* y *mecánicos*.

*Efectos luminosos.* — En el aire atmosférico á la presión ordinaria, las descargas eléctricas producen chispas cuya forma y brillo varían según la distancia. Si esta distancia es muy corta, la chispa es rectilínea; á una dis-

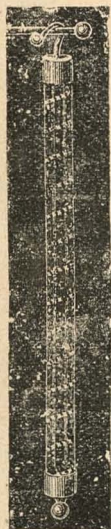


Fig. 181  
Tubo chispeante.

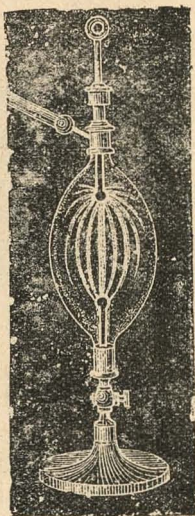


Fig. 182  
Huevo eléctrico.



Fig. 183  
Tubo de Geissler.

tancia de 3 ó 4 centímetros, es sinuosa; á distancias mayores, toma la forma de zizás ó de una línea sinuosa con ramificaciones tenues (fig. 181).

Si se arregla sobre un vidrio una serie de laminillas metálicas, con cortos espacios entre ellas, y se hace comunicar la primera y la última respectivamente con las armaduras de una botella de Leiden, resulta como una corriente de chispas entre las laminillas (*cuadro chispeante*). El *tubo chispeante* presenta fenómeno análogo (fig. 182).

En un gas enrarecido, la chispa se invierte en un vago resplandor tanto más débil, cuanto mayor es el grado de enrarecimiento del aire; notásele con el *huevo eléctrico* (fig. 182) y el *tubo de Geissler* (fig. 183).

*Efectos caloríficos.* — La chispa eléctrica puede inflamar las substancias volátiles, por ejemplo, el éter (fig. 184). Cuando la descarga eléctrica atraviesa algunas hojas metálicas muy delgadas, puede volatilizarlas y fijar las partículas metálicas sobre los objetos que están en contacto, (*experimento del retrato de Franklin*).

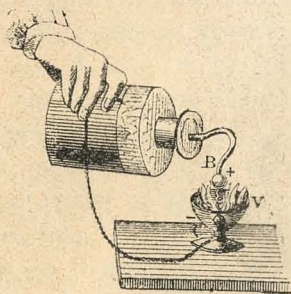


Fig. 184.—Inflamación del éter.

*Efectos mecánicos.* — Las substancias poco conductoras, atravesadas por las descargas eléctricas, son generalmente despedazadas ó taladradas.

Se taladra una placa de vidrio (fig. 185), una hoja de cartón (fig. 186), disponiendo estos objetos entre dos puntas metálicas donde se hace brotar la chispa eléctrica.

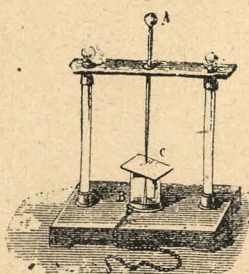


Fig. 185.—Taladra vidrios.

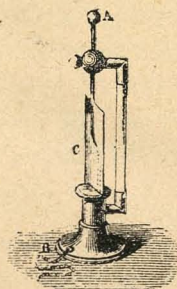


Fig. 186.—Taladra cartas.

4. **Efectos químicos.**—La chispa eléctrica puede excitar ciertas acciones químicas, tales como la combinación ó descomposición de ciertos cuerpos; se usa de ella, por ejemplo, en la síntesis del agua, por medio del *eudiómetro de mercurio*. Puede darse á este experimento la forma que indica la fig. 187; el aparato toma entonces el nombre de *pistola de Volta*.

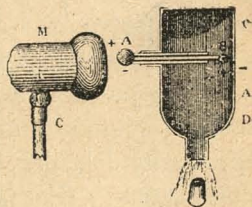


Fig. 187.—Pistola de Volta.

CUESTIONARIO.—¿Cuál es el efecto de una descarga eléctrica á través de los músculos?—¿Cómo se hace el experimento del taladra cartas y del taladra vidrios?—¿Qué es el tubo chispeante?—¿Qué efectos caloríficos puede producir una descarga eléctrica?

## CAPÍTULO VIII

**Electricidad atmosférica**

1. **Histórico.**—Tan luego como la chispa eléctrica fué conocida, se admiraron los físicos por las semejanzas que existían entre sus efectos y los del rayo. Franklin, en 1752, por medio de una cometa armada de puntas metálicas, atrajo la electricidad de las nubes tempestuosas. Dali-bard, guiado por las ideas de Franklin, obtuvo chispas con una vara metálica de cuarenta pies, plantada al aire libre.

De Romas, en 1753, repitió el experimento de Franklin, añadiendo un alambre á la cuerda, y obtuvo chispas de varios pies de largo.

2. **Estudio de la electricidad atmosférica.**—La electricidad existe en la atmósfera y en las nubes. Para estudiar la electricidad atmosférica, se usa el *electroscopio de hojas de oro* encima del cual se coloca un sombrero de latón y una vara larga. Para estudiar el estado eléctrico de las regiones elevadas, se lanzan algunas flechas atadas á un hilo, el cual queda en comunicación con el electroscopio. La divergencia de las hojas de oro es producida por la electricidad del mismo nombre que la atmosférica.

Los experimentos hechos á este respecto han permitido descubrir en la atmósfera un exceso de electricidad positiva en tiempo sereno, mientras el suelo es negativo, y

un exceso de electricidad positiva ó negativa cuando llueve, nieva ó graniza.

Los signos electroscópicos son más sensibles en invierno que en verano; eso se debe probablemente al estado higrométrico del aire.

**3. Electricidad de las nubes.** — Las nubes son positivas unas veces y negativas otras.

Las nubes positivas se explican fácilmente, puesto que las regiones atmosféricas, en medio de las cuales se forman, son positivas. Las nubes negativas se forman al contacto de la superficie del suelo electrizado negativamente, ó bajo la influencia de una nube superior electrizada positivamente.

**4. Origen de la electricidad atmosférica.** — La principal causa de la electricidad atmosférica es la evaporación. Pouillet descubrió en el fenómeno de la evaporación del agua, que el vaso que la contiene se electriza negativamente, y el vapor positivamente, si el agua es salina ó ácida; lo inverso sucede si el agua es alcalina.

Matteucci confirmó los experimentos de Pouillet, tocante á la evaporación de las aguas salinas. Permitido es pues, admitir que durante la evaporación de las aguas en la superficie del globo y particularmente en la superficie del mar, los vapores arrebatan la electricidad positiva, que los vientos esparcen por la atmósfera.

En los tiempos tempestuosos, las nubes vienen á ser unos inmensos conductores eléctricos, y los estallidos del rayo no son más que su descarga, ya entre ellas, ya con el suelo; la luz producida es el *relámpago*, y el ruido el *trueno*.

**5. Relámpago.**—El relámpago es un resplandor vivísimo, producido por una gran chispa eléctrica. Su luz es

generalmente blanca; en algunos casos, sin embargo, tiene un tinte azulado, rojo ó violado.

El relámpago puede ser: 1.º Una *línea sinuosa* que alcanza hasta 15 kilómetros; tal longitud se explica por la propagación de la chispa entre gotitas de agua, á través de las nieblas que se forman por lo general entre las nubes electrizadas. El experimento del cuadro chispeante da una idea clara del fenómeno.

2.º Un *resplandor vivísimo* que abraza en un instante una vasta extensión del horizonte.

3.º Un *globo de fuego* que parece caer desde las nubes sobre la tierra. Todavía no se ha dado explicación satisfactoria del fenómeno.

La claridad difusa y silenciosa que llamamos *relámpago de calor*, no sería sino el reflejo en las capas superiores de la atmósfera, de un relámpago estallado bajo el horizonte.

6. **Ruido del trueno.**—El ruido del trueno es producido por la combinación de dos flúidos eléctricos de nombres contrarios. Las redundancias que le caracterizan se explican por la extensión de las descargas. Las nubes pueden compararse á unos conductores que presentan soluciones de continuidad. Según esta hipótesis, el relámpago se compondría de una serie de chispas distantes desigualmente del observador y que brotan en zonas de densidades diferentes. Lo que explica como llega el ruido del trueno sucesivamente y con desigual intensidad al oído del observador. Como los golpes fulminantes son en general una descarga única entre la cumbre y el suelo, no presentan esa sucesión de estallidos.

El ruido del trueno no llega jamás hasta nosotros, sino algún tiempo después de la luz producida por el relám-

pago, por ser muy diferentes la velocidad de la luz y la del sonido.

La luz se propaga con una velocidad de más de 300.000 kilómetros por segundo; la luz del relámpago recorre, pues, los pocos kilómetros que nos separan de las nubes en un tiempo cortísimo.

El sonido se propaga, con una velocidad que es sólo de unos 340 metros por segundo, lo que equivale á decir que tarda unos 3 segundos en recorrer un kilómetro.

**7. Efectos del rayo.**—Los efectos del rayo son de la misma naturaleza que los de chispas eléctricas, pero en proporciones asombrosas. Así el rayo rompe los cuerpos poco conductores, inflama los cuerpos combustibles, calienta, derrite y volatiliza los metales; á veces hiere mortalmente á los hombres y á los animales. Los estallidos del rayo dejan en pos de sí un olor característico que no es otro que el del ozono.

Los objetos más elevados y los cuerpos buenos conductores son los que están más expuestos á la descarga eléctrica. Se observa, en efecto, que lo que atrae particularmente el rayo son los árboles, los edificios elevados, los campanarios, los picos de las montañas, los metales, etc. Por esto nunca debe buscarse abrigo cerca de ellos durante las tempestades.

**8. Choque de retroceso.**—El *choque de retroceso* es una conmoción violenta y aún mortal que experimentan á veces los hombres y los animales, en distancias más ó menos considerables del lugar en que cae el rayo.

Cuando una nube electrizada actúa sobre los objetos y los seres que se encuentran en la superficie del suelo atrae el fluido de nombre contrario á las partes más elevadas y repulsa el fluido del mismo nombre.

Si esta nube se descarga bruscamente por la influencia de otra, el suelo y los seres vuelven al estado neutro y resulta la sacudida que caracteriza el choque de retroceso.

**9. Pararrayos.** — Los *pararrayos* (fig. 188) son unos aparatos fundados en la propiedad de las puntas y destinados á preservar los edificios de los efectos del rayo.

Se componen de una vara metálica de unos 10 metros de largo sobre 5 ó 6 centímetros de lado en su base, terminada en punta de platino ó de cobre dorado por la parte superior y que comunica con el suelo por la parte inferior.

Cuando una nube electrizada pasa por encima del pararrayo, descompone el fluido neutro de éste y atrae el de nombre contrario que se desliza por la punta y neutraliza el fluido de la nube, mientras que el fluido del mismo nombre es rechazado al suelo. Si la nube se encuentra fuertemente cargada y estalla el rayo, éste cae con preferencia sobre el pararrayo, que es buen conductor, y el edificio queda preservado.

**10. Condiciones de un buen pararrayo.**—Para que un pararrayo sea eficaz, deben:

1.º El conductor ser bastante grueso para que el rayo no lo altere ó derrita;

2.º La comunicación con el suelo ser lo más perfecto que sea posible; para ello, la vara termina en su parte inferior, con dos ó tres ramificaciones que se introducen en un pozo profundo;

3.º El conductor comunicarse con todas las piezas

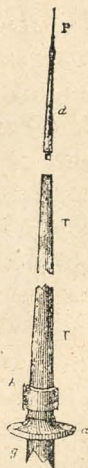


Fig. 188.—Varilla del pararrayo.

metálicas del edificio, y no presentar solución de continuidad.

Se admite que un pararrayo protege un radio doble de su altura.

CUESTIONARIO.—¿Cuál es el origen de la electricidad atmosférica?—¿Cuántas clases de relámpagos se distinguen?—¿Cuáles son los efectos del rayo?—¿A qué es debido el relámpago?—¿Qué produce el retumbar del trueno?—¿Qué se llama choque de retroceso?—¿Qué es un pararrayo?—¿Qué comprende?

## SECCIÓN II

### MAGNETISMO

#### CAPÍTULO I

1. **Imanes.**—Se llaman *imanes* los cuerpos que tienen la propiedad de atraer algunos metales, tales como el hierro, el níquel, el cobalto, el cromo. Esos metales se llaman *substancias magnéticas*.

El *magnetismo* es el conjunto de los fenómenos que presentan los imanes. Esta palabra sirve también para designar la causa de estos fenómenos.

La *piedra imán* ó *imán natural* es el óxido magnético ú óxido salino de hierro  $Fe^3O^4$ , que se encuentra en la naturaleza, particularmente en Suecia y Noruega.

Los *imanes artificiales* son barras de acero á las cuales se ha comunicado las propiedades de los imanes naturales.

**2. Polos de los imanes.**—La fuerza magnética no es igual en toda la superficie de un imán (fig. 189): es nula en la parte media  $MN$  que, por esta razón, ha recibido el nombre de *línea neutra*, y aumenta desde esta línea hasta los dos puntos  $P$  y  $P'$ , situados cerca de sus extremidades y que se designan con el nombre de *polos magnéticos*.

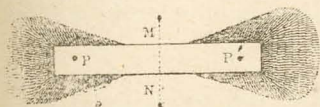


Fig. 189.—Acción de los polos de un imán.

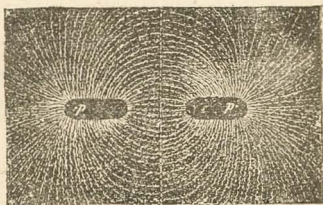


Fig. 190.—Espectro magnético.

Para demostrarlo, basta sumergir en limadura de hierro una aguja ó barra imantada. Se ve entonces que las limaduras se adhieren con fuerza, á los dos extremos de la barra donde forman filamentos, cuya longitud y número van disminuyendo hacia su parte media, al nivel de la cual la adherencia es nula. El mismo fenómeno se reproduce con todos los imanes naturales ó artificiales.

La acción magnética puede ejercerse á distancia y á través de los cuerpos. Si se coloca un imán debajo de una hoja de papel, por ejemplo, y que se echen limaduras de hierro sobre esa hoja, se ve el polvo metálico orientarse bajo la acción del imán y formar líneas curvas cuyo conjunto forma el *espectro magnético* (fig. 190).

Cuando se rompe un imán, cada pedazo resulta ser un imán completo con dos polos. Así al romper una aguja

imantada, se obtienen pequeños imanes completos, es decir, que tienen cada uno dos polos.

**3. Aguja imantada.**—Una aguja imantada (fig. 191) colocada en su parte media sobre un eje, se orienta en una dirección constante que poco más ó menos es la dirección de N. á S.

El polo que se dirige hacia al N. se llama *polo norte*; el otro, *polo sur*.

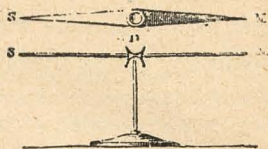


Fig. 191.—Aguja imantada.

**4. Atracción y repulsión magnética.**—Sean N y N', S y S' (fig. 192), los polos de mismo nombre de dos agujas imantadas.

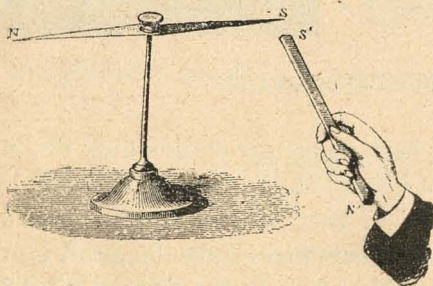


Fig. 192.—Naturaleza diferente de los polos.

La experiencia enseña que S' ejerce una *repulsión* en S. Por lo contrario si se acercan los polos N y S' se nota una *atracción*.

La acción recíproca de los imanes está, pues, sometida á la ley siguiente: *Los polos del mismo nombre se repelen y los polos de nombre contrario se atraen.*

Esta semejanza entre los fenómenos magnéticos y eléctricos ha sugerido la hipótesis de los dos flúidos magnéticos, uno *austral* y otro *boreal*, según sea el nombre de los polos de los imanes en que predomina su intensidad. El flúido *neutro* resulta de la combinación de los dos primeros.

5. **Imán terrestre.**—Cuando se coloca una aguja imantada, arriba de un imán fijo NS (fig. 193), la aguja toma la dirección del imán, de modo que sus polos de nombre contrario coincidan. Se explica por lo tanto la orienta-

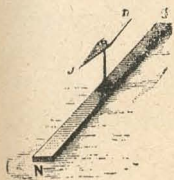


Fig. 193.—Orientación de una aguja imantada en el plano de un imán.

ción de la aguja imantada bajo la acción de la tierra, considerando ésta como un imán inmenso, cuyos polos (*polos magnéticos*) difieren poco de los polos geográficos. Si llamamos pues *austral* el polo magnético terrestre que está al Sur, el polo de un imán móvil que se dirige al Sur será de nombre contrario: se le llamará *polo boreal*.

6. **Imantación por influencia.**—Una barra de acero imantada, colocada en la prolongación de otra barra de *hierro dulce* ó *hierro puro*, desarrolla inmediatamente en ella, por influencia, una imantación temporal. Esta desaparece desde luego que se aparta la barra de acero imantada. Con un imán y pedazos de hierro dulce, se pueden formar cadenas de *imanes temporarios* (fig. 194).

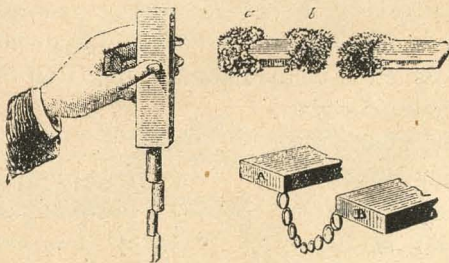


Fig. 194.—Imantación del hierro dulce por influencia.

El *acero*, al contrario, se imanta con dificultad, pero

conserva su imantación. Este obstáculo que en el acero se opone, primero á la separación de los flúidos magnéticos, y después á su recomposición, es una fuerza que ha recibido el nombre de *fuerza coercitiva*.

**7. Procedimientos de imantación.**—1.º *Procedimiento de contacto simple.*—Se frota en el mismo sentido una aguja ó una barra de acero, con la extremidad de una barra imantada; se obtiene así una imantación poco enérgica.

2.º *Procedimiento de doble contacto.*—Se colocan las dos extremidades *b* y *a* de la barra que se quiere imanar, sobre los polos contrarios *A* y *B* de dos imanes poderosos (fig. 195); después se toman otros dos imanes de igual fuerza cuyos polos contrarios *A'* y *B'* se aplican al centro de la barra, inclinándolos sobre ella. Estos dos polos están separados por una pieccita de madera, y corresponden á los polos de los imanes fijos. Hecho esto, se dirige la fricción con los dos imanes inclinados hacia una extremidad de la barra; después hacia la otra, y así sucesivamente, recorriéndola en toda su longitud.

3.º *Método de contactos separados.*—La disposición es la misma que en el método anterior (fig. 195). Se separan uno de otro los dos imanes movibles, haciéndolos resbalar separadamente hacia las extremidades de la barra;

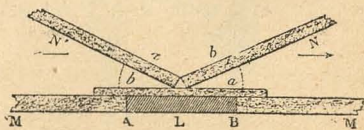


Fig. 195.—Imantación.

después se levantan y se vuelven á colocar en el centro para repetir la misma operación, y así sucesivamente, cierto número de veces, sobre las dos caras.

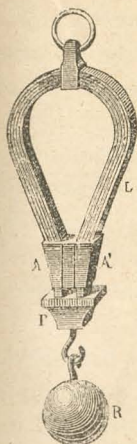


Fig. 196  
Imán de Jamín.

8. **Forma de los imanes.**—Se da las más veces á los imanes la forma de una herradura. Una armadura de hierro dulce reúne los dos polos y sirve para colgar los cuerpos que debe soportar el imán.

El imán *de Jamín* se forma de un haz de láminas imantadas reunidas con una armadura (fig. 196),

9. **Brújula.**—Las *brújulas* son unos instrumentos que señalan una dirección constante, *norte sur magnético*; se fundan en el principio de la acción directriz del



Fig. 197  
Declinación magnética.

magnetismo terrestre sobre la aguja imantada. Se componen de una aguja imantada móvil alrededor de un eje.

10. **Declinación.**—Se llama *declinación* de un lugar, el ángulo que forman entre sí los meridianos geográfico y magnético de ese punto (fig. 197). La declinación varía en cada punto, y en un mismo punto varía con el transcurso del tiempo (1).

(1) Para dar una idea de la variación de la declinación en un mismo lugar, damos á continuación algunas observaciones hechas en París desde unos tres siglos:

1580.....	11° 30'	Este	1825.....	22° 13'	Oeste
1666.....	0		1835.....	22° 4'	—
1700.....	8,12'	Oeste	1850.....	20° 31'	—
1780.....	20,35'	—	1860.....	19° 22'	—
1790.....	22° 00	—	1875.....	17° 21'	—
1814.....	22° 34'	—	1878.....	17° 00'	—

Es *oriental* cuando el norte magnético se encuentra á la derecha del norte geográfico, y *occidental* en el caso contrario. La declinación de Santiago era de  $14^{\circ} 33'$  el 15 de Abril de 1904.

*Brújula de declinación.*—Se obtiene la declinación con la *brújula de declinación*, formada de una aguja imantada (fig. 198), móvil al rededor de un eje vertical. Un anteojo  $L L'$  permite colocar el instrumento en el plano del meridiano geográfico, y el ángulo que forma esta dirección con la aguja da el valor de la declinación.

La *brújula marina ó compás de mar* es una brújula de declinación, suspendida de manera que quede siempre horizontal y pueda girar sobre un círculo dividido en grados y que lleva la *rosa de los vientos* (fig. 199). Sirve para dirigir los buques.

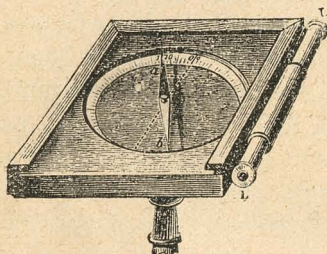


Fig. 198.—Brújula de declinación.

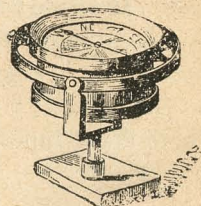


Fig. 199.—Brújula marina.

11. **Inclinación.**—Se llama *ángulo de inclinación* el menor ángulo que forma con la horizontal la aguja imantada móvil en el plano del meridiano magnético. Se obtiene el ángulo de inclinación, por medio de la *brújula de*

*inclinación*, compuesta de una aguja imantada (fig. 200) móvil al rededor de un eje horizontal. Se coloca el apar-

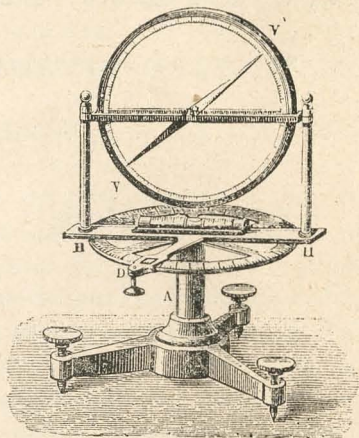


Fig. 200.—Brújula de inclinación.

VV', círculo vertical en cuyo centro está el eje horizontal de la aguja;

HH', círculo horizontal fijo en el pie A.

to de modo que la aguja esté en el plano del meridiano magnético del lugar.

La inclinación no es la misma en todos los lugares del globo terrestre. Vale  $90^\circ$  en el polo magnético y  $0^\circ$  en el ecuador magnético; en Santiago era de  $30^\circ 38'$  el 15 de Abril de 1904.

CUESTIONARIO. — ¿Qué se llaman imanes y sustancias magnéticas? — ¿Qué se observa cuando se pone un imán en limaduras de hierro? — ¿Cómo se hace el experimento del espectro magnético? — ¿Cómo se orienta la aguja imantada? — ¿Cuál es la ley de las atracciones y de las repulsiones magnéticas? — ¿Cómo se explica la orientación de los imanes bajo la influencia de la tierra? — Describe los diversos procedimientos de imantación. — ¿Qué forma se da á los imanes? — ¿Qué es una brújula? — ¿Qué son la declinación y la inclinación? — ¿Cómo se obtienen una y otra?

# SECCION III

## ELECTRICIDAD DINAMICA

### CAPÍTULO I

#### Pilas eléctricas

1. **Electricidad dinámica.**—*La electricidad dinámica es el estudio de los fenómenos producidos por la electricidad en movimiento.*

2. **Pila.**—La pila es un aparato que produce una corriente de electricidad, mediante ciertas acciones químicas.

Sea un vaso de vidrio con agua acidulada (mezcla de agua y ácido sulfúrico) y, medio sumergidas, dos láminas, una de cobre y otra de zinc; fijemos á cada lámina un hilo de cobre. Aquí tenemos un elemento de pila ó *par voltáico*. Las láminas se llaman *electrodos*; los hilos de cobre son los *polos* del elemento.

Una reunión de elementos convenientemente asociados constituye una *pila*.

2. **Fuerza electromotriz.**—En el elemento precedente, los dos polos son electrizados, y entre ellos existe una diferencia de potencial. Esta diferencia de potencial se llama *fuerza electromotriz*. El polo en contacto con la lámina de cobre es el que tiene el potencial más elevado; se lo denomina *polo positivo*; el polo en contacto con la lámina de zinc se llama *polo negativo*.

La fuerza electromotriz de un elemento de pila depende únicamente de la naturaleza de los metales y del líquido en contacto. Esta fuerza es completamente independiente de la forma, del tamaño y de la distancia de las láminas metálicas, y del grado de concentración de los líquidos.

**3. Producción de la corriente eléctrica.** — Juntemos los dos polos: siendo el potencial del polo positivo más elevado que el del polo negativo, la electricidad se pone en movimiento en los hilos de cobre reunidos (*conductor exterior ó reóforo*), dirigiéndose del polo positivo al polo negativo. Este movimiento se llama *corriente eléctrica*.

Se puede notar la existencia de la corriente, acercando una aguja imantada móvil sobre su eje, al hilo metálico que une los dos polos. Vese en seguida la aguja desviarse de su dirección norte sur.

**4. Acción química en el interior de la pila.** — La causa de la energía de la corriente es la actividad química en el interior de la pila.

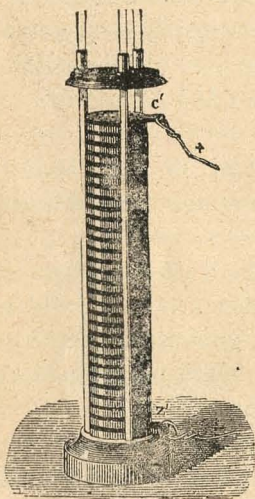
Los átomos del zinc se sustituyen á los átomos del hidrógeno del ácido sulfúrico para llegar á formar sulfato de zinc. Así la pila consume zinc, lo mismo que consume carbon la máquina de vapor, para producir lo que llamamos energía.

**5. Analogía hidráulica.** — Una máquina hidráulica eleva el agua á cierta altura de donde puede caer á su nivel primitivo, formando una corriente líquida continua; del mismo modo una pila eleva la electricidad á cierto nivel eléctrico ó potencial, de donde cae á lo largo del conductor interpolar, formando una corriente eléctrica.

Los dos polos se mantienen á potenciales constantes. El circuito exterior es como una pendiente por la cual la

electricidad baja del polo positivo al polo negativo. Llegada al polo negativo, sube de nuevo hasta el positivo, recorriendo el circuito interior formado por el líquido y las dos láminas.

**6. Pila de Volta.**—La primera pila se debe á Volta. Al soldar juntos un disco de cobre y un disco de zinc, se obtiene un elemento ó par voltaico. Se sobreponen varios de esos pares, separándolos con ruedecitas de paño, impregnadas de agua acidulada. Si se reunen entonces el último zinc y el primer cobre con un hilo metálico, dicho hilo se halla recorrido por una corriente eléctrica.



El último zinc y el primer cobre pueden suprimirse, porque sirven tan sólo de conductores por no estar en contacto con el líquido excitador.

La fuerza electromotriz de la corriente es sensiblemente proporcional al número de pares; por lo cual se disponen muchos discos unos sobre otros, de modo que se tenga una pila de ellos (fig. 201).

La *pila de artesa* es una modificación de la pila de Volta; los pares voltaicos, en vez de colocarse verticalmente, se reunen en una caja horizontal.

Fig. 201.—Pila de columna de Volta.

**NOTA.**—En todas las pilas se amalgama el zinc, porque entonces no se deja atacar por el ácido sulfúrico sino cuando está cerrado el circuito. El zinc amalgamado es zinc cubierto de una capa de mercurio.

**7. Pila de Wóllaston.**—Un elemento de Wóllaston se compone de una lámina de cobre *C* (fig. 202) en-corrada como lo enseña la figura, de manera que envuelve sin tocarla una lámina de zinc *Z*. El conjunto está sumergido en un vaso *V* que contiene agua acidula-da.

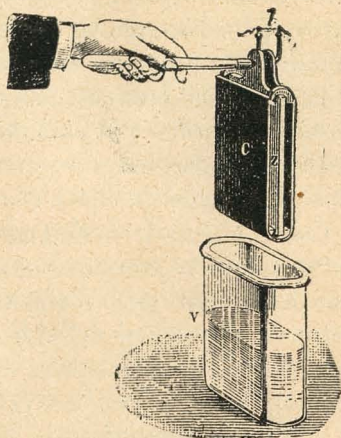


Fig. 202.—Un elemento de Wóllaston.

**8. Disminución progresiva de la corriente.**—En las pilas anteriores, la intensidad de la corriente decrece rá-

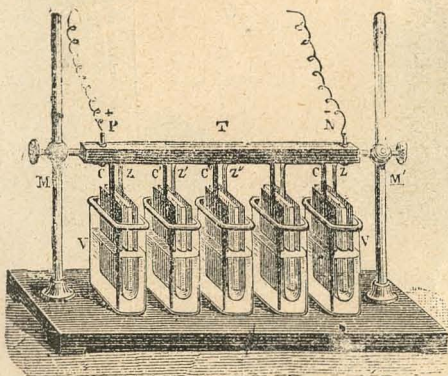


Fig. 203.—Pila de Wóllaston.

pidamente, debido: 1.º á la disminución de la acción química, á consecuencia de la neutralización del ácido sulfúrico, á medida que va obrando sobre el zinc; 2.º á que el hidrógeno proveniente de la descomposición del agua, se dirige á las láminas de cobre, lo que no sólo es un obstáculo mecánico al paso de la corriente, sino que además origina corrientes secundarias y opuestas á la principal; fenómeno que lleva el nombre de *polarización*.

Con el objeto de evitar estos inconvenientes, se han construido pilas con líquidos diferentes, uno de los cuales contiene un cuerpo oxigenado (*cuerpo despolarizador*) capaz de apoderarse del hidrógeno para volver á formar agua con él. Las principales son la *de Daniell*, la *de Bunsen*, la *pila de bicromato de potasio* y la *pila de Leclanché*.

9. **Pila de Daniell.**—Un elemento de Daniell (fig. 204)

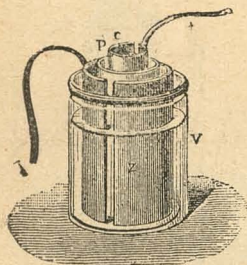


Fig. 204.—Elemento de pila Daniell.

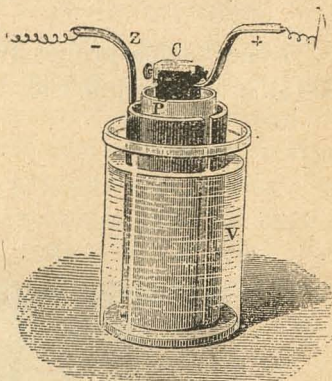


Fig. 205.—Elemento de Bunsen.

se compone: 1.º De un vaso exterior *V* que contiene ácido sulfúrico diluido en que se sumerge una lámina de zinc *Z*; es el polo negativo de la pila; 2.º De un vaso po-

Cuando está cerrado el circuito, el zinc en presencia del ácido sulfúrico descompone el agua y forma sulfato de zinc; el hidrógeno se transporta sobre el ácido nítrico para formar agua y productos nitrogenados menos ricos en oxígeno que se disuelven en parte en el líquido (emanaciones de anhídrido hiponítrico). Esa pila es muy enérgica; pero es menos constante que la anterior, debido á la desaparición rápida del ácido sulfúrico.

11. **Pila de bicromato de potasio** (fig. 206).—Un elemento comprende un vaso en forma de botella, que contiene una disolución de bicromato de potasio á la que se añade ácido sulfúrico; dos láminas de cobre *C, C*, y una lámina de zinc se sumergen en ese líquido.

12. **Pila de Leclanché** (fig. 207).—El polo negativo de la *pila de Leclanché* está formado por un pequeño cilindro de zinc sumergido en una disolución de cloruro de amonio. El carbón del polo positivo está envuelto en una mezcla de bióxido de manganeso y de carbón.

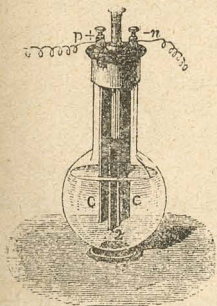


Fig. 206.—Pila de bicromato.



Fig. 207.—Pila de Leclanché.

Esta pila es constante y de larga duración; se usa ge-

neralmente en los telégrafos, los teléfonos, las campanas eléctricas, etc.

**13. Leyes de las corrientes.** — Las corrientes eléctricas están sometidas á la ley siguiente (ley de Ohm):

*La intensidad es directamente proporcional á la fuerza electromotriz de la pila é inversamente proporcional á la resistencia total del circuito* (la de la pila y la del conductor).

Si llamamos  $I$  la intensidad de la corriente, ó cantidad de electricidad gastada en un segundo,  $E$  la fuerza electromotriz, y  $R$  la resistencia del circuito, tendremos la fórmula siguiente (fórmula de Ohm):

$$I = \frac{E}{R}$$

La resistencia del conductor es:

1.º *Proporcional á su longitud;*

2.º *Inversamente proporcional á la superficie de su sección;*

3.º *Inversamente proporcional á su grado de conductibilidad eléctrica.*

Sea  $l$  la longitud del conductor,  $s$  la sección, y  $c$  el coeficiente de conductibilidad; la resistencia  $r$  será

$$r = \frac{l}{cs}$$

**14. Analogías hidrostáticas.** — Si dos depósitos de agua, de niveles diferentes é invariables, se hallan en comunicación por un tubo, se forma en este tubo una corriente líquida de velocidad constante. La cantidad de agua que pasa en un segundo, depende de la *diferencia de los niveles* en los dos depósitos, y de la *resistencia* que el tubo opone á la salida del agua, á causa de su longitud y de su sección más ó menos angosta.

Del mismo modo, los polos de una pila se mantienen á niveles eléctricos constantes, y entre ellos se forma al través del reóforo una corriente continua. La cantidad de electricidad en un segundo ó *intensidad* de la corriente eléctrica, depende de la *diferencia de nivel* ó *potencial* en los dos polos, y de la *resistencia* que el circuito interior y exterior opone al movimiento de la electricidad.

15. **Montaje de las pilas.**—La asociación de los elementos de una pila puede hacerse de tres modos diferentes:

1.º *En fuerza electromotriz* ó *en serie*, uniendo los elementos por sus polos de nombres contrarios.

2.º *En superficie* ó *en batería*, uniendo los elementos por sus polos de mismo nombre.

3.º *En asociación mixta*, combinando los dos primeros modos de asociación.

Sea  $E$  la fuerza electromotriz de cada elemento,  $r$  su resistencia propia,  $R$  la resistencia del conductor interpolador y  $n$  el número de los elementos, la fórmula de Ohm viene á ser:

$$1.º \text{ En la asociación en serie, } I = \frac{n E}{n r + R}$$

$$2.º \text{ En la asociación en batería, } I = \frac{E}{\frac{r}{n} + R}$$

En una asociación mixta, si hay  $p$  series de  $n$  elementos cada una, se tendrá

$$I = \frac{n E}{\frac{n r + R}{p}}$$

**16. Unidades eléctricas.**—Para medir estos valores, se adoptan unidades.

1.º La unidad de resistencia se llama *ohm*; se halla exactamente representada por la resistencia de una columna de mercurio de 1 milímetro cuadrado de sección, y de 106,3 centímetros de largo, á la temperatura de 0º.

2.º La unidad de *fuerza electromotriz* se llama el *volt*; es aproximadamente la fuerza electromotriz de un elemento de Volta (formado de un cobre y de un zinc sumergidos en agua acidulada).

La fuerza electromotriz de un par de Volta es, pues, 1 volt; la de Bunsen de 1 volt, 9; la de Leclanché es de 1 volt, 155; la de Daniell es de 1 volt, 108.

3.º La unidad de *cantidad* se llama *coulomb*; el coulomb es la cantidad de electricidad necesaria para desprender 0 gr., 001118 de plata de una solución neutra de nitrato de plata, que contenga aproximadamente 15 partes de nitrato para 85 de agua.

4.º La unidad de *intensidad* es el *ampere*; el ampere es un coulomb por segundo.

**17. Pilas termoeléctricas.**—Las *pilas termoeléctricas* son pilas cuyas corrientes son debidas no á una acción química, sino á la desigualdad de temperatura en las soldaduras de dos metales diferentes.

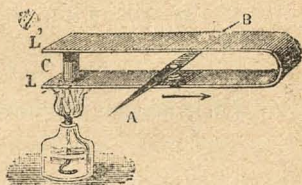


Fig. 208.—Experimento de Seebeck.

El *experimento de Seebeck* (fig. 208) demuestra que si se toma una lámina de cobre *LL'* soldada con un pequeño cilindro de bismuto *C*, y que se calienta una soldadu-

ra. se produce una corriente capaz de hacer desviar una aguja imantada *A B*. Se nota que la corriente va del bismuto al cobre atravesando la soldadura caliente, y que su intensidad es proporcional á la diferencia de temperatura de las dos soldaduras.

18. **Pila de Melloni.**—La *pila de Melloni* (fig. 209) está compuesta de muchas láminas pequeñas de antimonio y de bismuto, puestas alternativamente, soldadas por sus extremidades y vueltas sobre sí de modo que las soldaduras de orden impar estén á un lado y las soldaduras de orden par al otro lado, formando un prisma el conjunto. Las extremidades de la pila rematan en dos topos *B* y *B'* que son los dos polos de la pila.

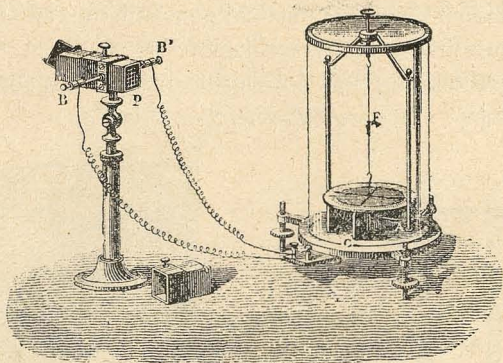


Fig. 209.—Pila de Melloni.

Prodúcese una corriente cuando esas dos caras tienen diferente temperatura. Las corrientes termoelectricas no son fuertes, pero conservan una intensidad constante, mientras queda constante la diferencia de temperatura.

CUESTIONARIO.—¿Qué es electricidad dinámica?—¿Qué se llaman pilas?—¿Cómo se construye una pila de Volta?—¿Cuál es el metal que forma el polo negativo en cada par?—¿Por qué se toman muchos pares?—¿Qué es el zinc amalgamado?—¿Qué ventaja ofre-

ce en las pilas?—¿De qué se compone la pila de artesa?—Dar la descripción de un elemento de las pilas de Wóllaston, de Daniell y de Bunsen.—Decir para cada una las reacciones químicas que se producen.—¿Cómo se construye la pila de bicromato de potasio, la pila de Leclanché? —¿A qué es debida la corriente en las pilas termoeléctricas? —¿Cómo se repite el experimento de Seebeck?—Dar la descripción de la pila de Melloni. — Definir el ohm, el volt, el ampere, el coulomb.

## CAPÍTULO II

### Principales efectos de las corrientes

Los efectos de la corriente eléctrica pueden ser *físicos*, *fisiológicos* y *químicos*.

1. **Efectos físicos.** — Si se introduce en el circuito un hilo metálico muy fino, ese hilo se calienta, se enrojece, puede fundirse y aún volatilizarse.

Los efectos luminosos se utilizan bajo dos formas: el *arco voltaico* y la *incandescencia en el vacío*.

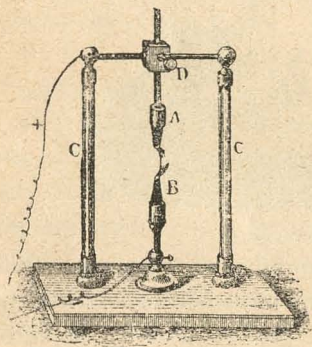


Fig. 213.—Arco voltaico.

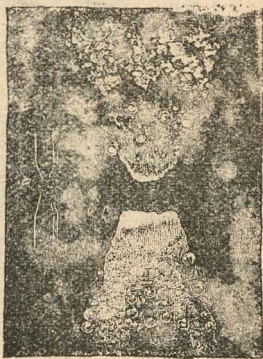


Fig. 211.—Carbones del arco voltaico.

2. **Arco voltaico.**—Si se hace terminar los reóforos de una pila poderosa en dos lápices de carbón de retorta *A* y *B*

(fig. 213) puestos en contacto, se ve salir entre ellos una luz deslumbradora; si se alejan algo los carbones, la corriente sigue pasando y produce un arco llamado *arco voltáico*.

Ese arco es á un tiempo muy caliente y muy luminoso; es el modo más económico del alumbrado eléctrico. Sin embargo tiene la desventaja de ofrecer un foco demasiado fuerte para los usos ordinarios, de producir anhídrido carbónico por la combustión del carbón y sobre todo de exigir un regulador costoso y poco constante.

Los *reguladores* son unos aparatos que sirven para mantener los extremos de los dos carbones á una distancia conveniente, porque al paso que se gastan, el intervalo que los separa aumenta y llegaría un momento en que dejase de pasar la corriente.

Las *bujías de Jablochkoff* (fig. 212) no necesitan de re

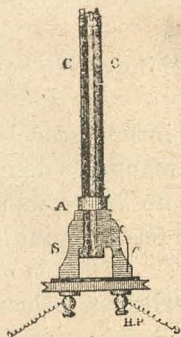


Fig. 212.—Bujía de Jablochkoff.

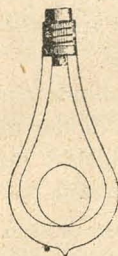


Fig. 213.—Lámpara de incandescencia.

gulador. Esas bujías se forman con dos lápices de carbón separados por una lámina de yeso; el arco voltáico sale

entre sus extremidades y volatiliza el yeso á medida que se gastan los carbones. Para hacer la luz más suave, se coloca el arco voltaico en un globo de vidrio sin pulimentar.

*Hornos eléctricos.*—Se utiliza la altísima temperatura del arco voltaico para construir hornos en los cuales se consigue fundir cal, cristalizar carbono y preparar el carburo de calcio, generador del acetileno, el aluminio y aligaciones de aluminio.

**3. Incandescencia en el vacío.** — Las lámparas de incandescencia aprovechan el calor producido por una corriente que atraviesa un hilo fino introducido en el circuito (fig. 213).

La *lámpara de Edison* comprende un circuito que penetra en un globo de vidrio cerrado en que se ha hecho el vacío; el circuito se forma en el globo por un hilo de carbón del grueso de una crin de caballo. La corriente teniendo una grande resistencia para atravesar ese hilo, lo calienta y lo lleva á la incandescencia, lo que produce una luz suave y poderosa.

En esos aparatos la combustión es imposible por falta de oxígeno.

El alumbrado con las lámparas de incandescencia tiene la ventaja de dar una luz suave y regular, y de no producir anhídrido carbónico, ya que no hay combustión. Además es más fácil multiplicar los focos luminosos con ella que con el arco voltaico.

**4. Efectos fisiológicos de las corrientes.**—Cuando se hacen comunicar los polos de una pila con los músculos de un animal se nota una contracción al abrir y al cerrar el circuito.

*Experimento de Galvani.*—Galvani, profesor en la universidad de Bolonia, fué el primero que descubrió la

existencia de la electricidad dinámica. El experimento que lo condujo á su descubrimiento puede repetirse del modo siguiente: se toman los miembros posteriores de una rana, y después de desollados, con un arco metálico compuesto de una varilla de cobre y otra de zinc, se inserta la extremidad del cobre junto á los nervios lumbares del animal, y se acerca el zinc á los músculos de la pata: se nota á cada contacto una viva contracción de los músculos.

**5. Efectos químicos.**—Cuando se obliga una corriente bastante fuerte á que atraviase un compuesto químico, por lo común hay descomposición del cuerpo. Se llama *electrolisis* al análisis de los cuerpos por las corrientes.

Los efectos de descomposición se producen siempre al contacto de los electrodos.

Entre los productos de la electricidad, se llaman *electropositivos* á los que se dirigen al electrodo negativo, y *electronegativos* á los que van al electrodo positivo. Por ejemplo, cuando se descompone el agua por la pila, el oxígeno se desprende en el electrodo positivo y el hidrógeno en el electrodo negativo.

**6. Voltámetro.**—El voltámetro es el aparato que sirve para descomponer el agua por la pila. Comprende dos probetas llenas de agua algo acidulada en que penetran los electrodos.

Se obtienen dos volúmenes de hidrógeno en el polo (—) y un volumen de oxígeno en el polo (+).

Si se suprime la pila y se ponen en comunicación los reóforos, se nota que el voltámetro desempeña el papel de una pila cuya corriente va en dirección contraria á la que ha descompuesto el agua. El oxígeno y el hidrógeno

desaparecen poco á poco y restituyen el agua descompuesta. La electricidad se ha condensado en el voltámetro, para ser luego restituída en una corriente contraria á la primera.

Los *acumuladores* industriales se basan precisamente en este mismo principio.

**7. Acumulador.**—Un *acumulador* se compone de láminas de plomo paralelas, sumergidas en agua acidulada. Las láminas pares, así como las impares, están reunidas por medio de una varilla metálica que las pone en comunicación con un manantial de electricidad. Una vez que pasa la corriente eléctrica, las láminas se vuelven electrodos, y el agua se descompone del mismo modo que en el voltámetro. Cuando cargado el aparato, se suspende la corriente de carga. Si se cierra el circuito, se produce en el acto una corriente de descarga, en sentido inverso á la de carga.

**8. Galvanoplastia.**—La *galvanoplastia* tiene por objeto depositar capas metálicas en la superficie de los cuerpos, precipitando los metales de sus disoluciones salinas con ayuda de una corriente eléctrica.

Si la pieza que se quiere cubrir es metálica, basta limpiarla. Se procede del modo siguiente: se calienta la pieza con la llama; después se la sumerge en agua algo acidulada con ácido sulfúrico y luego durante algunos segundos en ácido nítrico diluído, y por fin en ácido concentrado; se lava después al agua pura.

Se cuelga entonces el objeto del polo negativo de una pila cuyo otro electrodo está formado por una lámina del metal que se debe depositar (fig. 215). Los electrodos están sumergidos en una disolución de sulfato de cobre para el bronceado, de cianuro doble de oro y de potasio

para el dorado, de plata y de potasio para el plateado; de sulfato doble de níquel y de amonio para el niquelado.

Si no es metálico el objeto, hay que hacerlo conductor; para metalizar un objeto no conductor, piedra, madera, yeso, se lo cubre de plumbagina, y luego se procede como ya se ha dicho.

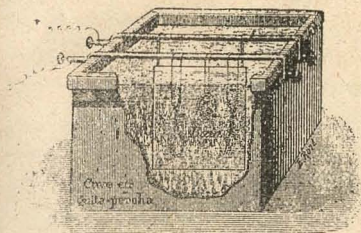


Fig. 214.—Aparato compuesto para la galvanoplastia.

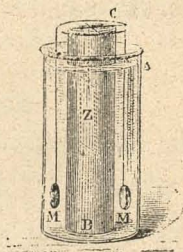


Fig. 215.—Aparato simple para la galvanoplastia.

Cuando se quiere reproducir medallas, elisés, etc., se toma de ellos un molde con cera, gutapercha, azufre. Ese molde siendo metalizado, la galvanoplastia produce una imagen idéntica al modelo.

*Aparato sencillo.*—Si no se trata sino de objetos pequeños, se puede suprimir la pila. Se introduce en una solución de sulfato de cobre un vaso poroso que contenga ácido sulfúrico y una lámina de zinc. Un hilo de cobre reúne la lámina de zinc con la varilla de que penden los objetos que deben recibir la capa de cobre y que están sumergidos en la solución de sulfato de cobre. Inmediatamente pasa la corriente y el metal comienza á depositarse.

**CUESTIONARIO.**—¿Qué sucede cuando una corriente atraviesa un hilo metálico muy fino?—¿Cómo se produce el arco voltaico?—¿Qué inconvenientes tiene el alumbrado con el arco voltaico?—¿Qué son hornos eléctricos?—¿En qué consisten las bujías de Jablochkoff y las lámparas de incandescencia?—¿Por qué el hilo de carbón de las lámparas no se quema?—¿Qué sucede cuando una fuerte corriente atraviesa un compuesto químico?—¿Qué se llaman cuerpos electropositivos?—¿Cuál es el objeto de la galvanoplastia?—¿Cuáles son las preparaciones necesarias para galvanizar un cuerpo metálico y otro no metálico?—¿Qué es voltámetro? acumulador?

# SECCIÓN IV

## ELECTROMAGNETISMO

### ELECTRODINAMISMO

#### CAPÍTULO I

#### Electromagnetismo

##### I.—ACCIONES DE LAS CORRIENTES SOBRE LOS IMANES

1 **Definición.**—El electromagnetismo es la parte de la física cuyo objeto es el estudio de las acciones de las corrientes sobre los imanes y de los imanes sobre las corrientes.

2. **Experimento de Ørstedt.**—Supongamos que se reúnan los dos polos de una pila, por medio de un largo hilo metálico, y que se aproxime una porción rectilínea de este hilo, mantenida en el meridiano magnético  $SN$ , á una aguja imanada  $a b$ , movible sobre un eje vertical (fig. 216).

La aguja se desviará inmediatamente de su posición de equilibrio, y *tenderá á tomar una dirección perpendicular á la corriente*, es decir, *á ponerse en cruz con ella*.

La regla de Ampere hace conocer el sentido de esta dirección.

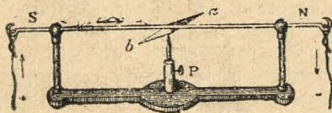


Fig. 216.—Experimento de Ørstedt.

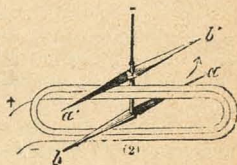


Fig. 217.—Agujas astáticas.

3. **Regla de Ampere.**—*El polo austral de la aguja está constantemente desviado hacia la izquierda de la corriente.*

Se llama *izquierda de la corriente* la izquierda de un observador que mirara la aguja, y colocado de modo que la corriente le entrara por los pies y saliera por la cabeza.

4. **Multiplicador.**—El *multiplicador* tiene por objeto aumentar la acción de la corriente sobre la aguja imantada. Se compone de un marco de madera sobre el que se arrolla el hilo atravesado por la corriente. Se coloca la aguja en el centro del marco.

5. **Agujas astáticas.** — Se llaman *agujas astáticas* el conjunto de dos agujas imantadas é idénticas, fijas en el mismo eje, de modo que sus polos de nombre contrario se corresponden (fig. 217). Si las agujas son perfectamente idénticas, el sistema es absolutamente astático, es decir, que la tierra no ejerce acción alguna sobre él; no se lo podría emplear. Existe siempre alguna pequeña diferencia de imantación entre las agujas: es esta diferencia que el multiplicador debe vencer para orientar el sistema.

6. **Galvanómetro.**—

El galvanómetro (fig. 218) es un aparato que indica la presencia de las corrientes y compara su intensidad; se fundó en el experimento de Ørstedt.

El galvanómetro comprende:

1.º Un *multiplicador* en que se hace pasar la corriente que se desea estudiar.

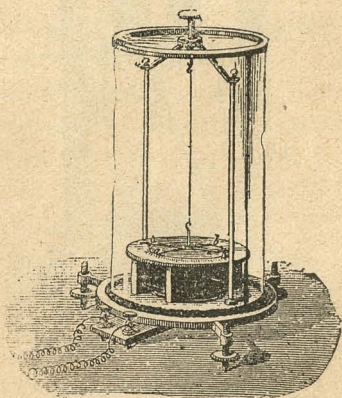


Fig. 218.—Galvanómetro.

2.º Un sistema *astático* de dos agujas imantadas, colocadas, una encima del multiplicador, la otra en el interior.

La aguja colocada fuera del marco se mueve sobre un círculo dividido, y su desviación es tanto mayor cuanto más intensa es la corriente.

7. **Imantación por las corrientes.**—Si se enrosca un hilo metálico en espiral alrededor de un tubo de vidrio en cuyo interior se coloca una aguja (fig. 219), y se hace



Fig. 219.—Acción de una corriente sobre un alambre de acero.

pasar en el hilo una corriente, la aguja queda imantada. En una aguja de hierro dulce, la imantación cesa con la corriente; en una de acero, es permanente.

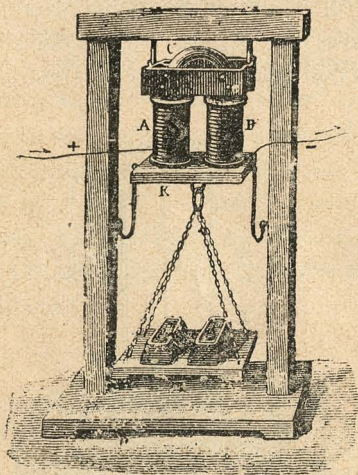


Fig. 220.—Electroimán.

8. **Electroimán.**—El *electroimán* (fig. 220) está formado por un cilindro de hierro dulce envuelto por un carrete de hilo metálico en que pasa una corriente. En el electroimán de forma de herradura, sólo se envuelven las extremidades, y el enroscamiento ha de ser tal que el hilo de un carrete sea la continuación del hilo del otro, de modo que la corriente vaya de derecha á izquierda

en un carrete y de izquierda á derecha en el otro.

El poder de los electroimanes es muy superior al de los imanes permanentes. Aumenta con las dimensiones del cilindro de hierro dulce, con el número de capas del hilo conductor y con la intensidad de la corriente.

**9. Campanillas eléctricas.**—Las *campanillas eléctricas* tienen un timbre contra el cual da un martillo accionado por un electroimán (fig. 221).

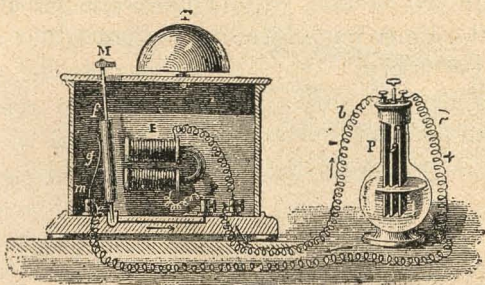


Fig. 221.—Campanilla eléctrica.

Cuando pasa la corriente, el electroimán *E* atrae el martillo *M* que viene á pegar en el timbre *T*; pero entonces la corriente queda interrumpida por no tocar más el resorte *g* el mango del martillo; el electroimán pierde su imantación y el martillo vuelve á tocar el resorte *g*; la corriente pasa de nuevo, y se reproducen los mismos fenómenos: se obtiene así un *timbre temblador*.

## II.—TELEGRAFÍA ELÉCTRICA CON HILO

**10. Definición.**—La *telegrafía* tiene por objeto transmitir á lo lejos el pensamiento por medio de signos convencionales.

**11. Elementos esenciales de un telégrafo eléctrico con hilo.**—Un telégrafo eléctrico con hilo comprende: 1.º el *manipulador*; 2.º el *receptor*; 3.º un *circuito metálico* que reúne las dos estaciones; 4.º una *pila* cuya corriente circula entre dichas estaciones.

El *manipulador* es un aparato que permite establecer ó interrumpir el paso de la corriente en el circuito.

El *receptor* se compone de un electroimán cuyo hilo forma parte del circuito, y que puede, cada vez que pasa la corriente, atraer una armadura de hierro dulce.

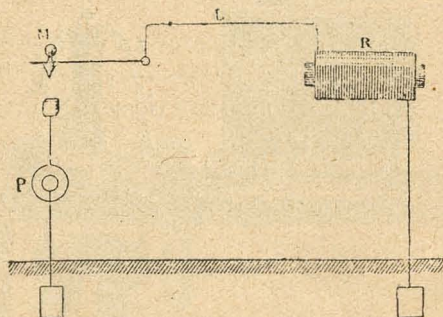


Fig. 223.—Principio del telégrafo

*M*, manipulador; *R*, receptor; *L*, hilo de línea que forma el circuito; *P*, pila.

El *circuito* es un hilo metálico que une el manipulador con el receptor. Esos aparatos comunican también con el suelo habiendo éste de completar el circuito. Cuando el hilo es aéreo, está sostenido por postes; los garfios que lo sujetan están aislados del poste con un sustentáculo de vidrio ó de porcelana.

A menudo los hilos telegráficos pasan por debajo de la tierra en tubos especiales. Cuando deben atravesar el océano, se aíslan unos de otros con gutapercha haciendo

de ellos un verdadero cable protegido por una vaina metálica aislada del núcleo.

Cuando las estaciones son distantes, se coloca en ellas una campanilla eléctrica, y se disponen los conductores de modo que la corriente de la estación expedidora solo pase por el circuito.

Los telégrafos más conocidos son el de *Morse* y el de *Breguet*.

**12. Telégrafo de Morse.**—*Manipulador* (fig. 223). El manipulador del telégrafo de Morse se compone de una palanca móvil al rededor de un eje *A*.

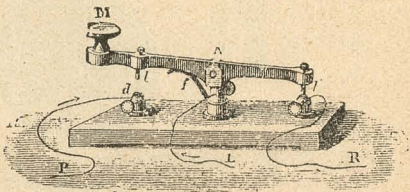


Fig. 223.—Manipulador de Morse.

Cuando, bajo la acción del resorte *f*, ocupa la posición que enseña la figura, la corriente queda interrumpida en *d*; pero si se apoya en *M*, se establece en *d* la corriente que pasa mientras dura el contacto.

*Receptor* (fig. 224).—El receptor del telégrafo de Morse comprende un electroimán *A* que puede atraer un pequeño cilindro de hierro dulce *m* cuando pasa la corriente. Ese cilindro hace mover una palanca *B*, cuya extremidad lleva una púa para escribir, debajo de la cual pasa una faja de papel de un modo regular, mediante un mecanismo de relojería.

*Funcionamiento*.—Cuando el electroimán atrae el cilindro de hierro dulce, la púa de escribir viene á apoyarse sobre la faja de papel, y como corre ésta regularmente, traza la púa una línea tanto más larga cuanto más tiempo dura el contacto. Cuando se hace funcionar el mani-

pulador, es decir, cuando se abre y se cierra alternativamente la corriente en el circuito, la palanca del receptor sigue naturalmente los movimientos del manipulador, de modo que según sea largo ó corto el contacto de la palanca del manipulador con la pieza *d*, se obtendrá puntos ó trazos sobre la faja de papel del receptor. Admi-

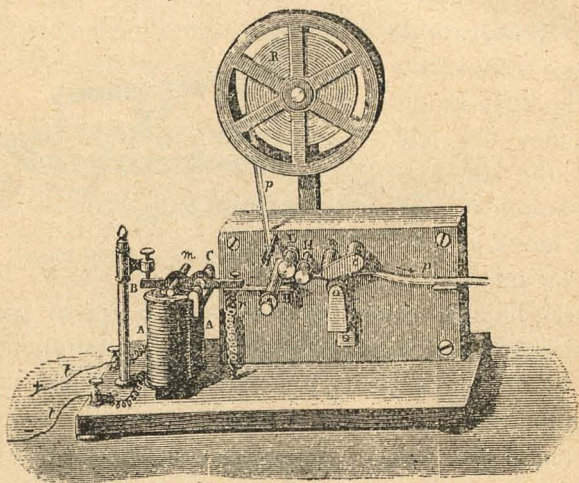


Fig. 224.—Receptor de Morse.

*A A*, electroimán; *B B*, palanca; *C*, su eje; *m*, su armadura de hierro dulce; *r*, resorte antagonista; *R*, rollo de papel; *H*, rueda de escribir.

tiendo una combinación especial de puntos y trazos para representar cada letra del alfabeto, se podrán reproducir las palabras.

Cada estación telegráfica tiene siempre un manipulador y un receptor.

Se disponen entonces los aparatos como lo enseña la figura 225. de modo que el mismo hilo telegráfico sirva en ambas direcciones.

Esa figura representa el paso de la corriente, cuando una estación envía un telegrama á la otra.

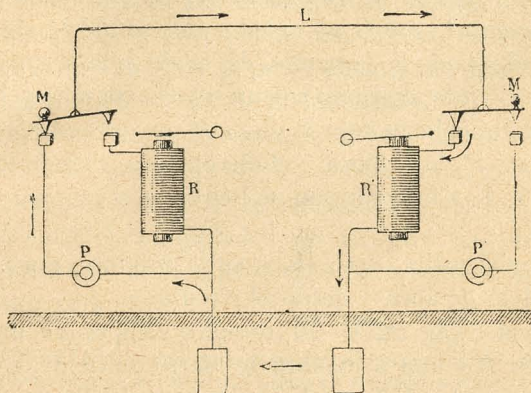


Fig. 225.—Disposición de los aparatos para dos estaciones telegráficas: *M, M'* manipuladores; *R, R'* receptores; *P, P'* pilas; *L*, hilo de la línea.

**13. Telégrafo de Breguet ó telégrafo de cuadrante.—**  
*Manipulador* (fig. 226). El manipulador de Breguet com-

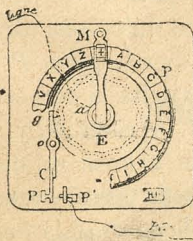


Fig. 226.—Manipulador del telégrafo de Breguet.

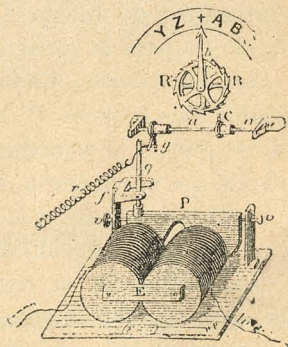


Fig. 227.—Receptor del telégrafo de Breguet.

prende una manija  $M$  que mueve un disco  $E$  cuyo contorno tiene una garganta formada por 26 sinuosidades que se acercan y alejan alternativamente del centro del disco. Cuando se da vuelta al disco, la extremidad  $g$  de la palanca  $gC$ , móvil al rededor del punto  $O$ , sigue las sinuosidades de la garganta, de modo que la otra extremidad  $C$  viene alternativamente á tocar las piezas  $P$  y  $P'$ . Cuando la palanca toca la pieza  $P'$ , la corriente pasa por la pieza  $P'$ , la palanca y el disco; pero cuando toca la pieza  $P$ , hay interrupción del circuito, y no pasa la corriente.

En una vuelta entera, la manija produce, pues, 26 alternativas de abrir y cerrar el circuito.

*Receptor* (fig. 227).—El receptor comprende un electroimán  $E$  y una armadura de hierro dulce  $P$  cuyas oscilaciones, al rededor del eje  $r$  por medio de un sistema de palancas, hacen girar una doble rueda dentada  $R R'$  que tiene 26 dientes. Al girar, esa rueda lleva una aguja que se mueve delante de un cuadrante en el cual están dibujadas las letras del alfabeto. Un resorte  $r$  mantiene la armadura de hierro  $P$  algo distante del electroimán cuando no pasa la corriente.

*Funcionamiento*.—Cada vez que la palanca del manipulador toca la pieza  $P'$ , la corriente pasa al electroimán del receptor, y la armadura de hierro dulce está atraída. Cuando por el contraria, la palanca toca la pieza  $P$ , deja de pasar la corriente, y la armadura vuelve á su posición primitiva bajo la acción del resorte  $r$ . A cada ida y vuelta de la armadura, la rueda dentada avanza un diente. Pero el número de dientes de esta rueda siendo igual al de las sinuosidades del disco multiplicador, si la manija da una fracción de vuelta, la aguja del receptor girará

la misma fracción sobre el cuadrante. Por lo tanto, la manija del manipulador y la aguja del receptor estando ambas en frente de la cruz convencional que separa Z de A, si se lleva sucesivamente la manija sobre las diferentes letras que componen una palabra, la aguja del receptor girará del mismo modo delante del cuadrante y se parará sobre las letras de dicha palabra.

Las alternativas de la corriente siendo independientes del sentido en que se da vuelta á la manija, queda evidente que para conservar la concordancia de los movimientos entre el manipulador y el receptor, hay siempre que dar vuelta á la manija, en el mismo sentido, sin volver nunca para atrás.

CUESTIONARIO.—¿En qué consiste el experimento de Ørstedt?—Decid la ley de Ampere.—¿Qué es el multiplicador?—¿Qué se llaman agujas astáticas? —¿Cuál es el objeto del multiplicador? —¿De qué se compone un galvanómetro?—¿Para qué sirve?—¿Cómo se puede imantar una aguja de acero con una corriente?—¿De qué se compone un electroimán?—Describir una campanilla eléctrica. — Explicar su funcionamiento — ¿Qué es telegrafía? — ¿Cuáles son los elementos esenciales de un telégrafo con hilo?—Describir el manipulador y el receptor en los telégrafos Morse y Breguet.—Su funcionamiento.

---

## CAPÍTULO II

### Electrodinamismo

1. **Objeto del electrodinamismo.**—El *electrodinamismo* es el estudio de las acciones recíprocas que ejercen las corrientes unas sobre otras.

**2. Leyes generales.**—Las corrientes eléctricas ejercen unas sobre otras, ciertas acciones que dependen del sentido en que circulan y que obedecen á las leyes siguientes formuladas por Ampere:

1.º *Dos corrientes paralelas del mismo sentido se atraen. Dos corrientes de sentido contrario se repelen;*

2.º *Dos corrientes cruzadas se atraen cuando se acercan ó se alejan juntas del punto de encuentro;*

3.º *Dos corrientes cruzadas se repelen cuando una se acerca y otra se aleja del punto de encuentro;*

4.º *Dos porciones consecutivas de una sola corriente rectilínea se repelen;*

5.º *Una corriente sinuosa tiene la misma acción que una corriente rectilínea terminada en los mismos puntos.*

Se demuestran esas leyes, presentando, en diferentes posiciones, una corriente fija *M*, (fig. 228) á una corriente movable *R*.

**3. Solenoides.**—Se da el nombre de *solenoides* á un sistema de corrientes iguales y paralelas, cuyos planos son perpendiculares á una misma línea recta que se llama *eje del solenoide*.

Para construir un solenoide, se arrolla en forma de hélice un largo hilo de cobre, teniendo cuidado de pasar

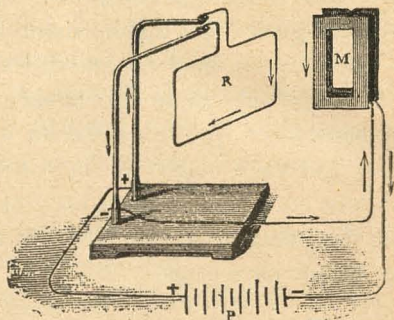


Fig. 228.—Acción recíproca de dos corrientes.

una parte rectilínea del hilo por el interior, y siguiendo la dirección del eje de la hélice.

Para conseguir que este aparato sea movable al rededor de un eje vertical, se le construye como lo indica la fig. 229, de manera que pueda descansar por medio de dos puntas de acero en las cápsulas *M* y *N* que contienen mercurio.

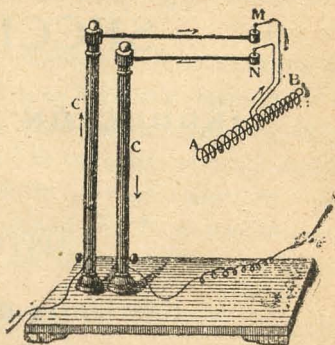


Fig. 229.—Solenoides.

Los solenoides pueden asemejarse á los imanes.

Tienen dos polos cuyas atracciones y repulsiones siguen las leyes de los imanes. Se orientan bajo la acción del magnetismo terrestre. Un solenoide y un imán producen además entre sí los mismos fenómenos que dos imanes ó dos solenoides.

CUESTIONARIO.—¿Qué es el electrodinamismo?—¿Qué leyes generales rigen las acciones de las corrientes unas sobre otras?—¿Cómo se forma un solenoide?—¿Con qué pueden asemejarse los solenoides?

# SECCIÓN V

## INDUCCIÓN ELÉCTRICA

### CAPÍTULO I

#### Corrientes de inducción

1. **Definición.**—Se llaman *corrientes de inducción* las corrientes instantáneas que se originan en circuitos metálicos, bajo la influencia de las corrientes ó de los imanes.

De aquí resultan dos clases de corrientes de inducción:

1.º Las corrientes *dinamoeléctricas* producidas por la influencia de otras corrientes eléctricas.

2.º Las corrientes *magnetoeléctricas* producidas por la influencia de los imanes.

3. **Corrientes dinamoeléctricas.**—Sea *B* (fig. 230) un

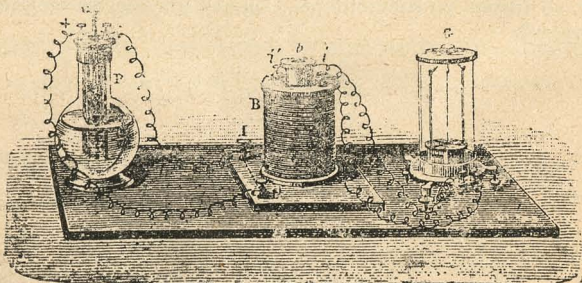


Fig. 230.—Producción de las corrientes de inducción.

carrete que comunica con los polos de la pila  $P$ ;  $b$  otro carrete colocado en el interior del primero, y comunicando con el galvanómetro  $G$ .

1.º Si se hace pasar una corriente por  $B$ , *al instante* se manifiesta en el circuito  $b$  una *corriente muy corta é inversa de la primera*. Esa corriente se produce bajo la influencia de  $B$ , por lo cual se la llama *corriente inducida*; la de  $B$  toma el nombre de *corriente inductora*.

2.º Si se interrumpe la corriente en  $B$ , se produce en  $b$  una *corriente instantánea*, del mismo *sentido que la corriente inductora*.

3.º Estando separados los dos carretes  $B$  y  $b$ , y la corriente de la pila pasando por  $B$ , se introduce bruscamente  $b$  en  $B$ ; se nota en  $b$  una *corriente instantánea de sentido contrario* á la de  $B$ .

4.º Estando  $b$  en  $B$  y la corriente de la pila pasando por  $B$ , se retira bruscamente  $b$ ; se nota que lo atraviesa una *corriente instantánea de sentido directo*.

5.º Estando  $b$  en  $B$ , si se aumenta ó disminuye la corriente inductora, se obtiene en  $b$  una corriente inducida, inversa en el primer caso, directa en el segundo.

En resumen: 1.º hay corriente inducida *inversa*, cuando la corriente inductora *principia*, ó *aumenta*, ó *se aproxima*.

2.º Hay corriente inducida *directa*, cuando la corriente inductora *termina*, ó *disminuye*, ó *se aleja*.

4. **Corrientes magnetoeléctricas.**—Al tomar un imán como inductor, se obtienen los mismos resultados. Así siendo unidas las dos extremidades del hilo de un carrete hueco con un galvanómetro, se desarrolla en él una corriente inducida si se introduce un imán en el carrete, ó solamente cuando se le acerca. Se obtiene una nueva co-

corriente inducida de sentido contrario á la anterior, cuando se saca el imán ó que se lo aleja del carrete.

Cuando se hace pasar una corriente en un carrete que contiene un haz de alambres de hierro dulce (fig. 231), el

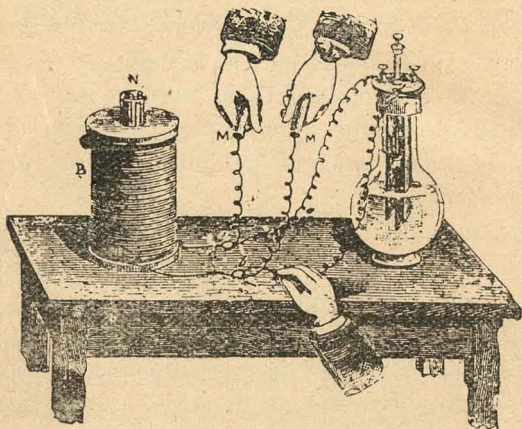


Fig. 231.—Producción de las corrientes al abrir y cerrar el circuito.

haz se imanta y, obrando como inductor, da origen en el carrete á una corriente de inducción. Si se interrumpe la corriente, la imantación desaparece y se produce en el carrete una nueva corriente inducida de sentido contrario.

Por eso, al tocar los cilindros  $M$  y  $M'$ , se siente una conmoción eléctrica cada vez que se cierra y que se abre el circuito en  $C$ .

CUESTIONARIO. — ¿Qué se llaman corrientes de inducción?—  
— ¿Cómo se enseña la producción de las corrientes inducidas?—  
— ¿Cuál es el sentido de la corriente inducida con relación á la corriente inductora?— ¿Puédese tomar un imán como inductor?—  
— ¿Cuál es el efecto de un hierro dulce sobre la corriente que atraviesa periódicamente el hilo de un carrete?

## CAPÍTULO II

**Máquinas de inducción**

1. **Definición.**—Las *máquinas de inducción* son aparatos que producen una corriente eléctrica por medio de la inducción. Las hay de dos clases: las máquinas *magnetoeléctricas*, en las cuales el inductor es un imán permanente; y las máquinas *dinamoeléctricas*, en las cuales el inductor es un *electroimán*.

2. **Máquinas magnetoeléctricas.**—Las máquinas *magnetoeléctricas* se forman de un imán poderoso que hace el papel de inductor, y de un carrete en que se producen las corrientes; una de esas partes se mueve con un movimiento de rotación de modo que varía su distancia de la otra. Se producen entonces corrientes inducidas que se pueden recoger.

Los aparatos particulares llamados *conmutadores*, permiten enderezar las corrientes inversas, y así transformar las corrientes *alternativas* en corrientes *continuas*.

Las principales máquinas magnetoeléctricas son la máquina de *Clarke* y la de *Gramme*

**3. Máquina de Clarke.**—La *máquina de Clarke* (figura 232) se compone de un imán poderoso en forma de herradura *A*, ante cuyos polos dos carretes *B* y *B'* se mueven con un movimiento rápido de rotación alrededor del eje *ac*. Por un efecto de su movimiento, los dos carretes están recorridos por corrientes alternativas de sentido contrario. El eje de rotación *ac* está formado de tal manera que las corrientes de mismo sentido están recogidas unas por la lámina *l*, y otras por la lámina *l'*.

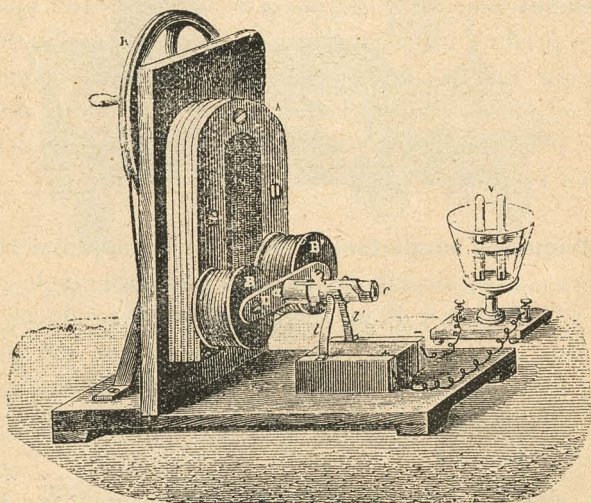


Fig. 232.—Máquina de Clarke.

*A*, imán; *B*, *B'*, carretes móviles; *D*, varilla de hierro que une sus núcleos; *ac* eje de rotación; *ll* resortes que recogen la corriente; *R*, rueda con manubrio y correa.

**4. Máquina de Gramme.**—La *máquina de Gramme* (fig. 233) está formada por un haz de láminas imantadas de acero, encorvadas en forma de herradura, entre cuyos polos gira un anillo, llamado *anillo de Gramme*.

El anillo de Gramme se compone de una corona de alambres de hierro dulce cuyas extremidades comunican con carretes de hilo conductor.

Al imprimir un rápido movimiento de rotación al anillo *A*, los carretes se acercan y alejan alternativamente de los polos del imán *J*, cuya acción junta con la del haz de alambre que forma los ejes del carrete, desarrolla en el hilo de éstos, corrientes alternativas directas ó inversas.

Dos escobas metálicas *b* y *b'*, convenientemente colocadas, recogen, una las corrientes directas y otras las corrientes inversas, y hacen por lo tanto el papel de polos de una pila.

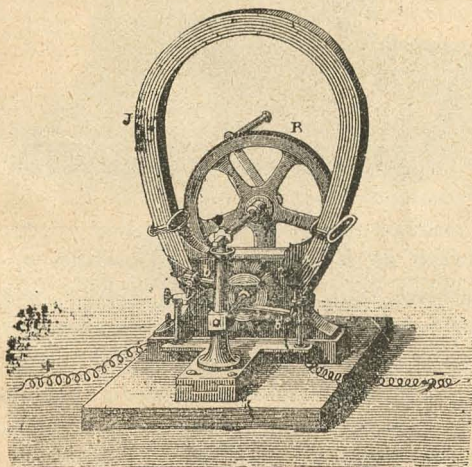


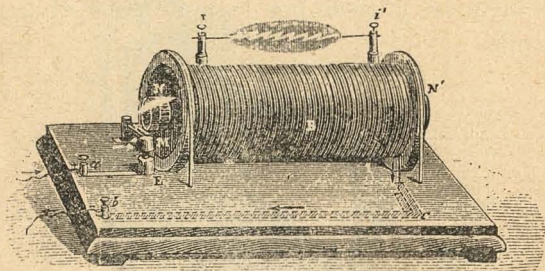
Fig. 233.—Máquina de Gramme.

*J*, imán de Jamin; *T*, sus armaduras; *A*, anillo de Gramme; *b*, *b'*, escobas; *R*, grande rueda dentada y su manija.

**5. Máquinas dinamoeléctricas.**—En las máquinas *dinamoeléctricas*, el inductor es un *electroimán*; esas máqui-

nas se utilizan en la industria para el alumbrado eléctrico y la galvanoplastia; son *reversibles*, es decir que si se hace pasar la corriente producida por una de esas máquinas activada por un motor, en el inductor de una máquina semejante, ésta se pone en movimiento, pudiendo servir de motor á su vez: esta propiedad permite transportar las fuerzas á distancia.

El *carrete de Ruhmkorff*, tan usado en los laboratorios de física, no es sino una máquina dinamoeléctrica.



**6. Carrete de Ruhmkorff.**—El aparato se compone de dos carretes, uno exterior, otro interior, este con un eje de hierro dulce. Por el interior, de alambre grueso y corto, pasa la corriente inductora; por el exterior, de hilo fino y largo, pasa la corriente inducida. Las alternativas de abrir y cerrar el circuito exterior para que se produzcan las inducciones se obtienen por medio de un *interruptor* cuya parte esencial es un martillito de hierro dulce.

Cuando empieza á funcionar la máquina, la corriente inductora llega por el alambre *a*, pasa por el martillo *M* é imanta el haz de hierro dulce *N*; se produce entonces

una corriente inducida en el alambre del carrete *B*. Pero entonces el haz de hierro dulce atrae el martillo *M*; sucede por lo tanto que queda interrumpido el circuito inductor en *E*, y se produce en el alambre del carrete otra corriente inducida. La imantación del hierro dulce habiendo

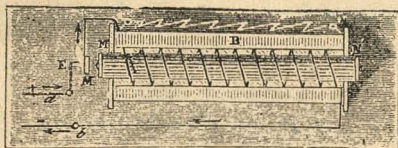


Fig. 235.—Carrete de Ruhmkorff

1. Disposición del aparato; *B*, carrete de dos hilos; *NN*, núcleo de hierro dulce; *a, b*, topos del hilo inductor; *i, i'* topos del hilo inducido; *M*, martillo; *E*, yunque; *b c*, una extremidad del hilo grueso.
2. Marcha de la corriente en el carrete y juego del interruptor *M*.

acabado, por interrumpirse la corriente en el circuito inductor, el martillo vuelve á su primera posición; luego reaparece la corriente inductora; y así sucesivamente.

Esas alternativas de abrir y cerrar la corriente inductora se repiten indefinidamente y con rapidez.

CUESTIONARIO.—¿Con qué se forman las máquinas magnetoeléctricas?—¿Para qué sirven los conmutadores?—¿Cuáles son las principales máquinas magnetoeléctricas?—Dad de ellas una breve reseña.—¿Qué se toma por inductor en las máquinas dinamoeléctricas?—¿Para qué sirven esas máquinas?—Describid la máquina de Ruhmkorff y explicad su funcionamiento.

### CAPÍTULO III

#### Aplicaciones industriales de la inducción

1. **Teléfono.**—El *teléfono* es un aparato que transmite el sonido á lo lejos.

El *teléfono* (fig. 236) comprende esencialmente dos placas metálicas  $D$ ,  $D'$ , muy delgadas, que pueden vibrar bajo la acción de un aparato de inducción compuesto de

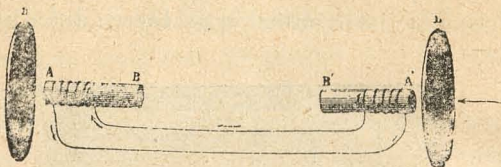


Fig. 236.—Principio del teléfono.

las barras imantadas  $AB$  y  $A'B'$ ; un *hilo telegráfico* completa el circuito.

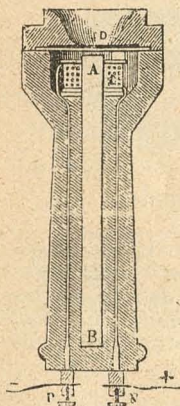


Fig. 237.—Teléfono.

$AB$ , barra de hierro dulce;  $C$ , carrete de hilo conductor que comunica con los polos de una pila por los toques  $P$  y  $N$ ;  $D$ , placa vibrante.

Si se habla delante de la placa  $D$ , ésta vibra, se acerca ó se aleja del imán  $A$  y así modifica el estado magnético de esa barra; se producen entonces en  $AB$  corrientes inducidas que modifican el estado magnético del imán  $A'$  y hacen vibrar la placa  $D'$ . Las vibraciones de  $D$  se reproducen pues en  $D'$ .

La placa vibrante y el aparato de inducción están fijos en un estuche de madera ó de metal. La parte superior tiene un pabellón cuyo objeto es concentrar los sonidos sobre la placa metálica.

Se obtiene un aparato más sensible cuando se introduce en el teléfono precedente una fuente de electricidad dinámica: el sistema de inducción, carrete y barra,

funciona entonces como un electroimán. Uno de los más empleados es el *teléfono de Bell* (fig. 237).

2. **Micrófono** (fig. 238).—Se llama *micrófono* un aparato inventado por Hughes cuyo objeto es modificar la intensidad de las corrientes, introduciendo en el circuito algunas resistencias producidas por piezas que vibran bajo la acción de los sonidos.

Se compone del circuito de una pila en que se interpone un teléfono *T* y un lápiz de carbón *C*.

Este queda vertical entre las cavidades *D* y *D'* que reciben sus dos extremidades agudas aunque le dejan cierta movilidad.

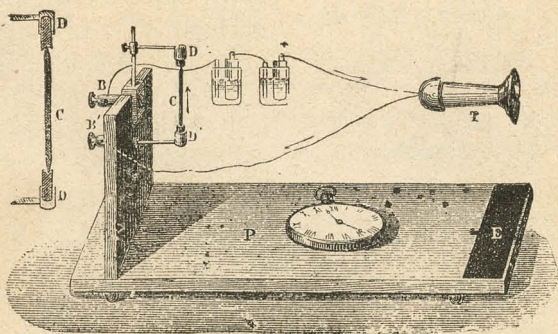


Fig. 238.—Micrófono de Hughes.

*C*, lámina de carbón que descansa libremente en *D D'*; *T*, teléfono; *P*, tabla en que se pone el cuerpo sonoro.

Las vibraciones que se producen cerca del aparato modifican la posición del carbón, y por lo tanto la resistencia del circuito; lo que se traduce en el teléfono por una intensidad mayor del sonido primitivo.

Se aumenta la sensibilidad del micrófono reemplazan-

do el carbón único por varios carbones; los efectos de cada carbón se suman para producir vibraciones mayores en la intensidad de la corriente.

**3. Telegrafía sin hilo.**—La telegrafía sin hilo necesita dos aparatos esenciales el *radiador* de Hertz y el *radio-conductor* de Branly.

El *radiador de Hertz* es un sistema de dos esferas de metal entre las cuales se producen chispas de inducción. En condiciones adecuadas, estas chispas originan ondas eléctricas que se propagan en todas direcciones á manera de ondas sonoras y que pueden obrar á distancia.

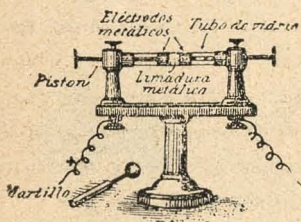


Fig. 227.

Radio-conductor de Branly.

El *radio-conductor de Branly* (fig. 227), se compone de un tubo de vidrio que contiene un poco de limadura de hierro interpuesta entre dos varillas metálicas en el circuito de una pila. Si la limadura es bastante fina, la corriente no puede pasar. Pero una chispa del radiador de

Hertz tiene la propiedad de hacerla *bruscamente conductora*. Un pequeño choque la vuelve no conductora.

Marconi utilizó esos dos descubrimientos, inventando la telegrafía sin hilo.

**Descripción.**—El telégrafo sin hilo consiste en dos aparatos: el *transmisor* y el *receptor*, ligados entre sí por ondas eléctricas.

El *transmisor* es un radiador de Hertz. Se producen chispas entre las bolas por medio de un fuerte carrete de Ruhmkorff. Una de las bolas comunica con un alambre largo, llamado *antena*, sostenido por un poste lo

más alto posible. La antena tiene por objeto lanzar muy lejos las ondas eléctricas. El transmisor está provisto de un manipulador Morse.

La estación receptora está formada por un radioconductor de Branly, un electroimán y un receptor Morse (fig. 227) interpuestos en el circuito de una misma pila.

*Funcionamiento.*—Por medio de descargas largas ó cortas del carrete que reproducen el alfabeto Morse, se provocan en el radiador de Hertz ondas que se esparcen inmediatamente. Tan pronto como llega una de esas ondas al radio-conductor, la limadura se *cohera* (toma cohesión); pasa entonces la corriente, acciona el receptor Morse y por lo tanto imprime en una cinta de papel una rayita ó un punto. Pero tan pronto como pasa la corriente, el electroimán atrae su armadura y entonces un martillito da un golpe en el tubo del radio-conductor: la limadura de éste se *descohera* y la corriente queda interrumpida hasta que llegue otra onda eléctrica.

CUESTIONARIO.—¿Qué es el teléfono? — ¿En qué principio se funda su construcción?—¿Qué es el micrófono?—¿Cómo está construido?—¿Qué es el radiador de Hertz?—¿En qué consiste el radioconductor de Branly y cuáles son sus propiedades?—¿De qué se compone el telégrafo de Marconi?—Explíquese el funcionamiento de este aparato.

---

## CAPÍTULO IV

**Corrientes de inducción en los gases rarefactos**

Las descargas de un carrete de Ruhmkorff al través de los gases rarefactos producen efectos muy variados, según el grado de rarefacción del gas.

1. **Tubos de Geissler**.—Un tubo de Geissler es un tubo de vidrio que contiene un gas rarefacto y en el cual se puede hacer pasar una corriente de inducción. Al efecto la envoltura del tubo se halla atravesada en sus extremos por hilos de platino que rematan interiormente en sendos discos y pueden unirse con el carrete de Ruhmkorff. El *eléctrodo negativo* se llama *cátodo* y el *eléctrodo positivo*, *ánodo*.

Al pasar la corriente, el tubo se ilumina en toda su extensión; su color y su brillantez dependen de la naturaleza del gas, de su presión y de la forma del tubo.

En cuanto se reduce la presión interior á 2 ó 3 milímetros, la columna luminosa se *estratifica*, es decir, que se subdivide en una serie de zonas alternativamente brillantes y oscuras.

Para una presión todavía menor, la región vecina del cátodo se oscurece y la columna luminosa se achica más y más al paso que va disminuyendo la presión.

2. **Tubo de Crookes**.—Un tubo de Crookes es una ampolla de vidrio que contiene un gas cuya presión no es más que unos milésimos de milímetros.

Esta ampolla está provista de dos electrodos lo mismo que el tubo de Geissler, pero el ánodo y el cátodo pueden atravesar la envoltura en dos puntos cualesquiera.

Cuando las descargas eléctricas atraviesan el tubo de Crookes, la ampolla queda oscura, excepto en la región opuesta al cátodo en donde el vidrio adquiere una *fluorescencia* verdosa.

**3. Rayos catódicos.**—Llámanse *rayos catódicos* las radiaciones que dimanan del cátodo y proyectan un brillo verdoso sobre la pared opuesta. Esta región fluorescente es independiente de la posición del ánodo.

Los rayos catódicos son atraídos ó repelidos por los polos de un imán; pueden poner en movimiento un molinito de mica instalado en medio de la ampolla.

**4. Rayos X.**—*Fotografía de lo invisible.*—Los rayos X, descubiertos por Röntgen en 1895, son radiaciones *invisibles* que se esparcen en el aire al rededor de un tubo de Crookes en actividad.

Estos rayos tienen la propiedad de impresionar las placas fotográficas y de volver luminosos los cuerpos fluorescentes, tales como el espato de Islandia, el vidrio de uranio, el sulfuro de calcio, el platinocianuro de bario, etc.

Se propagan al través del aire, del diamante, del papel, de la madera, etc., pero no del vidrio ni de los metales; atraviesan los músculos, no los huesos.

Esta última propiedad es el principio de la *radiografía* y de la *radioscopia*.

**5. Radiografía.** — La *radiografía* es la producción de

imágenes fotográficas al través de los cuerpos opacos para la luz. Se puede, por ejemplo, *radiografiar* el esqueleto de una persona viva.

Supongamos, para fijar las ideas, que se trate de fotografiar los huesos de la mano. Basta interponer esta mano entre un tubo de Crookes en actividad y una placa sensible encerrada en un bastidor de madera ó cubierta de papel negro. Los rayos X atraviesan las carnes, la madera, el papel y llegan á la placa sensible que impresionan; pero parte de ellos es detenida por los huesos que, por decirlo sí, sólo proyectan su sombra sobre la placa fotográfica.

No se reduce tan sólo la radiografía á obtener una mera silueta: en efecto, el espesor de los huesos varía y con él su opacidad, siendo por lo tanto la sombra de las partes delgadas menos marcada que la de las partes de más relieve.

**6. Radioscopia.**—La *radioscopia* consiste en observar sobre una pantalla iluminada por los rayos X la proyección de los cuerpos que no se dejan atravesar por estos mismos rayos.

Se pueden así observar cuerpos envueltos y completamente invisibles; por ejemplo objetos metálicos encerrados en una caja de madera ó de papel, ó aún los huesos de la mano, etc. Basta para esto interponer el objeto que se tiene que examinar entre la ampolla de Crookes y una pantalla barnizada con platinocianuro de bario. La pantalla se ilumina con un resplandor verdoso sobre el cual se diseña la sombra proyectada por los cuerpos opacos para los rayos X.

Se utilizan los rayos X en cirugía para examinar la fractura de los huesos y reconocer la posición de los ob-

jetos metálicos que pudieran hallarse en el cuerpo humano.

Los aduaneros pueden con este auxilio explorar el fondo de los baúles sin abrirlos.

**7. Radio.** — Se llaman *radioactivos* á cuerpos que tienen la propiedad de emitir *expontánea é indefinidamente*, (por lo menos en apariencia), rayos análogos á los rayos X de Roentgen, invisibles á simple vista, pero que revelan su presencia, ya iluminando los cuerpos fosforescentes ó fluorescentes, ya aumentando su brillo.

En 1896, Becquerel descubrió la radioactividad del *uranio*. Prosiguiendo el señor Curie y su señora los estudios de Becquerel, descubrieron las mismas propiedades, pero en un grado mucho más elevado, en ciertos fragmentos de *pecblenda*, mineral muy abundante en Austria.

Después de largas manipulaciones lograron extraer de la pecblenda, un cloruro y un bromuro de *Radio*, cuerpo que tiene una actividad dos millones de veces superior á la del uranio.

**8. Propiedades del Radio.**—El radio constituye una fuente, en apariencia espontánea, de luz, de calor y de electricidad.

Brilla en la obscuridad. Los rayos que emanan de aquel cuerpo atraviesan todos los cuerpos opacos, hasta el plomo. Los espejos y los prismas no reflejan ni refractan los rayos del radio. Están cargados de electricidad negativa y descargan los cuerpos electrizados. El radio emite calor, transforma el oxígeno en ozono y descompone el agua.

Sus radiaciones son cáusticas; desorganizan las células del cuerpo humano, especialmente las células enfermas.

También se han hecho con éxito aplicaciones terapéuticas de esta propiedad para la extirpación de nódulos cancerosos y lúpicos. Ejerce viva acción sobre los centros nerviosos.

CUESTIONARIO. — ¿Qué sabe Vd. de los tubos de Geissler?— ¿Del tubo de Crookes?—¿Qué se llaman rayos catódicos? — ¿Rayos X, sus propiedades y aplicaciones?—¿Qué es radio?—¿Cómo se descubrió?—Sus principales propiedades.

---

# PROBLEMAS DE FÍSICA

## MECÁNICA

1. ¿Cuál es la resultante de dos fuerzas  $F$  y  $F'$ , cuyas intensidades son 60 kg. y 80 kg. siendo recto el ángulo que forman?

2. ¿Cuál es la resultante de dos fuerzas paralelas  $F$  y  $F'$ ; 1.º de mismo sentido; 2.º de sentido contrario? Intensidades 30 kg y 50 kg. Determinar el punto de aplicación en cada caso, siendo 2m. 40 la distancia de los puntos de aplicación de  $F$  y  $F'$ .

3. Una locomotora recorre 315 kms. en 10 horas; ¿Cuál es su velocidad media en un segundo?

4. Un tren rápido que recorre  $V=70$  km. en una hora está á una distancia  $d=90$  km. detrás de otro tren que anda en la misma dirección con una velocidad de  $v=30$  km. en una hora ¿En cuánto tiempo se juntarán?

5. Una rueda da 300 vueltas por minuto; ¿cuál es la velocidad en un segundo de un punto situado á 0m. 25 del eje de rotación?

6. Un cuerpo parte del reposo sin velocidad inicial con una aceleración constante de 1m. por segundo. ¿Qué espacio habrá recorrido después de 1, 2, 3, 4..., segundos?

7. Una piedra que cae en un pozo de mina necesita 7 segundos, 5 para alcanzar al fondo. ¿Cuál es la profundidad de la mina?

8. Un aviador cae de una altura de 245m. Supuesta nula la resistencia del aire, se pregunta: 1.º el tiempo de la caída; 2.º su velocidad al llegar al suelo. ( $g=9m,80$ ).

9. Un cuerpo recorre con movimiento acelerado 1800m. en un minuto; ¿cuál es su aceleración?

10. Un cuerpo cae desde cierta altura; al llegar al suelo tiene una velocidad  $v=24m.,50$ . Decir la altura y la duración de la caída ( $g=9m.,80$ ).

11. La fachada de un edificio tiene una longitud de 150 m. ¿Cuál es el ángulo formado por sus aristas verticales extremas?

12. ¿Qué longitud debe tener un péndulo en Santiago para que una oscilación dure 1 segundo? ( $g=9,795$ ).

13. Un péndulo tiene 2m. de largo; ¿cuál será la duración de una de sus oscilaciones en un lugar cuya aceleración es  $9m.,80$ ?

14. Determinar el centro de gravedad de un triángulo, de un cuadrado, de un polígono regular.

15. Una barra recta está dividida por el punto de apoyo en dos partes cuya relación es 1 á 2. En la extremidad del brazo menor, se pone un peso de 1 kg. ¿Qué peso debe ponerse en la otra extremidad para mantener el equilibrio?

16. Si se pone en un platillo de una balanza justa dos masas  $x$  é  $y$ , siendo  $x$  doble de  $y$ , se necesita agregar 50 gramos para equilibrar á otra masa  $z$  colocada en el otro platillo; y si se ponen en éste, se necesitan 900 gramos para reemplazarlos. ¿Cuáles son las masas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ?

17. *¿Cuál es el peso de un cuerpo, si se necesita 2401 gr para tenerlo en equilibrio, cuando se pone en un platillo de una balanza falsa, y 200 gr más, cuando en el otro?*

---

## ESTÁTICA DE LOS LÍQUIDOS Y GASES

1. *Reducir en gramos por  $\text{cm}^2$  la presión producida por una capa de aceite. Densidad=0,915; altura=0m,60.*

2. *En una prensa hidráulica, las secciones de los pistones son  $5 \text{ cm}^2$  y  $12 \text{ dm}^2$ ; la palanca multiplica por 5 la fuerza que obra en su extremidad. ¿Cuál es el valor de esta fuerza si se obtiene una presión de 30000 kg?*

3. *En una prensa hidráulica, la sección de un pistón es 150 veces mayor que la del otro; y la palanca que actúa sobre el pistón menor multiplica por 12 el esfuerzo con que se mueve. Sea 20 kg el valor de este esfuerzo; ¿qué presión experimentará el pistón mayor?*

4. *Se construye un depósito de agua en forma de tronco de cono invertido. Su fondo horizontal que tiene una superficie de  $75 \text{ dm}^2$ , no puede soportar una presión superior á 600 kg ¿Qué altura máximum se podrá dar al depósito?*

5. *El orificio de un surtidor, situado á  $h=12 \text{ m}$ ,5 debajo del nivel del depósito tiene una superficie  $s=2 \text{ cm}^2$ . 8. ¿Con qué fuerza sale el agua por el orificio?*

6. *¿Cuál es el volumen de un kilogramo de mercurio cuya densidad es  $d=13,6$ ?*

7. Una placa de mármol que pesa  $P=14$  kg., 2, mide  $a=80$  cm. de largo, 25 cm. de ancho y 25mm. de espesor. ¿Cuál es su densidad?

8. ¿Cuál es el peso de una viga de pino que tiene 25 cm. de ancho, 35 cm. de espesor y 8 m. de largo? Densidad del pino  $=0,6$ .

9. ¿Qué diferencia hay entre los pesos de dos cubos de misma arista  $a=5$  cm., el uno de plomo de densidad  $d=11,25$ , el otro de platino de densidad  $D=21,45$ ?

10. Qué volumen de agua desaloja un pedazo de corcho cuya densidad es 0,24 y volumen  $80$  cm<sup>3</sup>?

11. Calcular el volumen y la densidad de un pedazo de madera que pesa  $P=33$  gr. en el aire y  $p=8$  gr. en el agua.

12. Una ancla de hierro ( $D=7,78$ ) tiene un volumen de  $500$  dm<sup>3</sup>. ¿Cuál es su peso en el agua del mar, ( $d=1,026$ )?

13. Una bola de vidrio pesa  $P=322$  gr. en el aire y  $P'=197$  gr. en el agua. ¿Cuánto pesará en el ácido sulfúrico cuya densidad es  $d=1,84$ ?

14. Hallar la densidad del ácido sulfúrico; se necesita 92 gr., 5 de este ácido y 50 gr. de agua para llenar el mismo frasco.

15. Se coloca en uno de los platillos de la balanza un pedazo de hierro magnético y un frasco lleno de agua; después se hace la tara en el otro platillo. Si se quita el pedazo de hierro, se necesita reemplazarlo por  $p=178$  gr., 2 de pesas para establecer de nuevo el equilibrio. Pero si se lo introduce en el frasco, basta  $p'=36$  gr. ¿Cuál es la densidad del hierro magnético?

16. El petróleo, el sulfuro de carbono y el ácido sulfúrico tienen por densidades respectivas 0,80, 1,25 y 1,85. ¿Calcular la altura de cada uno de esos líquidos que producirían

una presión igual á la presión atmosférica ó 1 kg.,033 por  $\text{cm}^2$ .

17. En un tubo en forma de U, se echa primero agua y después, por un lado, petróleo de densidad  $d=0,78$ . Si el petróleo forma una columna de  $h=15$  cm. ¿qué altura tendrá el agua en el otro lado sobre la superficie de separación de los dos líquidos?

18. Siendo 1 kg., 033 la presión atmosférica por  $\text{cm}^2$ , y 1,026 la densidad del agua de mar, ¿qué presión soporta por  $\text{cm}^2$  un objeto á la profundidad de 100 m?

19. Un tonel cuyo largo interior es  $l=1\text{m},20$  está lleno de vino de densidad  $d=0,992$ . Apoya en una de sus bases circulares, cuyo diámetro es 64 cm. ¿Cuál es la presión del líquido sobre esta base?

20. Al tonel del problema anterior, se le adapta en su base superior un tubo vertical de 2 cm. de radio, 10m. de alto y lleno de vino. ¿Cuál será la presión sobre la base inferior?

21. Siendo la densidad del agua de mar  $d=1,026$ , ¿cuál es la diferencia entre las presiones que se ejercen en el mar en las profundidades  $h=350$  m. y  $h'=600$  m?

22. En una bomba aspirante, el pistón tiene una superficie de  $1\text{dm}^2$  y el tubo de aspiración 5m. de altura: ¿Qué fuerza se necesita para sublevar el pistón, la bomba siendo cargada?

23. En una bomba repelente, el diámetro del cuerpo de bomba tiene 16 cm. y la carrera del pistón es de 30 cm. ¿Cuántos golpes de pistón se necesitan para que el agua salga del tubo de salida que tiene 12 m. de largo y 6 cm. de diámetro interior?

24. En una bomba de incendios, el aire comprimido por el agua está reducido al  $\frac{1}{4}$  de su volumen primitivo. ¿Con

qué fuerza está arrojada el agua por el orificio cuya sección tiene  $1 \text{ cm}^2$  ?

25. Un globo de caucho contiene  $V=120 \text{ cm}^3$  de aire bajo la presión atmosférica  $H=75 \text{ cm}$ . Colocado en el recipiente de la máquina neumática, adquiere un volumen  $V'=2$  litros. ¿Cuál es la presión del aire en el recipiente?

26. Si la presión atmosférica es  $H=76 \text{ cm}$ . de mercurio, ¿cuál será la presión experimentada por la superficie de una laguna de una hectárea  $50$ ? Densidad del mercurio  $D=13,6$ .

27. Las bolas de un baroscopio tienen los volúmenes respectivos  $V=1903 \text{ cm}^3$  y  $v=365$ . Se equilibran en el aire. ¿Cuántos gramos es preciso agregar á la bola menor para que haga equilibrio en el vacío, siendo el peso de un litro de aire  $a=1\text{gr}, 293$ ?

28. Un globo lleno de hidrógeno contiene  $V=237\text{m}^3, 5$  de este gas, el cual pesa  $89 \text{ gr.}$ ,  $6$  el metro cúbico.

1.º ¿Cuál es el peso del aire desalojado por este globo, si el metro cúbico de aire pesa  $a=1293 \text{ gr}$ ?

2.º ¿Cuál es la fuerza ascensional, si la envoltura, ballena y aparatos pesan  $p=260 \text{ kg}$ ?

29. La caldera de una máquina de vapor comunica con un manómetro de aire libre; el mercurio alcanza en la rama abierta una altura de  $1\text{m}, 82$  sobre el nivel de la rama cerrada. ¿Cuál es la presión del vapor?

30. Una masa de gas ocupa un volumen  $V=15$  litros bajo la presión atmosférica  $H=76 \text{ cm}$ . ¿Qué volumen  $V'$  tendrá si la presión viene á ser  $H'=285 \text{ cm}$ ?

# CALOR

1. ¿Cuántos grados indican los termómetros Reaumur y Fahrenheit, cuando el termómetro centígrado indica  $60^{\circ}$ ?

2. Expresar en grados centígrados los puntos de fusión siguientes dados en grados Reaumur.

Mantequilla,  $24^{\circ}\text{R}$ ; alcanfor,  $156^{\circ}\text{R}$ ; antimonio,  $352^{\circ}\text{R}$ ; acero,  $1120^{\circ}\text{R}$ .

3. Expresar en grados Reaumur las temperaturas de ebullición siguientes dadas en grados centígrados: ácido nítrico,  $85^{\circ}$ ; ácido clorhídrico,  $110^{\circ}$ ; naftalina,  $210^{\circ}$ ; selenio,  $665^{\circ}$ .

4. Expresar en grados centígrados los puntos de fusión siguientes, dados en grados Fahrenheit:

Aceite de ricino,  $0^{\circ}\text{F}$ ; trementina,  $14^{\circ}\text{F}$ ; ácido margárico,  $140^{\circ}\text{F}$ ; caucho,  $248^{\circ}\text{F}$ .

5. Un hilo telegráfico de cobre tiene á  $0^{\circ}$  una longitud de  $l=500$  km. ¿Qué longitud tendrá á  $t=20^{\circ}$ , siendo el coeficiente de dilatación lineal  $K=0,00001885$ ?

6. Un hilo de latón mide á  $t=50^{\circ}$  una longitud  $l=1902$  m. ¿Cuál es su longitud á  $0^{\circ}$ ? Coeficiente de dilatación del latón,  $K=0,000022$ .

7. Una hoja de plomo mide  $S=5\text{m}^2$  á  $0^{\circ}$ . ¿Cuál será su superficie  $S$  á  $t=20^{\circ}$ , siendo el coeficiente de dilatación lineal de plomo  $K=0,0000285$ ?

8. Se mide  $V=100$  litros de petróleo á  $0^{\circ}$ . ¿Cuál será el volumen del mismo líquido á  $t=125^{\circ}$ ? Coeficiente de dilatación  $K=0,00104$ .

9. Un globo de vidrio mide  $v=12$  litros á  $0^{\circ}$ . ¿Cuál es

su volumen á  $t=25^{\circ}$ , siendo el coeficiente de dilatación cúbica del vidrio  $K=0,000058$ ?

10. Una regla de cobre tiene 1m. de largo á  $0^{\circ}$  y 9 mm. más en un horno. ¿Cuál es la temperatura de éste, si la dilatación lineal del cobre es  $K=0,000018$ ?

11. ¿Cuál es el estado higrométrico  $e$ , cuando la temperatura del aire es  $17^{\circ}$  y el punto de rocío  $5^{\circ}$ . La presión saturante del vapor de agua á  $5^{\circ}$  es  $f=0\text{cm},651$ , y á  $17^{\circ}$ ,  $F=1\text{cm.}$ , 44.

12. 80 litros de aire contienen 1gr, 2 de vapor de agua. ¿Cuál es su estado higrométrico, si á la misma temperatura se necesitan 20 gr. de vapor de agua para saturar un metro cúbico de aire?

## ACÚSTICA Y ÓPTICA

1. Un cazador dispara un fusilazo; no se oye la detonación sino 5 segundos después. ¿A qué distancia está el cazador; siendo 340m. el espacio recorrido en un segundo?

2. ¿Cuál es la distancia de un cañón, si se transcurre 9 segundos entre el instante de la aparición del humo y el ruido de la detonación? Velocidad del sonido=340m.

3. Una batería de artillería está á 9208m. de un observador. ¿Cuánto tiempo mediará entre el instante de la descarga y el de la detonación percibida?

4. Dos diapasones inscriben sus vibraciones en un mismo cilindro enregistrador. El uno efectúa  $n=1263$  vibraciones durante  $\frac{1}{6}$  de vuelta del cilindro y el otro  $n'=1684$

vibraciones durante  $\frac{1}{4}$  de vuelta. ¿Cuál es el intervalo de los sonidos producidos por dichos diapasones?

5. Un observador colocado frente á un obstáculo que produce eco, dispara un pistoletazo. El ruido le vuelve después de 5 s. ¿A qué distancia está del obstáculo? Velocidad del sonido en el aire = 340 m. por segundo.

6. La tónica de una gama corresponde á 520 vibraciones por segundo. Calcular el número de vibraciones que corresponden á la tercera, á la quinta y á la octava superior.

7. Sabiendo que el LA normal corresponde á 435 vibraciones completas por segundo, calcular el número de las vibraciones que corresponden á las otras seis notas de la gama.

8. ¿Cuál es la distancia de la tierra al sol, sabiendo que la luz la recorre en 8 minutos 13 segundos? Velocidad de la luz = 300000 km por segundo.

9. La estrella Sirio está á 83000000 de kilómetros de la tierra. ¿Cuántos años necesita la luz para venirnos de dicha estrella?

10. Una luz tiene una intensidad de 900 bugías. ¿Qué alumbramiento produce á la distancia de 6 metros?

11. ¿Qué intensidad tiene una lámpara que produce á la distancia  $l=5$  m. un alumbramiento  $I=12$  bugías-metros?

12. ¿A qué distancia da una lámpara de  $i=100$  bugías un alumbramiento  $I=2$  bugías-metros?

13. Una lámpara da un cierto alumbramiento á  $d=0$  m,85. ¿A qué distancia 2 lámparas iguales, colocadas juntas, darán el mismo alumbramiento?

14. Un rayo luminoso al encontrar un espejo plano forma un ángulo de incidencia de  $35^\circ$ . ¿Qué ángulo forma con el rayo reflejado?

15. Un espejo plano forma un ángulo de  $70^\circ$  con un

rayo incidente. ¿Qué ángulo forma éste con el rayo reflejado?

16. El radio de un espejo esférico cóncavo es  $R=0\text{m},20$ . Si se coloca un objeto luminoso á  $d=1\text{ m.}$  del plano focal, ¿á qué distancia se formará la imagen?

17. Las distancias de un espejo esférico cóncavo á un punto luminoso y su imagen son  $p=20\text{ cm.}$  y  $p'=80\text{ cm.}$  ¿Cuál es la distancia focal del espejo?

18. Un objeto de longitud  $h=14\text{ cm.}$  está colocado á  $p=100\text{ cm.}$  delante de un espejo esférico cóncavo, de radio  $2f=60\text{ cm.}$  ¿Cuál es la longitud  $h'$  de la imagen formada?

19. ¿Dónde se debe colocar un objeto luminoso, delante de un espejo cóncavo de distancia focal  $f=25\text{ cm.}$  para que la imagen se forme á igual distancia del foco y del centro de curvatura?

20. En el eje principal de una lente convergente cuya distancia focal  $f=24\text{ cm.}$ , un punto luminoso está colocado á  $32\text{ cm.}$  de la lente. ¿A qué distancia de la lente está la imagen?

21. ¿Cuál es la distancia focal de una lente convergente si un objeto colocado á  $p=30\text{ cm.}$  de la lente, tiene su imagen á  $p'=70\text{ cm.}$  del otro lado?

---

## ELECTRICIDAD

1. ¿Cuál es la cantidad de electricidad dada por una corriente eléctrica de  $I=25$  amperes, durante una minuto?

2. ¿Qué tiempo necesitará una corriente de 2 amperes para dar 96600 coulombs?

3. Una corriente de  $I=7$  amperes recorre un hilo con-

ductor. ¿Cuál es la resistencia del hilo si determina una caída de potencial  $E=84$  volts?

4. ¿Cuál es la intensidad de una corriente eléctrica que produce 2700000 coulombs en 24 horas?

5. ¿Cuál es la intensidad de una corriente que atraviesa un circuito de resistencia  $R=23$  ohms con una diferencia de potencial  $E=115$  volts?

6. Un hilo telegráfico de 1 mm de diámetro tiene una resistencia de 144 ohms por kilómetro. ¿Cuál es la resistencia de un hilo de 50 km. y 4 mm. de diámetro?

7. ¿Cuál es la resistencia de una lámpara eléctrica alimentada por una corriente de 4 amperes y 110 volts?

8. Una línea telegráfica tiene  $l=50$  km. de longitud; su resistencia es de  $r=30$  ohms por kilómetro, y pasa por  $n=4$  estaciones cuyos aparatos tienen una resistencia de  $R'=500$  ohms cada una. ¿Qué diferencia de potencial habrá que mantener en las extremidades de la línea para tener una corriente de  $I=0,012$  ampere?

9. ¿Cuál es la intensidad de una corriente en un circuito de resistencia  $R=23$  ohms con una diferencia de potencial  $E=115$  volts?

10. ¿Cuál es la diferencia de potencial en las extremidades de un hilo cuya resistencia es  $R=64$  ohms, cuando la corriente es de  $I=2,5$  amperes?

11. ¿Cuál es la intensidad de la corriente producida por un elemento Bunsen; la fuerza electromotriz  $E=1,8$  volt; la resistencia interior  $R=0,2$  ohm; los polos están reunidos por un conductor de resistencia  $r=0,7$  ohm?

12. La fuerza electromotriz de una pila es de  $E=29$  volts, y su resistencia interior  $R=2$  ohms. ¿Cuál será la corriente en una resistencia exterior de  $r=100$  ohms?

13. ¿Qué cantidad de electricidad da, en un minuto, un

elemento Leclanché cuya fuerza electromotriz es 1,46 volt, siendo la resistencia total del circuito cerrado de 8 ohms?

14. Una pila de fuerza electromotriz  $E=20$  volts tiene una resistencia interior de  $r=2,5$  ohms. ¿Cuánto tiempo necesitará para producir  $Q=18000$  coulombs en un circuito exterior de resistencia  $R=3,5$  ohms?

15. Una pila tiene una fuerza electromotriz  $E=10,7$  volts y una resistencia interior  $R=20$  ohms. Su intensidad es  $I=0,428$  ampere. ¿Cuál es la resistencia exterior?

16. Un elemento Daniell tiene una fuerza electromotriz  $E=1,07$  volt. Su intensidad es  $I=5,5$  amperes; la resistencia del hilo interpolar  $r=1,2$  ohms. ¿Cuál es la resistencia interior?

17. Calcular la fuerza electromotriz y la resistencia interior de una pila tal que si la resistencia exterior es  $r=4$  ohms, su intensidad es  $I=1,5$  ampere, y si la resistencia exterior es  $r'=2$  ohms, su intensidad es  $I'=2$  amperes?

18. Se asocia en serie dos elementos de fuerzas electromotriz  $E=2,1$  volts,  $E'=0,8$  volts y de resistencia interior  $r=1,7$  ohm,  $r'=0,9$  ohm. La resistencia exterior es  $R=0,3$  ohm. ¿Cuál será la corriente?

19. Se construye una serie de 10 elementos idénticos que tienen cada uno una fuerza electromotriz  $E=1,5$  volt y una resistencia interior  $r=0,5$  ohm. El circuito exterior tiene una resistencia  $R=25$  ohms. ¿Cuál es la intensidad de la corriente?

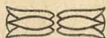
20. Veinticinco elementos están dispuestos en batería. La fuerza electromotriz de cada elemento es  $E=1,2$  volt y su resistencia interior  $r=1$  ohm. ¿Cuál será la intensidad de la corriente, siendo  $R=0,20$  ohm la resistencia del circuito exterior?

21. Se asocia dos elementos Bunsen de  $E=1,90$  volt y

$r=0,20$  ohm. ¿Cuál será la corriente en un circuito exterior  $R=0,6$  ohm: 1.º si los elementos están en serie; 2.º en batería?

22. Se tiene dispuestos en batería, 8 grupos de 12 elementos asociados en serie. Fuerza electromotriz de cada elemento  $E=1,10$  volt; su resistencia interior  $r=0,50$  ohm. Resistencia del circuito exterior  $R=0,25$  ohm. ¿Cuál será la intensidad de la corriente?

23. Una línea telegráfica tiene una resistencia  $R=500$  ohms. ¿Qué corriente se podrá lanzar en ella, con una pila de 12 series dispuestas en batería, si cada serie tiene 10 elementos? Resistencia interior de cada elemento  $r=19$  ohms; su fuerza electromotriz  $E=1,80$  volt.



# ÍNDICE

## ELEMENTOS DE FISICA

### PRELIMINARES

	PÁGS.
§ 1.—Definición.....	3
§ 2.—Cuerpo.—Sus estados.....	4
§ 3.—Propiedades de los cuerpos.....	5

### PRIMERA PARTE.—NOCIONES DE MECÁNICA

Cap. I.—Fuerzas y movimientos.....	9
Cap. II.—Atracción, gravedad, caída de los cuerpos.....	16
Cap. III.—Centro de gravedad. —Equilibrio de los cuerpos.....	23
Cap. IV.—Palancas.....	26
Cap. V.—Balanzas.....	28

### SEGUNDA PARTE.—HIDROSTÁTICA

Cap. 1.—Presiones de los líquidos en equilibrio...	33
Cap. II.—Vasos comunicantes.....	39
Cap. III.—Principio de Arquímedes. —Cuerpos sumergidos.....	44
Cap. IV.—Densidades .....	47
Cap. V.—Propiedades de los gases.....	53
Cap. VI.—Barómetros.....	57
Cap. VII.—Compresibilidad de los gases.....	62
Cap. VIII.—Aparatos para enrarecer ó comprimir los gases.....	67
Cap. IX.—Bombas.....	72
Cap. X.—Sifón.....	75
Cap. XI.—Principio de Arquímedes aplicado á los gases.....	78

TERCERA PARTE.—CALOR

Págs.

Cap. I.—Dilatación.....	85
Cap. II.—Termómetros.....	90
Cap. III.—Propagación del calor.....	95
§ I.—Conductibilidad.....	95
§ II.—Radiación.....	98
Cap. IV.—Cambios de estado de los cuerpos.....	102
§ I.—Fusión.....	102
§ II.—Solidificación.....	104
§ III.—Disolución.....	105
Cap. V.—Formación de los vapores. — Evaporación.....	108
§ I.—Formación de los vapores.....	108
§ II.—Evaporación.....	109
Cap. VI.—Ebullición.....	114
Cap. VII.—Máquina de vapor.....	119
Cap. VIII.—Higrometría.....	125
Cap. IX.—Climatología y Meteorología.....	128

CUARTA PARTE.—ACÚSTICA

Cap. I.—Producción y propagación del sonido....	134
Cap. II.—Cualidades del sonido.....	139
Cap. III.—Vibraciones de las cuerdas. — Tubos sonoros.....	143
§ I.—Vibraciones transversales de las cuerdas.....	145
§ II.—Tubos sonoros.....	146

QUINTA PARTE.—ÓPTICA

Cap. I.—Propagación de la luz.....	151
Cap. II.—Reflexión de la luz.....	154
Cap. III.—Refracción de la luz.....	159
§ I.—Principios generales.....	159
§ II.—Prisma.....	161
§ III.—Lentes esféricas.....	164
Cap. IV.—Principales instrumentos de óptica.....	168
Cap. V.—Fotografía.....	172

## SEXTA PARTE.—ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

*Sección I.—Electricidad estática*

	PÁGS.
Cap. I.—Generalidades.....	176
Cap. II.—Atracciones y repulsiones eléctricas.....	179
Cap. III.—Distribución de la electricidad en los cuerpos conductores.....	181
Cap. IV.—Electrización por influencia.....	185
Cap. V.—Máquinas eléctricas.....	189
Cap. VI.—Condensación eléctrica.....	194
Cap. VII.—Efectos de las descargas eléctricas.....	199
Cap. VIII.—Electricidad atmosférica.....	203

*Sección II.—Magnetismo**Sección III.—Electricidad dinámica*

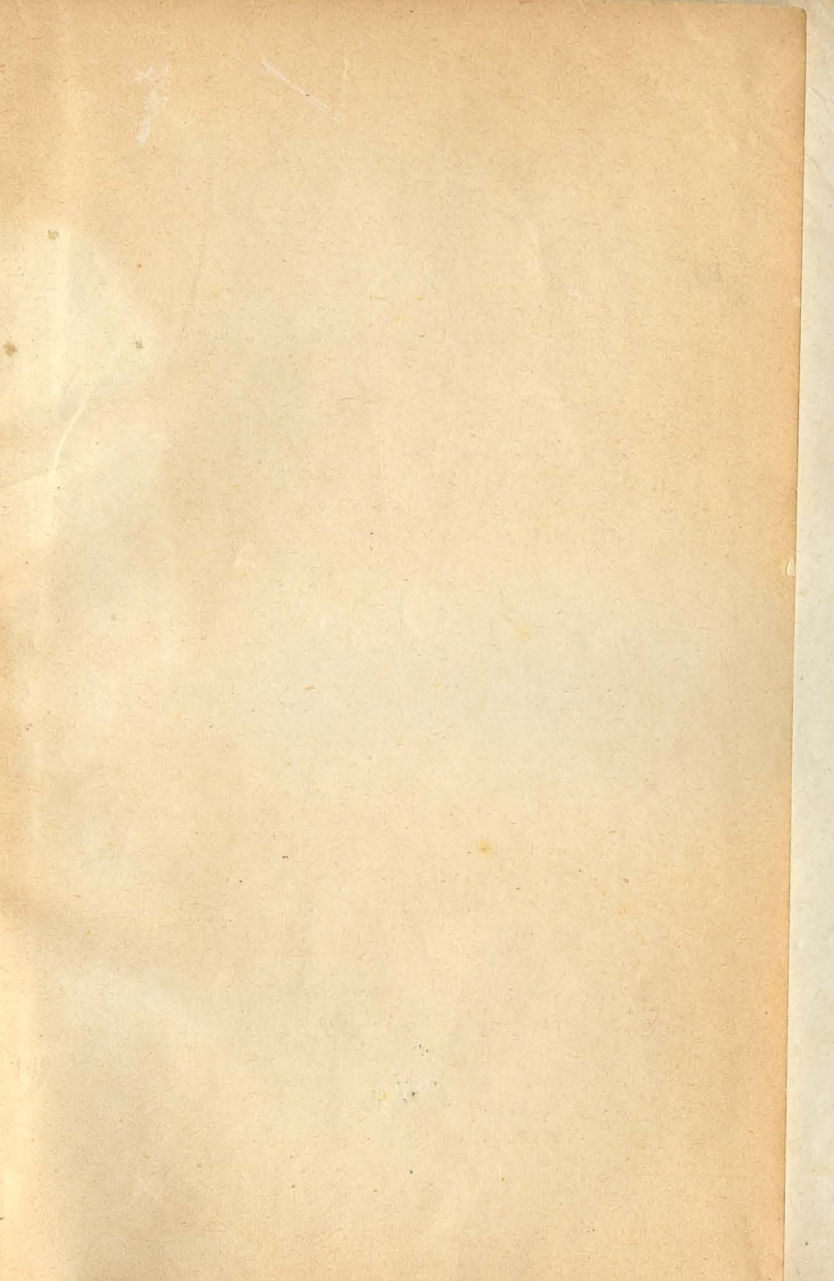
Cap. I.—Pilas eléctricas.....	216
Cap. II.—Principales efectos de las corrientes.....	226

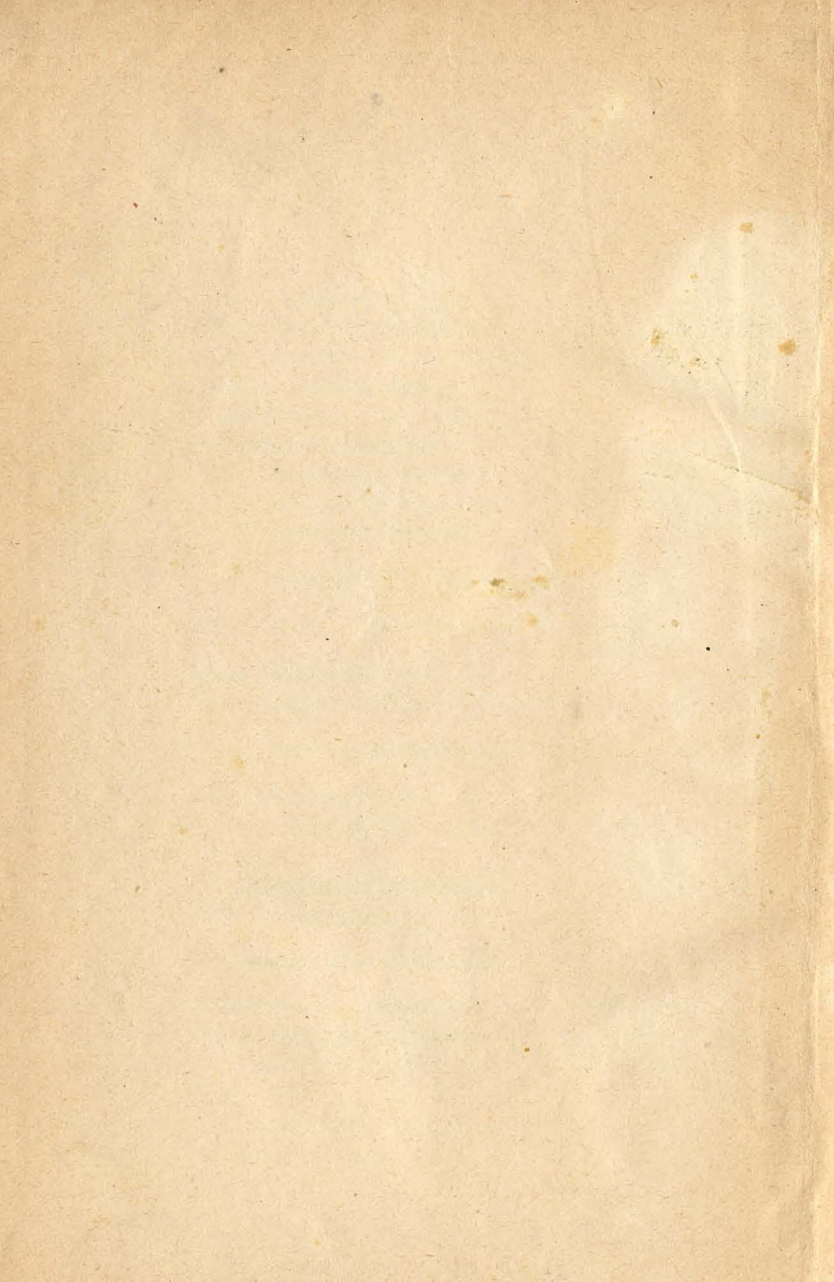
*Sección IV.—Electromagnetismo y electrodinamismo*

Cap. I.—Electromagnetismo.....	232
§ I.—Acciones de las corrientes sobre los imanes.....	232
§ II.—Telegrafía eléctrica con hilo.....	235
Cap. II.—Electrodinamismo.....	241

*Sección V.—Inducción eléctrica*

Cap. I.—Corrientes de inducción.....	244
Cap. II.—Máquinas de inducción.....	247
Cap. III.—Aplicaciones industriales de la induc- ción.....	251
Cap. IV.—Corrientes de inducción en los gases rarefactos.....	256







## se hallan en el mismo establecimiento

10 Cuadros de lectura, Caligrafía y numeración.  
Silabario y Primer libro de Lectura.  
Historia Sagrada.  
Epítome de Geografía ó Geografía Atlas.  
Devocionario con los Evangelios de todas las fiestas del año.  
Método de caligrafía en 10 cuadernos.

### Lecciones de lengua castellana

Primera Lección de lengua castellana.  
Curso Elemental, alumno.  
Curso Medio, alumno.  
Curso Superior, alumno.  
La misma obra, maestro, para los tres cursos.

### Matemáticas

Ejercicios de Cálculo.  
Aritmética, Curso Elemental.  
Aritmética, Curso Medio.  
Aritmética, Curso Superior.  
Textos del ramo, por Bruño, F. J. ó colección H. E. C.  
A cada texto corresponde *la parte del Maestro*.

### Ciencias

Nociones de ciencias físicas y naturales.  
» » » » » parte del maestro.

His. N.....	}	Ayral. es coleccion H. E. C.
Física.....		
Química .....		