

R. SANJURJO

---

PRINCIPIOS ELEMENTALES

DE FÍSICA

EROS  
05

Un litro de aire pesa 1 gramo y 293 miligramos a 0 grados y 160 milímetros de presión

BFA FQ

53

T 24/105

# MENOR HERMANOS

IMPRESORES, LIBREROS Y ENCUADERNADORES

Despacho:  
Comercio, 57

Talleres:  
Sillería, 15

En esta casa se encontrará SIEMPRE un magnífico surtido en objetos de escritorio y dibujo de todas clases.

En estuches de papel y sobres no hay quien pueda competir ni en clases ni en variedad.



*Manuel Diar y Gutierrez*

**EN ESTE ESTABLECIMIENTO**

se hallan de venta

TODOS LOS LIBROS DECLARADOS DE TEXTO

PARA LA

**ACADEMIA GENERAL MILITAR**

así como los de la preparación

**PARA EL INGRESO EN LA MISMA**









PRINCIPIOS ELEMENTALES

**DE FÍSICA**





Mmanuel Abián Gutiérrez-

T24/105

**PRINCIPIOS ELEMENTALES**  
**DE FÍSICA**

OBRA PREMIADA EN CONCURSO PARA TEXTO DE ESTA ASIGNATURA

EN LA

**ACADEMIA GENERAL MILITAR**

Y COMPUESTA POR

**D. R. SANJURJO**

CATEDRÁTICO DE ELEMENTOS DE FÍSICA DEL INSTITUTO DEL CARDENAL CISNEROS

---

---

**NUEVA EDICIÓN**

---

---

TOLEDO

IMPRENTA, LIBRERÍA Y ENCUADERNACIÓN DE MENOR HERMANOS  
Comercio, 57, y Sillería, 15.—Teléfonos 3 y 4.

**1891**

---

Esta obra es propiedad de su autor, quien tiene hecho el depósito que marca la ley; la reproducción de la parte original de su texto, hecha sin permiso del autor, así como los ejemplares que no lleven el sello, número y contraseña correspondientes, serán considerados como furtivos y perseguidos con arreglo á la ley de propiedad literaria.

---



# ÍNDICE

de las «Nociones de Mecánica racional»

	<u>Páginas</u>
LECCIÓN 1. <sup>a</sup> —Definiciones preliminares.—Movimiento rectilíneo uniforme.—Movimientos variados.—Uniformemente variado....	I
LECCIÓN 2. <sup>a</sup> —Movimientos simultáneos.—Movimientos curvilíneos.—Generación del movimiento parabólico.—Generación del movimiento circular.....	V
LECCIÓN 3. <sup>a</sup> —Principios fundamentales de la Mecánica.—Ley de inercia.—Ley de la independencia de las fuerzas.—Ley de la acción y la reacción.—Ley de las velocidades virtuales.—Ley del más pequeño esfuerzo.....	XI
LECCIÓN 4. <sup>a</sup> —Composición gráfica de las fuerzas.—Fuerzas sobre un sistema rígido de puntos.....	XIII
LECCIÓN 5. <sup>a</sup> —Fuerzas centrales.—Gravedad.—Peso de los cuerpos.—Peso específico.—Densidad.....	XIX
LECCIÓN 6. <sup>a</sup> —Estudio de la caída libre en la máquina de Atwood.	XXIV
LECCIÓN 7. <sup>a</sup> —Movimiento pendular.—Leyes de los péndulos simples.—Aplicaciones de los péndulos.....	XXX
LECCIÓN 8. <sup>a</sup> —Máquinas simples.—Condiciones para su equilibrio.—Palancas.—Poleas.—Torno.—Ruedas dentadas.—Plano inclinado.—Toruillo.....	XXXVI
LECCIÓN 9. <sup>a</sup> —Balanzas ordinarias.—Romanas.—Básculas.....	XLVI



# ÍNDICE

## de las Lecciones contenidas en los «Principios elementales de Física»

	Páginas.
LECCIÓN 1. <sup>a</sup> —Definición de la Física.—Sus fuentes de conocimiento.—Auxilio de los aparatos.—Causas inmediatas de los fenómenos.—Ley Física.—Hipótesis.—Causa inmediata generalmente admitida hoy como origen de todo fenómeno.—Clasificación de los tratados de la Física.—1.º en Apodícticos é Hipotéticos.—2.º Respecto del método de su estudio.—Separación del estudio de los fenómenos químicos.—Realidad objetiva de todos los fenómenos y orden de los tratados de la Física experimental.—Complejidad y equivalencia de los fenómenos físicos.—Ley de la conservación de la materia y de la energía.....	1
LECCIÓN 2. <sup>a</sup> —Definición de materia.—Hipótesis sobre su constitución por Dynamidas.—Estados de los cuerpos en circunstancias ordinarias.—Explicación de estos estados por la hipótesis de las dynamidas... ..	6
LECCIÓN 3. <sup>a</sup> —Cualidades generales de los cuerpos.—Impenetrabilidad.—Extensión.—Nonius rectilíneos y circulares.—Tornillo micrométrico y catetómetro.—Divisibilidad.—Movilidad.—Porosidad.—Variación de volumen.—Compresibilidad y dilatabilidad .....	10
LECCIÓN 4. <sup>a</sup> —Condiciones que caracterizan el estado sólido.—Fuerzas moleculares en los sólidos.—Cohesión.—Adherencia.—Elasticidad.—Coeficiente y módulo de elasticidad.—Balanzas de resorte.—Elasticidad por torsión.—Leyes estudiadas por Coulomb.—Medios y sus resistencias .....	16
LECCIÓN 5. <sup>a</sup> —Choque: recto, oblicuo, central y excéntrico.—Proceso del choque.—Choque de cuerpos duros inelásticos esféricos.—Leyes que se deducen teóricamente; su corroboración experimental.—Choque de cuerpos elásticos.—Experiencias que confirman las leyes teóricas.—Leyes del tiempo y duración del proceso del choque.....	22
LECCIÓN 6. <sup>a</sup> —Condiciones que caracterizan á los cuerpos líquidos.—Hidrostatica.—Principio de Pascal sobre igualdad de presión, su aplicación á la prensa hidráulica.—Equilibrio de los líquidos sometidos á la acción solamente de la gravedad.—1.º Superficie libre; 2.º presión sobre el fondo.—Altura en vasos comunicantes, no capilares.—Aplicación á los niveles y á la explicación de los pozos artesianos.—Presión lateral de los líquidos.—Presión en el interior.....	27
LECCIÓN 7. <sup>a</sup> —Principio de Arquímedes: su demostración teórica y experimental.—Su aplicación á la investigación del peso específico de los sólidos y líquidos.—Balanza de Mohr.—Areómetro de Nicholson para sólidos y líquidos.—Forma dada por Tralles.—Areómetros de escala ó de volumen variable.....	36
LECCIÓN 8. <sup>a</sup> —Hidrodinámica.—Teorema de Torricelli.—Aparato de nivel constante de Prony y frasco de Mariotte.—Contracción de la vena fluida.—Reacción de la salida de los líquidos.—Rueda de Seguer.—Fuerza viva de la caída de una masa líquida.—Capilaridad.—Experiencias en el contacto de las láminas con los líquidos.—Efectos del contacto con los tubos capilares.—Endósmosis y difusión Endosmometro.....	43
LECCIÓN 9. <sup>a</sup> —Caracteres de los gases.—Fuerza expansiva y peso,—	

Atmósfera.—Magnitud de las moléculas gaseosas.—Experiencia de Torricelli.—Barómetro normal.—Barómetro de Fortin. . . . .	51
LECCIÓN 10.—Lectura y correcciones de la altura de la columna barométrica.—Error de capilaridad.—Corrección de temperatura.—Lecturas reducidas.—Presión normal.—Variaciones atmosféricas y barométricas.—Aplicación del barómetro para la medición de alturas.—Aneroides de Bourdon y de Vidi y Holosteric . . . . .	58
LECCIÓN 11.—Ley de la compresión y dilatación de los gases ó sea ley de Mariotte.—Manómetros.—Tubos de seguridad.—Manómetro de aire comprimido.—Metálicos ó de Bourdon.—Válvula de seguridad. . . . .	68
LECCIÓN 12.—Máquinas Pneumáticas.—Modelo Bianchi de doble efecto.—Bomba de compresión.—Bombas hidráulicas aspirantes.—Impelentes.—De incendios.—Pipetas y sifones. . . . .	74
LECCIÓN 13.—Principio de Arquímedes aplicado á los gases.—Su demostración experimental con el Baróscopo.—Globos aerostáticos.—Cálculo de la fuerza ascensional de un globo.—Paracaídas.—Globos cautivos.—Expediciones científicas en globos aerostáticos. . . . .	86
LECCIÓN 14.—Principios teóricos del movimiento ondulatorio.—Vibración de un punto.—Vibración de una fila de puntos.—Establecimiento de la onda. . . . .	95
LECCIÓN 15.—Superposición de los movimientos ondulatorios.—Interferencias.—Oscilación de los cuerpos ó sistemas de puntos.—Principio de Huighens sobre la propagación de los movimientos ondulatorios en un sistema isotropo. . . . .	100
LECCIÓN 16.—Acústica.—Definición de sonido.—Necesidad del medio ponderable elástico para su trasmisión.—Límite de su sensación en los hombres.—Modificación de la estructura del medio que lo propaga.—Velocidad de los sonidos en el aire.—Complejidad de la composición de las ondas sonoras.—Cualidades que el oído distingue en los sonidos.—Ruedas dentadas de Savart.—Resonancia.—Eco. . . . .	106
LECCIÓN 17.—Aplicación de las leyes de la acústica á algunos aparatos.—Tubos acústicos.—Bocinas.—Fonógrafo.—Telémetro de Boulangé.—Explosiones . . . . .	113
LECCIÓN 18.—Representación gráfica de los sonidos y de sus caracteres.—Resonadores.—Su aplicación al estudio óptico de los sonidos.—Escala diatónica. . . . .	122
LECCIÓN 19.—Calor.—Hipótesis sobre su esencia.—Determinación de su equivalente mecánico.—Trasmisión del calor. . . . .	129
LECCIÓN 20.—Dilatación por el calor.—Principio en que se fundan los termómetros de líquidos.—Construcción de los termómetros de mercurio y espíritu de vino.—Escalas usuales.—Termómetros metálicos.—Termómetros de máxima y mínima de Ruthford.—Pirómetro de Wedwood. . . . .	134
LECCIÓN 21.—Cambio de estado de los cuerpos.—Punto de fusión y de solidificación.—Evaporación.—Diferencia entre vapores y gases.—Máximo de la fuerza expansiva de los vapores.—Ebullición.—Licuación de los vapores y gases.—Investigación de la humedad del aire atmosférico. . . . .	143
LECCIÓN 22.—Calorimetría.—Calores específicos.—Calores latentes. . . . .	151
LECCIÓN 23.—Origen del calor.—Insolación.—Radiación.—Termómetros diferenciales.—Poder radiante de los cuerpos.—Absorción de los rayos de calor.—Reflexión y difusión del calor radiante.—Facultad de los cuerpos para dejarse atravesar por los rayos de calor. . . . .	154
LECCIÓN 24.—Lámpara de Dawy.—Máquina de vapor.—Cualidades técnicas del vapor de agua.—Clasificación de las máquinas de vapor.—1.º, por el modo de ejercer sus efectos el vapor; 2.º, por la extensión del espacio en que actúa, 3.º, por la presión; 4.º, por la manera de estar colocados los cilindros; 5.º, por el montaje de todo el aparato.—Generadores.—Sus accesorios esenciales.—Mecanismo para el aprovechamiento del vapor.—Locomotoras. . . . .	160
LECCIÓN 25.—Definición de luz.—Ondulaciones etéreas.—Equivalente mecánico.—Velocidad de la luz.—Rayo luminoso.—Conductibilidad de	

los cuerpos para la luz.—Sombra y penumbra.—Fotometría.—Ley de intensidad de la luz con respecto á las distancias.—Fotómetros.....	175
LECCIÓN 26.—Reflexión y difusión.—Reflexión regular: Reflexión irregular ó luz difusa.—Espejos.—Planos.—Curvos.—Imágenes en los espejos planos.—Imágenes entre dos espejos planos en ángulo.....	183
LECCIÓN 27.—Espejos curvos esféricos.—Reflexión sobre un espejo convexo de los rayos de luz de un punto.—Imágenes en los espejos convexos.—Imagen de un punto en los espejos cóncavos esféricos.—Imágenes de los objetos.—Imágenes reales y virtuales.—Error de esferoicidad.—Cáustica por reflexión.....	186
LECCIÓN 28.—Refracción de la luz.—Índice de refracción.—Reflexión total.—Ejemplos.—Refracción en los prismas.....	193
LECCIÓN 29.—Lentes.—Sus clases.—Formas en las esféricas.—Acción de las biconvexas sobre la luz.—Imágenes.—Efectos ópticos de las lentes cóncavas.—Imágenes.—Error de esferoicidad de las lentes.....	198
LECCIÓN 30.—Lentes anulares de Fresnel para los faros.—Espectro solar.—Colores simples.—Coloración de los objetos.....	207
LECCIÓN 31.—Descripción del ojo humano.—Alteraciones.—Acomodación.—Miopía y presbicia.—Límites de la visión.—Duración de las impresiones.....	210
LECCIÓN 32.—Microscopio simple.—Microscopio compuesto.—Anteojos de larga vista.—Gemelos.—Anteojos corneta de Porro.—Cámara obscura.—Fotografía.....	215
LECCIÓN 33.—Electricidad.—Primeros fenómenos.—Electroscopios.—Conductores y aisladores ó dieléctricos.—Modo de estar la electricidad sobre los conductores aislados.—Fuerzas centrales.—Potencial eléctrico.—Presión electrostática.—Cantidad de electricidad y tensión eléctrica.—Poder de las puntas y llamas.—Máquinas eléctricas de rozamiento.....	222
LECCIÓN 34.—Electrización por influencia.—Su explicación hipotética...	235
LECCIÓN 35.—Condensadores.—Baterías eléctricas.—Chispa eléctrica y excitadores.—Acción de los dieléctricos en los condensadores.—Ejemplos de electrización por influencia que la naturaleza ofrece.—Rayos y pararrayos.....	238
LECCIÓN 36.—Corrientes galvánicas.—Pilas.—Período variable.—Teoría electrolítica de las pilas.—Pila de columna de Volta.....	244
LECCIÓN 37.—Modelos de pilas de Daniel.—De Bunssen.—Elementos Leclanché.—Pilas Renard.—Pilas de productos utilizables.—Pilas La Lande y Chaperón.—Agrupamiento de las pilas.....	250
LECCIÓN 38.—Pilas secundarias ó acumuladores.—Reversión de las Pilas.—Tipos de acumuladores más usados.—Rendimiento de los acumuladores.—Duración de los elementos secundarios de plomo.—Noticia de los acumuladores Commelin y Desmares.—Pilas secundarias de gases.—Pares termoeléctricos.....	255
LECCIÓN 39.—Imanes.—Imanes naturales.—Campos magnéticos.—Potencial magnético.—Polos.—Determinación de las curvas de intensidad de una barra imantada.—Su comprobación gráfica.....	261
LECCIÓN 40.—Experiencias con las barras de acero imantadas artificialmente.—Imanes artificiales de acero.—Representación experimental de las líneas de fuerza de un campo.—Puntos consecuentes en una barra imán.—Conservación de la imantación de las barras.—Imantación por influencia.—Hysteresis.....	266
LECCIÓN 41.—Electromagnetismo.—Acción de las corrientes sobre los imanes.—Imantación por corrientes.—Electros.—Acciones recíprocas de los imanes sobre las corrientes.—Acciones mutuas entre corrientes.—Explicación por las hipótesis de Maxwell y Faraday.....	274
LECCIÓN 42.—Corrientes inducidas.—Reglas para averiguar su sentido.—Ejemplos de inducción.—Auto inducción.—Experiencias de extracorrente.—Explicación.—Inducción en un circuito producido por un imán.—Experiencias de Lens.—Bobina de Kuhmkorff.....	283

	Páginas.
LECCIÓN 43.—Dinamos.—Principios teóricos de la construcción de las dinamos.—Conmutadores de corrientes alternativas y de corrientes continuas.—Detalles sobre el ángulo de las escobillas.—Elementos de las dinamos que condicionan su fuerza electromotriz.....	297
LECCIÓN 44.—Detalles sobre el inducido de las dinamos.—Detalles sobre el campo magnético de las dinamos.....	301
LECCIÓN 45.—Tipos prácticos de dinamos.—Inducidos de disco.—Máquinas de corrientes alternativas.....	304
LECCIÓN 46.—Asociación de las dinamos.—Dinamos receptoras.....	309
LECCIÓN 47.—Sistema de unidades electromagnéticas.—Generalidades preliminares.—Concepto cuantitativo que se mide con el Volt.—Concepto cuantitativo que se mide con el Ohm.—Concepto cuantitativo de intensidad de una corriente eléctrica.....	312
LECCIÓN 48.—Aplicaciones de electromagnetismo y corrientes inducidas. Luz eléctrica.—Transformadores.—Teléfono y micrófono.—Aplicación del teléfono y micrófono á la guerra de Sitio.—Telegrafía eléctrica. Telégrafo de Breguet.—Telégrafo de Morse.—Telémetro eléctrico.....	318
LECCIÓN 49.—Meteorología y climatología.—Temperatura: calor en la Tierra, su procedencia.—Climas.—Las cinco zonas.—Temperaturas medias diarias.—Medias mensual y anual.—Isotermas é isoquimetas.—Climas continental y marítimo.—Vientos: manera de producirse los vientos.—Brisas de mar y tierra.—Vientos durante las tempestades; su origen probable.—Alisios y monzones.—Alisios superiores.—Ley de la rotación del viento.—Dirección de los vientos.—Velocidad de traslación: anemómetros.—Escala marítima.—Nubes y nieblas.—Lluvia.—Hidrometeoros.—Medidas de las lluvias.—Modelos diferentes de pluviómetros.—Nieve.—Rocío y sereno.....	340
APÉNDICE.—Experiencias de Hertz, sobre propagación del movimiento eléctrico.....	351





# NOCIONES DE MECÁNICA

## LECCION 1.<sup>a</sup>

### Preliminares

*MECÁNICA es la ciencia del movimiento y de sus causas.*

*MOVIMIENTO es el cambio de lugar de un cuerpo en el espacio. Las causas de los movimientos se llaman FUERZAS.*

El estudio de la Mecánica se divide en varias partes, de las cuales, las principales se llaman CINEMÁTICA, que se ocupa del movimiento de las masas prescindiendo de las causas que le producen ó modifican: COMPOSICIÓN y DESCOMPOSICIÓN de las fuerzas, y ESTÁTICA y DINÁMICA, que estudian respectivamente las condiciones de las fuerzas para que resulte el equilibrio ó el movimiento.

**Cinemática.**—Conocemos que un cuerpo se mueve, cuando apreciamos que varía de distancia, respecto de los puntos que consideramos como fijos.

Los movimientos pueden ser ABSOLUTOS ó RELATIVOS. El primero es el que se aprecia respecto de puntos fijos, y el segundo es el que tiene un cuerpo con relación á puntos que á su vez se mueven.

Se dice que un cuerpo está en REPOSO cuando no se mueve.

El estudio de los movimientos de los cuerpos se deduce del de un punto material, pues los cuerpos pueden considerarse como sistemas de puntos materiales.

En el movimiento de un punto hay que considerar su TRAYECTORIA y SU MODO DE MOVERSE EN ELLA; TRAYECTORIA es el lugar geométrico de las posiciones continuas y sucesivas del punto en el espacio. El MODO DE MOVIMIENTO es la relación entre los espacios de trayectoria recorridos y los tiempos empleados en recorrerlos.

Se llama ORIGEN DE LOS ESPACIOS el punto de la trayectoria á par-

tir del cual se cuentan las distancias recorridas. POSICIÓN INICIAL es la que ocupa el punto móvil respecto del origen, antes de empezar su movimiento, y la que ocupa cuando le acaba se llama POSICIÓN FINAL.

Las distancias sobre la trayectoria se miden con el METRO, sus múltiplos y submúltiplos. Los tiempos se miden regularmente con el SEGUNDO.

La palabra INSTANTE no significa unidad de tiempo, sólo se emplea para marcar los límites de la observación de un movimiento, así se dice INSTANTE INICIAL ó FINAL para expresar cuándo empieza ó acaba una observación.

Los movimientos en atención á la trayectoria se clasifican en RECTILÍNEOS ó CURVILÍNEOS, según que el punto móvil describa una línea recta ó curva. Si se atiende á su modo de movimiento se dividen en UNIFORMES y VARIADOS.

**Movimiento rectilíneo uniforme.**—*Se dice que un punto móvil tiene en una trayectoria rectilínea ó curvilínea, un MOVIMIENTO UNIFORME, cuando en tiempos iguales recorre espacios iguales, cualquiera que sea la unidad de tiempo que se considere.*

Un ejemplo de movimientos uniformes lo ofrecen los astros del sistema solar, al recorrer sus órbitas. En la tierra, el movimiento de un tren sobre una vía recta horizontal, de un barco en aguas tranquilas, de las piezas de muchas máquinas, y otros, dan con ligero error idea práctica del movimiento uniforme.

En el movimiento uniforme se puede hallar fácilmente una relación numérica entre el *espacio* y el *tiempo*: en efecto, si, por ejemplo, un móvil recorre 30 metros en 8 segundos, en un segundo recorrerá  $\frac{30}{8}$ . Si el movimiento es uniforme, esta relación entre el espacio y el

tiempo, ha de ser *constante*, y se llama *la velocidad del movimiento*. Luego la *velocidad en el movimiento uniforme es igual al cociente del espacio por el tiempo*: si, pues, se llama  $v$  á la velocidad,  $e$  al espacio, y  $t$  al tiempo, se tiene expresada simbólicamente la ley anterior por la fórmula  $v = \frac{e}{t}$ . —(1).

De la ecuación (1) resulta también  $e = vt$ .... (2) y  $t = \frac{e}{v}$ ..... (3), á

las ecuaciones (1) (2) (3) se les nombra ecuaciones de la *velocidad*, del *espacio* y del *tiempo* del movimiento uniforme, y sirven para resolver los diversos problemas que sobre esta clase de movimiento

pueden proponerse, siempre que se conozcan dos de las tres variables  $e$ ,  $v$ ,  $t$ .

**Movimientos variados.**—Llámanse movimientos VARIADOS, aquellos en que varía continuamente su velocidad.

De manera que en cada unidad de tiempo, por pequeña que sea la que consideremos, el movimiento no es uniforme.

En realidad, todos los movimientos que podemos experimentar, son variados: así, un tren unas veces aumenta y otras disminuye su velocidad; una máquina no tiene siempre la misma velocidad en sus piezas; un reloj, por perfecto que sea, unas veces apresura y otras retarda sus movimientos.

Respecto de la *velocidad* en los movimientos variados, se distinguen dos conceptos, á saber: su *velocidad media* durante un lapso de tiempo que consideremos, y su *velocidad final ó adquirida*, por el móvil al cabo de ese mismo tiempo.

Respecto de la velocidad MEDIA en un tiempo dado, se considera que es la uniforme con que un móvil recorrería el mismo espacio que recorre el que tiene movimiento variado y en el mismo tiempo que éste.

Si además de esta consideración suponemos que el movimiento variado se compone de una serie de movimientos uniformes sucesivos, se deduce la siguiente proposición:

*La velocidad media de un movimiento variado durante un cierto tiempo es igual á la media aritmética entre todas las velocidades uniformes de que se considera compuesto.*

Aplicando esto á un caso general expresado simbólicamente, quiere decir que si durante un tiempo  $T$  se considera compuesto un movimiento variado de tres sucesivos uniformes, tales, que en el primero recorre el móvil el espacio  $e$  en el tiempo  $t$ , con la velocidad uniforme  $v$ , en el segundo  $e'$  en  $t'$  con  $v'$ , y en el tercero  $e''$  en  $t''$  con  $v''$ , es claro, según la ecuación (2) que  $e + e' + e'' = vt + v't' + v''t''$ —(4).

Por otra parte, si se designa por  $V$  la velocidad constante de otro móvil que recorre el mismo espacio  $E$  en el mismo tiempo  $T$  que el anterior, es evidente que su velocidad constante  $V$  es lo que se ha definido como velocidad media del primer móvil durante el tiempo que estuvo en movimiento variado. Pero respecto de este segundo

móvil, se verifica según la ecuación (1) que  $V = \frac{E}{T}$  y como  $E$  y  $T$  son respectivamente iguales á la suma de los espacios  $e + e' + e''$  y  $t + t' + t''$ , se tiene  $V = \frac{vt + v't' + v''t''}{t + t' + t''}$  (5).

L. 2.  
del programa.

Respecto de la *velocidad final ó adquirida* por un móvil con movimiento variado, al cabo de un tiempo dado, se considera que es la *velocidad uniforme con que el móvil seguiría moviéndose en la unidad de tiempo siguiente, al instante en que cesa la causa que varía su movimiento.*

**Movimiento uniformemente variado.**—Llámase así á aquel *cuya velocidad varía proporcionalmente al tiempo.*

Esto quiere decir que, si por ejemplo, en un segundo la velocidad de un móvil con movimiento uniformemente variado, varía en  $g$  metros, en dos segundos su variación será  $2g$ , y en tres segundos su variación será  $3g$ , y por tanto en  $t$  segundos, será  $gt$ .

Si esta variación de velocidad, es en el sentido de ir *aumentando*, el *movimiento se llama acelerado*; por ejemplo, un cuerpo que cae acercándose á la tierra. Si, por el contrario, la variación de la velocidad es en el sentido de ir *agotándose* una cualquiera que posea el móvil, el movimiento se llama *retardado*; como, por ejemplo, el movimiento de una bala de cañón, que se lanzara verticalmente y en el sentido de apartarse de la tierra, la variación constante en este caso es retardando el movimiento, que sin ello seguiría uniformemente como se inició.

La cantidad constante en que varía la velocidad en cada unidad de tiempo, en el movimiento uniformemente variado, se llama la *aceleración*. Las ecuaciones que existen entre el espacio  $e$ , la aceleración  $g$ , y el tiempo  $t$ , en el movimiento uniformemente variado, de un cuerpo que parte del reposo, son las siguientes: 1.<sup>a</sup>, con respecto á la *velocidad final* al cabo del tiempo  $t$ , de un móvil que partiendo del reposo, (ó cero velocidad) toma un movimiento uniformemente acelerado, siendo  $g$  la aceleración, si se llama  $v$  se tiene  $v=gt$ : (6) 2.<sup>a</sup>, la ecuación de la *velocidad media* en dos unidades de tiempo, su fórmula es  $\frac{0+gt}{2}$ , (7): 3.<sup>a</sup>, la ecuación del *espacio* es  $e=\frac{1}{2}gt^2$  (8).

La deducción teórica de la ecuación (8) no puede hacerse rigurosamente empleando el cálculo elemental; por eso se suprimen aquí las deficientes que sobre esta fórmula se han hecho elementalmente, reservándonos dar una corroboración experimental de ella al estudiar un ejemplo de estos movimientos en la caída libre de los cuerpos.

De estas ecuaciones se deducen varias leyes, entre las cuales las más importantes son las siguientes: Si llamamos  $e'$  y  $t'$  á otro espacio y tiempo del movimiento del móvil, cuya aceleración uniforme es  $g$ ,

se tiene también que  $e' = \frac{1}{2} g t'^2$  (9), y si se dividen ordenadamente,

(8) y (9) y se suprime el factor  $\frac{1}{2} g$  común, se tiene  $\frac{e}{e'} = \frac{t^2}{t'^2}$  ..... (9).

Cuya traducción es que en los movimientos, uniformemente variados, los *espacios totales recorridos por un mismo móvil son proporcionales á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.*

Si en la ecuacion (7) se hace  $t=1$ , es decir, se considera la primera unidad de tiempo, se tiene  $g=2e$ , cuya traducción es que *la aceleración de un movimiento uniformemente variado, de un móvil que parte del reposo, es igual al doble del espacio recorrido por el móvil en la primera unidad de tiempo.* Si se llaman  $v$  y  $v'$  las velocidades finales alcanzadas en los tiempos  $t$  y  $t'$  se tiene  $v=gt$  y  $v'=gt'$ , de donde dividiendo ordenadamente  $\frac{v}{v'} = \frac{t}{t'}$ , cuya traducción es que *las velocidades finales son entre sí como los tiempos empleados en alcanzarlas.*

## LECCIÓN 2.<sup>A</sup>

### Movimientos simultáneos

L. 3<sup>a</sup>

Un cuerpo puede estar sometido á muchos movimientos, que se realizan simultáneamente, así, por ejemplo, las manecillas de un reloj, que lleve en la mano un hombre que pasea por la cubierta de un barco en movimiento, están sometidas á varios movimientos, que se verifican á la vez, y de cuya composición resultaría un cierto movimiento, para las manecillas, respecto de los puntos fijos con que las relacionáramos.

Todos los movimientos que concurren en un cuerpo para constituir el solo y único que le anime, respecto de los puntos fijos, se llaman los *componentes* de este solo y único que es el *resultante*.

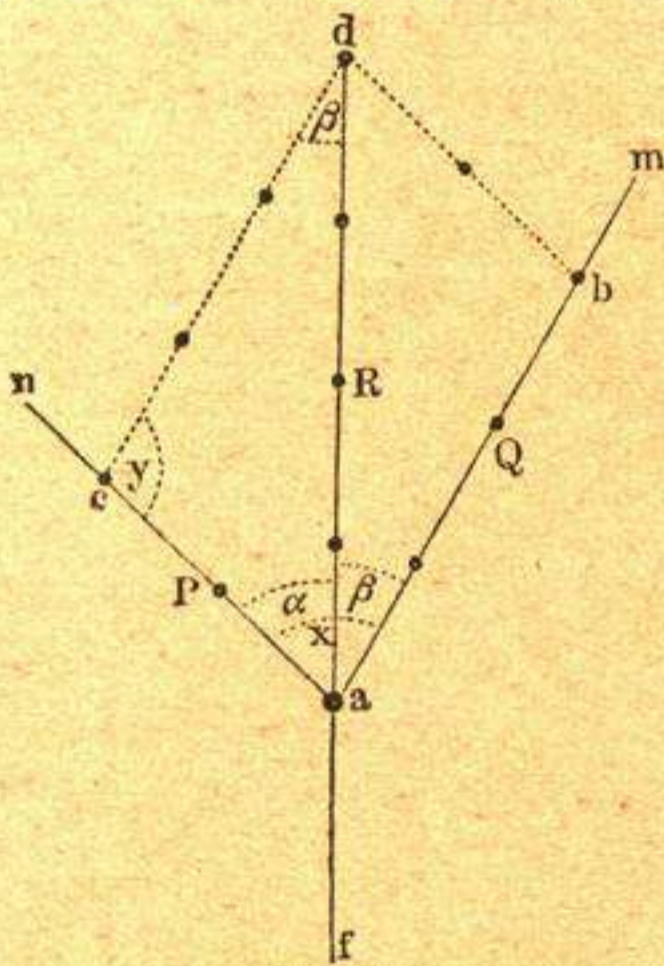
Para resolver los diferentes casos de composición de movimientos que pueden proponerse, se hace una representación gráfica de ellos por *medio de rectas proporcionales á sus velocidades.* Así un movimiento uniforme puede representarse por una recta, cuya longitud sea igual ó proporcional al espacio que recorre en la unidad de tiempo

(fig. 1.<sup>a</sup>) y un movimiento uniformemente variado por las rectas consecutivas que representan los espacios recorridos en cada unidad de tiempo.

Fig. 1.<sup>a</sup>

Esto supuesto, el *movimiento resultante de dos simultáneos rectilíneos* uniformes ó de dos ó uno solo de ellos uniformemente variados, es también rectilíneo y uniforme ó uniformemente variado.

Aquí se pueden considerar varios casos: 1.º *Si las trayectorias componentes están sobre una misma línea recta, la resultante será la suma algébrica de ellas.* 2.º *Si las trayectorias forman ángulo entre sí, distinguiremos que sean dos ó más; supongamos que sean dos y que partan de un mismo punto, por ejemplo: (fig. 2.<sup>a</sup>) que *ab* y *ac* representen los espacios que aisladamente recorrería el móvil que parte de *a* con cada uno de los movimientos que le animan en la unidad de tiempo, la composición de los dos da lugar á que el cuerpo siga un espacio en la misma unidad de tiempo que está representado en *magnitud* y *dirección* por la diagonal *ad* del paralelogramo construido sobre las dos componentes; tal es, pues, la *representación gráfica* del movimiento resultante de dos rectilíneos angulares.*

Fig. 2.<sup>a</sup>

Sabiendo hallar el resultante de dos movimientos que parten de un punto y cuyas direcciones forman ángulo, es fácil representar el de muchos que animen á un móvil y cuyas direcciones formen ángulo, pues no hay más que componer dos de ellos y después hallar el resultante del que se ha encontrado, combinado con el tercero, y así sucesivamente, por ejemplo: si se propusiese hallar el movimiento resultante de la composición de cuatro movimientos que animan á un móvil, se componen los dos primeros, y dará por resultante uno que nombraremos  $\alpha$ , puesto que  $\alpha$  sustituye á los otros dos, el sistema de movimientos se puede considerar sustituido por el de tres; si ahora se componen dos de éstos, ya no queda más que un sistema de dos movimientos, y si se componen éstos, se tiene uno sólo, que es el *Resultante* de la composición de los cuatro considerados.

Las líneas trazadas para formar los paralelogramos parciales for-

man un polígono, en el cual el primer lado es la primer velocidad, los siguientes (menos el último) son paralelos é iguales al componente respectivo, y el último es el resultante buscado; á tal *polígono se le llama de las velocidades*, y se podrá tener la siguiente regla:

Para hallar el movimiento resultante (en la unidad de tiempo) de un móvil animado de diferentes movimientos rectilíneos á partir de un punto y del reposo, se forma el polígono de las velocidades, y la recta que une el punto dado con el extremo de la paralela á la última velocidad, cuya recta cierra el polígono, es la representación buscada del movimiento resultante.

**Movimientos curvilíneos.**—Llámanse así aquellos en que la trayectoria descrita por el móvil es una curva.

El modo de movimiento sobre estas trayectorias puede ser *uniforme* ó *variado*, lo mismo que en las rectilíneas; la diferencia consiste en que la velocidad y la aceleración no tiene la misma dirección que la trayectoria.

El movimiento curvilíneo de un móvil se origina por la composición de dos ó más simultáneos del mismo. Los más importantes son los siguientes:

**Generación del movimiento parabólico.**—Supongamos (figura 3.<sup>a</sup>) que un punto móvil A está animado de dos movimientos, el primero uniforme, y el segundo uniformemente variado: sea A B la velocidad del primero, y por tanto, AB, BC, CD, DE,... los espacios iguales que recorrería en las mismas unidades de tiempo, en la dirección horizontal, si sólo tuviese un movimiento; sean BF, CG, DH, EI, los que recorrería el móvil por el segundo movimiento al cabo de

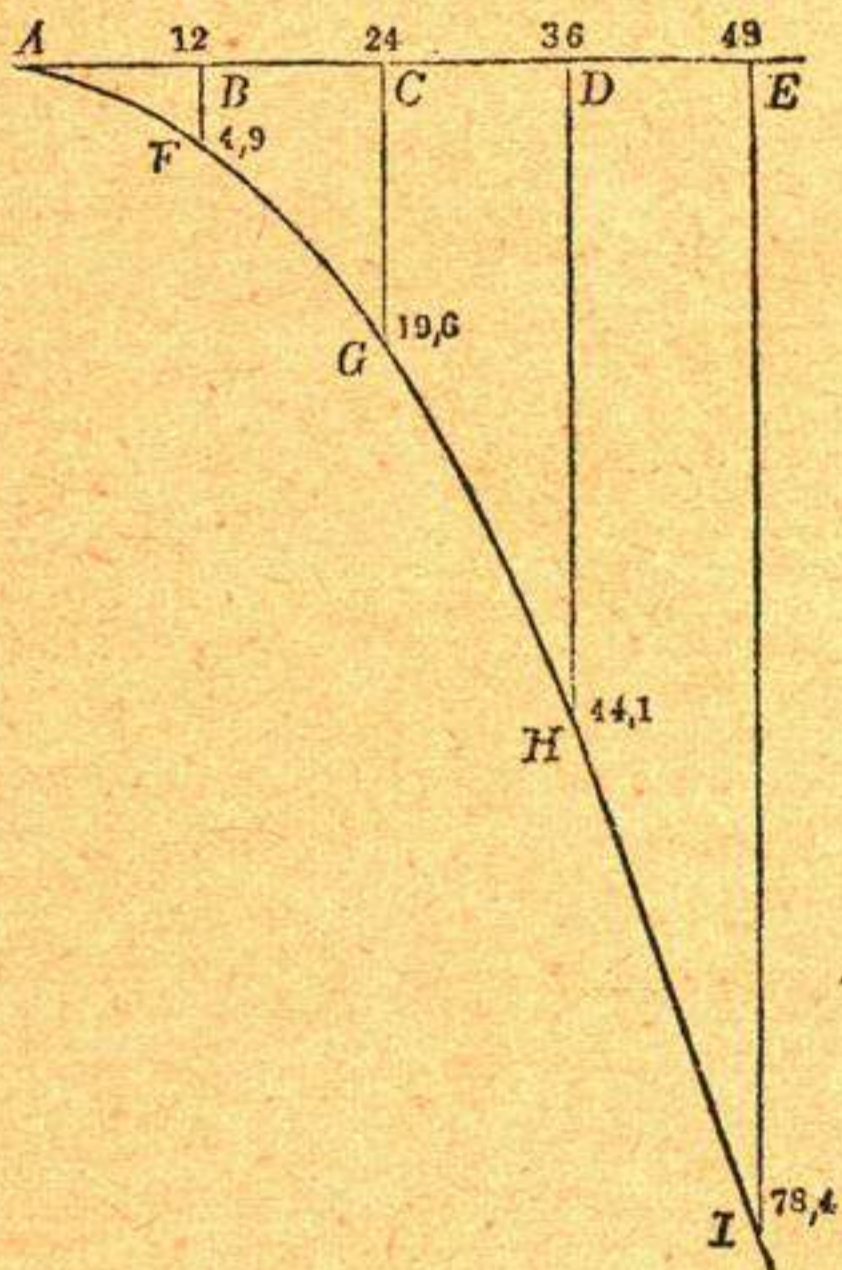
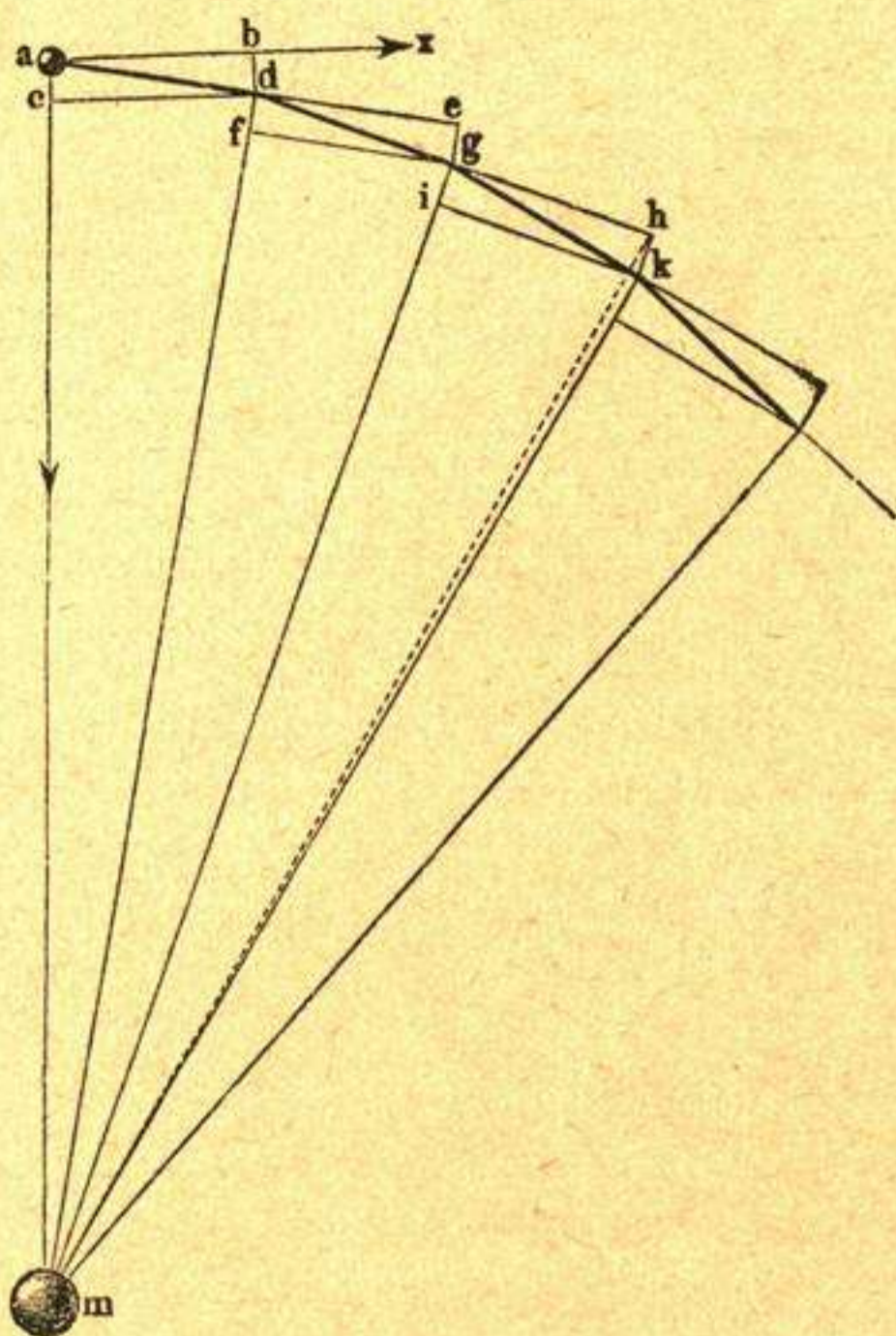


Fig. 3.<sup>a</sup>

los tiempos correspondientes. Si ahora se componen, se tiene que en el primer segundo, el móvil recorrería la trayectoria representada por AF; en el segundo, la representada por FG; en el tercero, la GH, y en el cuarto, la HI, y así sucesivamente: en realidad, la trayectoria total recorrida es una línea poligonal; pero si se considerasen intervalos de

tiempo cada vez más pequeños, los lados de esta línea poligonal serían muy pequeños y representarían una rama de una curva, que es la llamada *parábola*.

Fig. 4.<sup>a</sup>

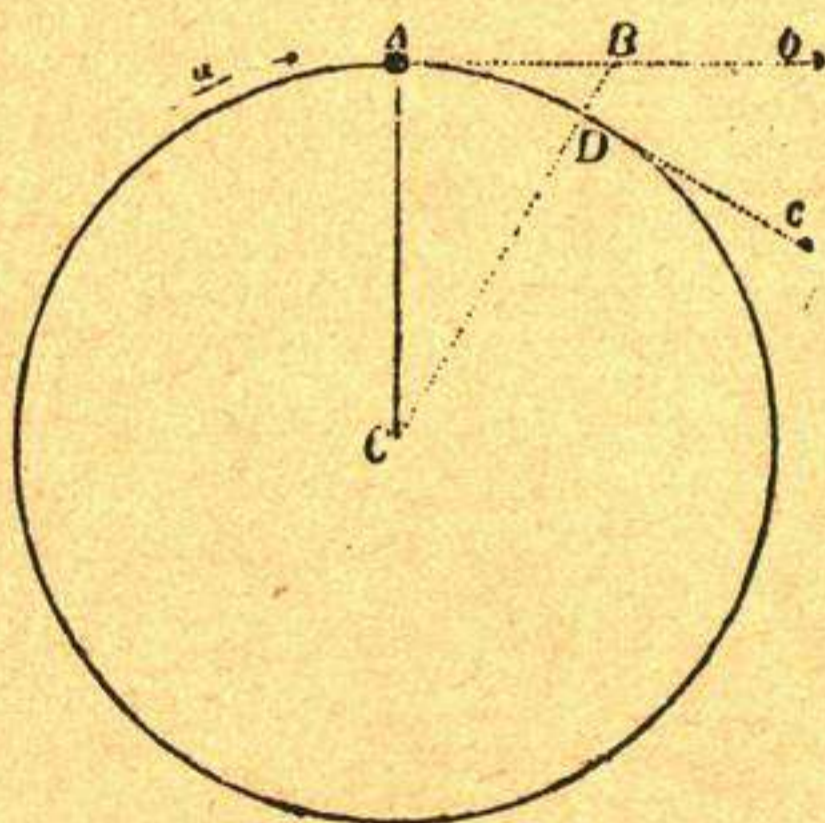
*adgk...* que será línea curva, cuando se consideren intervalos de tiempo suficientemente pequeños; esta curva será circunferencia ó elipse según la relación de las velocidades de los dos movimientos.

En los movimientos CURVILÍNEOS, la dirección de la velocidad es TANGENTE Á LA TRAYECTORIA: se llama DESVIACIÓN, la distancia desde el punto que ocuparía el móvil si siguiera la dirección de la tangente, en el último elemento de su trayectoria, hasta el punto que realmente ocupa en un tiempo dado: así (fig. 5.<sup>a</sup>) sea

A un móvil que con la velocidad que lleva en ese punto, si siguiera en su dirección rectilínea, se encontraría al cabo de la unidad de tiempo en B; pero realmente, y por la composición de sus movimien-

Un ejemplo de este movimiento: lo ofrece la vena líquida que sale con un impulso horizontal, y cae por la gravedad, como experimentalmente se verá más adelante.

**Generación del movimiento circular ó elíptico.** — Supongamos (fig. 4.<sup>a</sup>) un punto *a* que tiene un movimiento rectilíneo en la dirección *ax* y con la velocidad *ab*, y además está animado de otro movimiento constante que trata de llevarlo hacia un punto fijo *m*, con una velocidad también constante y representada por *ac*, es claro que la trayectoria en las tres unidades de tiempo consideradas estará representada por la línea poligonal

Fig. 5.<sup>a</sup>



tos se encuentra en esa unidad de tiempo, en D; se tiene que AB es lo que se llama VELOCIDAD TANGENCIAL y la distancia BD es la DESVIACIÓN. En los *movimientos curvilíneos uniformemente variados*, la *aceleración tiene la dirección de la desviación*.

Los sólidos ó sistemas rígidos de puntos no pueden tener más que dos clases de movimientos elementales ó simples, á saber: el de *Traslación* y el de *Rotación*. Con respecto al primero, se conoce y define cuando es tal que las *velocidades de tres de sus puntos son iguales y en la misma dirección*. En este caso, la velocidad de traslación del sólido es la de uno cualquiera de sus puntos; por ejemplo, las plataformas de los coches de un tren que marcha en línea recta. El movimiento de *rotación* de un sólido se determina porque en él se pueda considerar una recta fija, ó eje á cuyo alrededor describan circunferencias todos los demás puntos del sistema, siendo los planos de éstos perpendiculares al eje, y sus centros las intersecciones del eje con los planos. Los ejemplos son numerosos: las ruedas de los coches, piedras de afilar, volantes de las máquinas, y otros muchos más que pueden citarse.

Se llama *desplazamiento angular, ó velocidad angular en un tiempo dado de un PUNTO* de un sólido en rotación, á la *amplitud del ángulo que describe la perpendicular bajada desde el punto al eje, en el tiempo marcado*; y se llama *velocidad lineal* del mismo punto á la longitud del arco rectificado que recorre en el tiempo dado.

El movimiento de rotación puede ser uniforme ó variado según que el desplazamiento angular sea constante ó variable.

Si un sólido está en rotación uniforme, las velocidades lineales de dos de sus puntos son proporcionales á sus distancias al eje. En este caso se toma como velocidad *angular*, la *lineal* de aquel de sus puntos que está á la distancia 1 del eje.

Por ejemplo, un sólido da 30 vueltas en cuatro segundos y se pregunta cuál es su velocidad angular: ésta se halla considerando que el punto que diste del eje la unidad de longitud (centímetro, metro, etc.) recorre en una vuelta completa  $2\pi$  grados (pues si  $r=1$  se tiene circunferencia ó sea  $360^\circ=2\pi$ ) y como da 30 vueltas recorre  $2\pi \cdot 30$  grados; pero esto es en 4 segundos, luego en uno será  $\frac{2\pi \cdot 30}{4}$  que expresa su velocidad angular en 1". De aquí se deduce que si se llama V á la velocidad angular de un sólido en rotación uniforme,  $n$  al número de vueltas que da en  $t$  segundos, la fórmula es  $V = \frac{2\pi \cdot n}{t}$ .

La Tierra es un sólido en rotación uniforme alrededor de su eje, que va de Norte á Sur; si imaginamos que desde un punto cualquiera de la tierra se baja una perpendicular al eje, ésta iría formando durante el movimiento diversos ángulos con su posición inicial; y como en tiempos iguales estos ángulos son iguales, por eso se dice y conoce que la rotación de la tierra es uniforme. La velocidad angular de uno cualquiera de sus puntos, se medirá considerando que en 24 horas recorre  $360^\circ$ , luego en una hora recorrerá  $\frac{360}{24} = 15^\circ$  y en un segundo, los grados del arco descrito por el punto será de  $\frac{15^\circ}{60 \times 60} = 15''$ . Con respecto á las velocidades lineales de los diferentes puntos de la tierra, son muy distintas, porque los más cercanos al eje recorren arcos, aunque de igual número de grados que los más lejanos, pero de menos longitud rectificadas; la relación de estos arcos es la misma que la de sus radios, y en esa misma relación están las velocidades lineales de los puntos que se consideren; por ejemplo, si un punto de la tierra dista del eje doble que otro, su velocidad lineal será doble ó triple que la del otro. Si consideramos un punto en el Ecuador, su distancia al eje es el radio  $R$  (en el Ecuador) de la tierra, de modo que en 24 horas recorre  $2\pi R$  de longitud (circunferencia rectificada) y en  $1''$  será  $\frac{2\pi R}{86400}$  (pues el denominador son los segundos de 24 horas), y si se pone  $R=6671233$  metros, resulta que la velocidad lineal de un punto en el Ecuador terrestre es de 465 metros por segundo. Si el punto considerado estuviese sobre un paralelo, que diste del eje  $R'=1000000$  metros recorre un arco en un segundo de los mismos grados que el punto del Ecuador; pero su velocidad lineal varía  $\frac{2\pi R'}{86400} = 73^m$  próximamente.

## LECCION 3.<sup>A</sup>

### Principios fundamentales de la Mecánica

L. 4.

1.º El llamado LEY DE INERCIA, á saber: *todo cuerpo en movimiento tiene tendencia al uniforme rectilíneo, y si está en reposo, á permanecer en él.*

La experiencia enseña que cualquier cuerpo que pongamos en movimiento, si se le deja libre, toma el rectilíneo uniforme; el esfuerzo necesario para que varíe este movimiento, sea de velocidad ó de dirección, es la prueba y medida de la inercia: si el cuerpo está en reposo, no sale de él sin un esfuerzo que no es igual en todos los casos; su magnitud depende de la *masa* y tiempo del *cambio de velocidad*. Así, una bola de billar, por complicadas que sean las curvas que en un movimiento de traslación le hagamos describir con la mano en cuanto se la suelta, se mueve en línea recta y uniformemente (supuesto que no hubiera rozamiento ni gravedad); también prueba la experiencia que hay que emplear mucho más esfuerzo para cambiar el estado de reposo ó de movimiento de una masa grande que de una pequeña, si tienen la misma velocidad, ó que una masa pequeña puede necesitar un esfuerzo muy grande, si su velocidad lo es también y el cambio que en ésta se quiere efectuar, ó sea, el tiempo es muy corto. Por eso una bala atraviesa el tablero de una puerta, sin moverse ésta; en el arranque de un carruaje, si se hace de prisa, suelen caer las caballerías, por la resistencia que opone á cambiar de pronto su velocidad; masas muy grandes se ponen en movimiento con esfuerzos pequeños pero constantes durante mucho tiempo.

El *segundo principio fundamental de la mecánica* es el llamado de la independencia de las fuerzas, que se formula del modo siguiente: *Si varias fuerzas, independientes unas de otras, actúan sobre un mismo sistema, producen efectos independientes.* Por eso un hombre que va en un vagón en marcha, puede andar y moverse sobre él en todos sentidos, y lleva al mismo tiempo varios movimientos. Esta coexistencia independiente de las fuerzas, y por tanto de sus efectos, los movimientos, es la que origina todos los curvilíneos.

El tercer principio es el llamado de la *acción y la reacción* que se enuncia.

3.º *Cuando dos puntos materiales actúan uno sobre otro, la reacción es igual y contraria á la acción.* Esto también se ve por experiencias, pues si ejercemos una presión ó tracción sobre un cuerpo, éste á su vez comprime ó tira del primero; sin esta coexistencia de fuerzas iguales y contrarias no habría reposo en los cuerpos, pues si, por ejemplo, al poner sobre el tablero de una mesa un objeto, ejerciendo una presión por su peso, la mesa no reaccionara ejerciendo un empuje en sentido contrario igual á su presión, el cuerpo se movería.

De estos principios se derivan otros muy importantes en el proceso científico de estos conocimientos, tales son los siguientes:—

Se llama *velocidad virtual* de un punto la trayectoria que el mismo describe, cuando el sistema á que pertenece toma una nueva posición, que difiere de la anterior en menos de cualquier cantidad dada por pequeña sea, y con sujeción á las condiciones del sistema.

Si se *proyecta* la trayectoria sobre las direcciones de las fuerzas aplicadas al punto, cada proyección es la «*velocidad virtual*» del punto relativamente á la fuerza sobre cuya dirección se proyecta.

*Momento virtual de una fuerza* es el producto de su intensidad por la *velocidad virtual del punto*.

El principio fundado en estos conceptos es que *cuando un sistema cualquiera de puntos está en equilibrio, y suponemos que sufre un desplazamiento infinitamente pequeño y conforme con las condiciones del sistema, la suma de todos los momentos virtuales de las fuerzas que actúan, es cero, contándolos con su signo correspondiente.* Es decir, unos con más y otros con menos, según las direcciones de los momentos tengan el mismo ó contrario sentido.

Este principio suele expresarse en la práctica cuando son *dos* las fuerzas que actúan sobre un sistema, y los movimientos que tratan de imprimirle opuestos, diciendo que los *momentos virtuales de estas fuerzas son iguales*; de esta fórmula nos valdremos para la investigación del equilibrio en las máquinas simples. —

*Principio del más pequeño esfuerzo.* Para el conocimiento del modo de actuar de las fuerzas naturales, conviene tener presente el siguiente principio, formulado por Gauss, á saber:

*El movimiento de un sistema invariable influido por acciones exteriores se verifica como si el movimiento fuese libre y por el menor esfuerzo posible.* Es decir, que en todo caso en que el movimiento libre no puede realizarse, la desviación respecto de él es lo menor posible, y por tanto, que todo movimiento ó reposo es lo más libre posible.

## LECCION 4.<sup>A</sup>

### Composición gráfica de las fuerzas

2.52

(Cualquiera que sea el número de fuerzas que se aplique á un sistema, no producen más que un movimiento, y se concibe que podría ser también producido por una fuerza única; de manera que el sistema de fuerzas primitivo puede ser *sustituído* por esa fuerza *única*, sin que *el efecto* se altere.) En esta equivalencia, entre todas las fuerzas de un sistema y una sola, (se da el nombre de *componentes* á las primeras, y de *resultante* á la sola que las equivale y puede sustituirlas.)

El problema de, dadas las *componentes*, hallar su resultante, se llama *Reducción ó composición de las fuerzas*, y al inverso (que suele ser indeterminado) *descomposición de las fuerzas*.

(Si dos ó más fuerzas aplicadas á un mismo sistema no cambian su estado de REPOSO ó *movimiento*, se dice que están en EQUILIBRIO.) El reposo ó inmovilidad de un cuerpo no significa, según esto, que sobre él no actúen fuerzas, sino que las que actúan se equilibran; así los objetos inmóviles sobre un soporte, están sometidos á fuerzas cuyas acciones se equilibran por la reacción del apoyo. Un resorte que bajo la acción de una fuerza se deforma hasta un cierto límite, mientras actúa ésta tiene en equilibrio á la de su elasticidad.

(Para resolver los problemas de la composición y descomposición de las fuerzas, hay que representarlas, y entre las varias maneras de hacerlo, está la que se llama *representación gráfica ó geométrica de las fuerzas*.)

(En efecto, las fuerzas pueden representarse por líneas rectas, porque su *dirección* se expresa por la única de la recta, su *sentido* por una flecha, su *intensidad* por la longitud, y el *punto de aplicación*, por uno cualquiera de los de la recta.)

Así, para representar que en un punto A actúa una fuerza, se representa ésta por la fig. 1.<sup>a</sup>, y (si actúan dos fuerzas *iguales de la misma dirección y contrarios sentidos*), se trazan dos rectas que formen una sola, ambas de la misma longitud y las flechas marcando sentidos distintos.

(1) vuelta

Un sistema de fuerzas como este último propuesto, (está en *equilibrio*, y si el punto de aplicación está en reposo, el equilibrio se llama *Estático*.)

La *resultante* de un tal sistema es *cero*.

Este es un caso particular de la composición de varias fuerzas que actúan sobre un punto en la misma dirección. Porque los generales son: 1.º, *cuando las fuerzas son de una misma dirección y actúan todas en el mismo sentido*, que es evidente que su *resultante* es una fuerza aplicada al mismo punto en igual dirección y sentido y de una intensidad igual á la suma de las intensidades de las componentes; así, por ejemplo, muchos hombres tirando de una barra rectilínea rígida unida á un cuerpo, ejercen sobre él una tracción cuya *resultante* es igual en intensidad á la suma de los esfuerzos de cada uno, y con el mismo sentido y dirección de las componentes; 2.º, *cuando los sentidos de las componentes son distintos*, en cuyo caso, la *resultante* tiene la misma dirección y punto de aplicación que las componentes, pero su intensidad es la *diferencia* entre las de las componentes; en cuanto á su *sentido*, lo marca el de la diferencia. Si esta diferencia es *cero*, se tiene el caso particular, ó equilibrio, anteriormente examinado.

El tercer caso de composición de fuerzas que actúan sobre un punto, es cuando sus direcciones forman *un ángulo*, por ejemplo (fig. 2.ª) en que el punto es *a* y las *dos* fuerzas *ac* y *ab*. Su *resultante* es igual en *magnitud* y *dirección* á la *diagonal del paralelogramo* construido sobre ellas. Es decir, en nuestro caso á la *ad*.

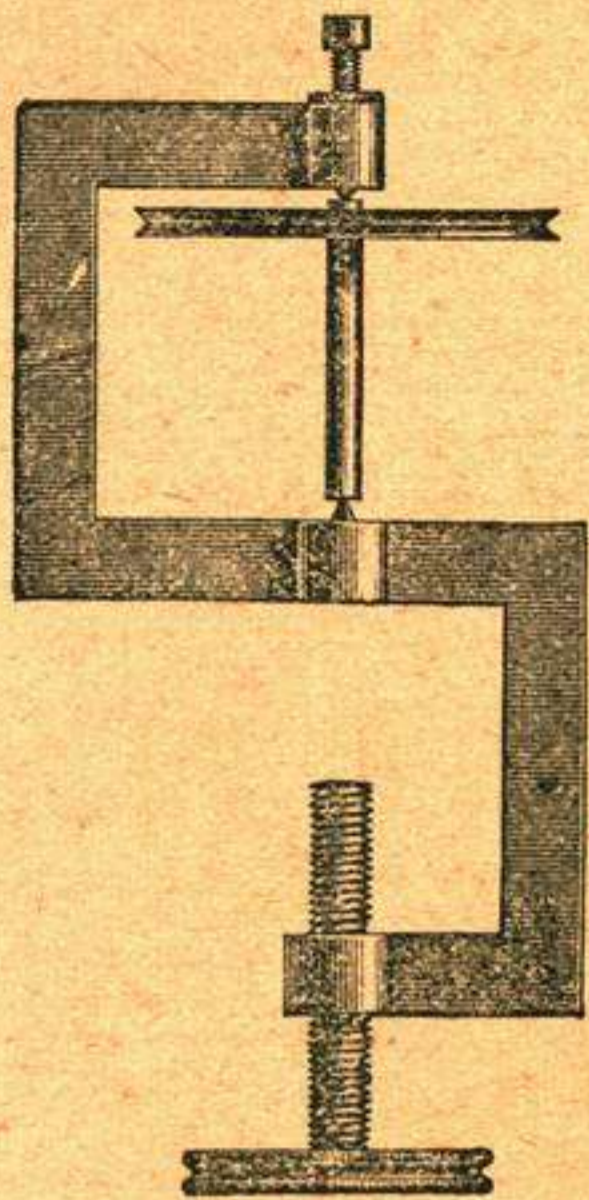
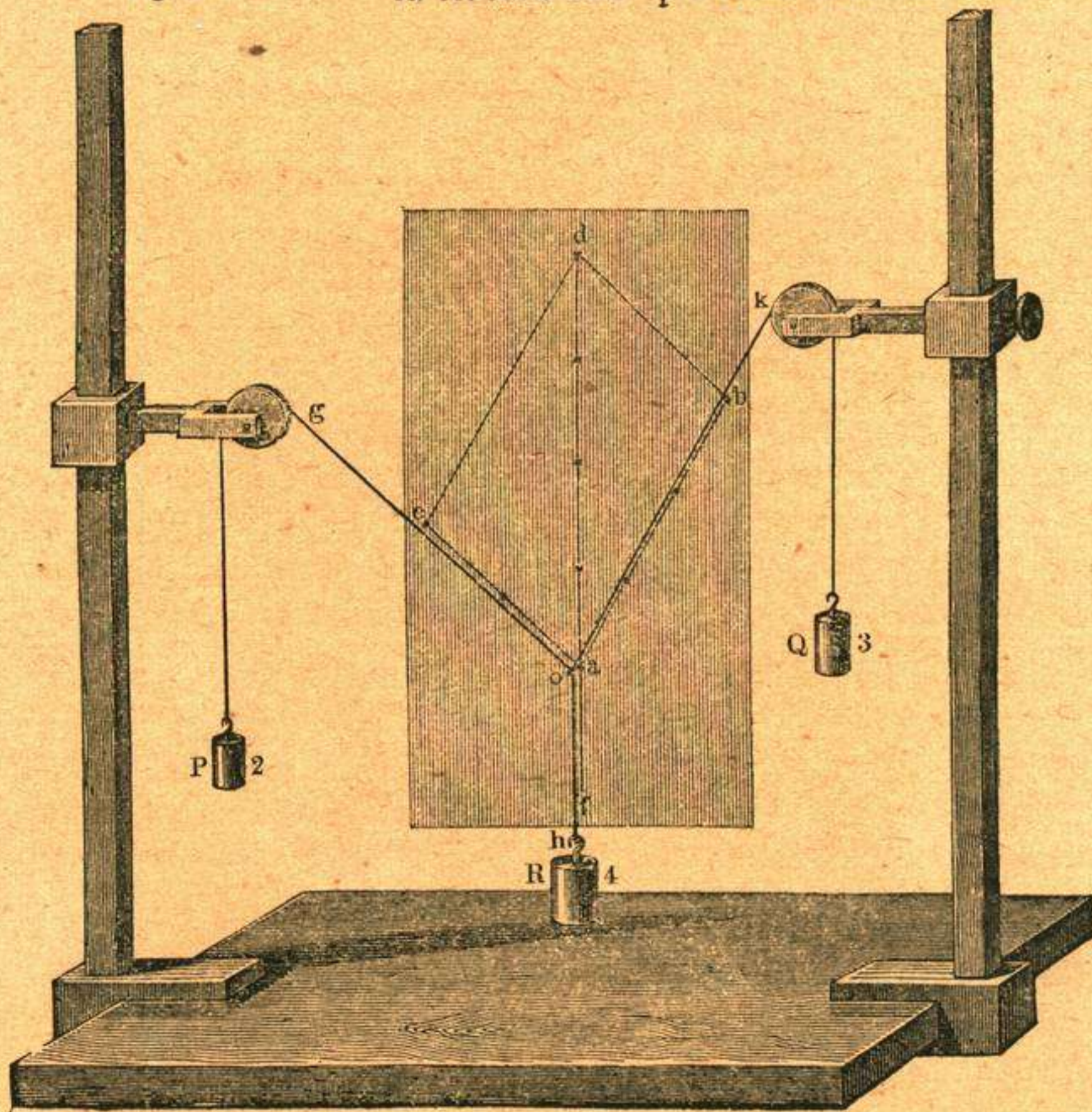
Este principio, que es fundamental en las cuestiones de composición de fuerzas, es, como se ve, análogo al de composición de movimientos. Su construcción gráfica es la misma, así como la del caso de estar aplicadas á un mismo punto más de dos fuerzas de distintas direcciones; porque si están en un plano, para hallar su *resultante*, se construye el *polígono de las fuerzas* lo mismo que el de los movimientos, y la *recta que reúne el punto de aplicación con el extremo del último lado* es la *resultante*. Si las fuerzas no están en el mismo plano, cada dos de ellas precisamente determinan uno sólo, y componiéndolas de dos en dos, ó sea cada *resultante* con una nueva competente, se tiene la *resultante final*.

La importancia de este teorema de composición de fuerzas, ha hecho que se ideen diversas demostraciones experimentales de él.

Los aparatos más sencillos para una demostración experimental de este importante principio de la Mecánica, se fundan en que siendo

la diagonal mencionada, la resultante de dos fuerzas angulares, si se introduce en un sistema de esta clase una tercera fuerza idéntica en intensidad á la diagonal, pero en sentido directamente opuesto, el sistema debe de quedar en equilibrio. Y en efecto, así sucede, y la experiencia se dispone del modo siguiente:

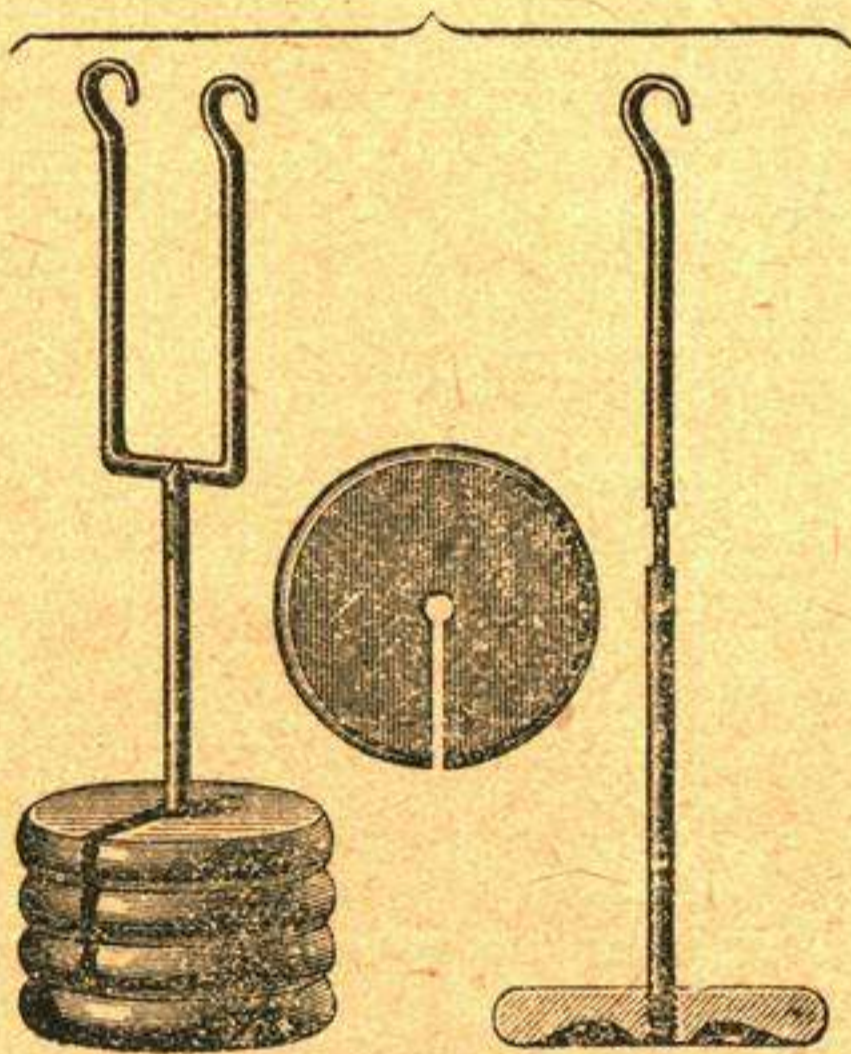
En un pie de madera, que lleva dos barras verticales, se sujetan á éstas con tornillos de presión (figs. 6.<sup>a</sup> y 7.<sup>a</sup>), dos poleas  $g$  y  $k$ , tales que queden algo separadas de ellos. Un cordón delgado de tres ramas,  $go$ ,  $oh$ ,  $ok$  pasa, dos de ellas  $og$  y  $ok$ , por las poleas, y deja colgando la tercera  $oh$ : las dos primeras representan las fuerzas angulares y la tercera una opuesta á la resultante. Des-

Fig. 6.<sup>a</sup>Fig. 7.<sup>a</sup>

pués de esto se cuelgan pesos (fig. 7.<sup>a</sup>), en los cordoncillos, hasta que todo quede en equilibrio, y una vez conseguido, se ve (si se pone sobre los cordones un paralelogramo dibujado y cortado en cartón, cuyos lados representen en unidades lineales los pesos laterales y la diagonal el del centro), que *ad*, ó sea la diagonal, es igual en intensidad á la resultante, y por el equilibrio que existe, directamente opuesta.

Es preciso que los cordones que pasan por las poleas formen el mismo ángulo con las barras verticales del marco, que los lados del paralelogramo, (así el ángulo de *ok* con la vertical es igual al ángulo *dab*, y el *og* con la vertical es igual al *cad* con la dirección de la diagonal) para que cuando el paralelogramo se coloque sobre los cordones por el ángulo *cab* igual á la suma de los dos, quede la diagonal en línea recta con la vertical, que sigue el cordón central *oh*.

Si los pesos P y Q y R se pueden adicionar en partes iguales, para lo cual se suelen usar de los ganchos y pesas que se representan en la fig. 8.<sup>a</sup>, en los que los ganchos pesan tanto como una roda-

Fig. 8.<sup>a</sup>

ja, se podrá con 10 pesas y 3 ganchos hacer muchas combinaciones de equilibrio entre las cuales están las puestas en el adjunto cuadro, en el que dos números representan los lados y el tercero la diagonal, ésta se indica (para distinguirla) con números romanos:

I,	1,	1		IV,	1,	4		III,	2,	3		VI,	3,	4
I,	2,	2		I,	5,	5		II,	3,	4		V,	3,	5
II,	1,	2		I,	6,	6		IV,	2,	3		IV,	4,	5
I,	3,	2		VI,	1,	6		IV,	2,	5		V,	4,	4
III,	1,	3		II,	2,	3		V,	2,	4		V,	3,	4

y otras muchas más.

**Fuerzas sobre un sistema rígido de puntos.**—Los cuerpos, cuando sus puntos están unidos de un modo invariable, respecto de las fuerzas que sobre ellos actúan, se llaman *sistemas rígidos* de puntos.



En tales sistemas las fuerzas pueden estar aplicadas en diversos puntos, y para componerlas, se prolongan sus direcciones, y si concurren en un punto, entonces se componen, como si estuvieran aplicadas en el de concurrencia, sea interior ó exterior al cuerpo.

Esto supone que *las fuerzas pueden trasladarse*, es decir, variar su punto de aplicación, *sin que varíe su efecto*, mas para ello hay que establecer varias condiciones: La primera es que el *nuevo punto de aplicación esté ligado al primero de un modo rígido*; la segunda es que el *nuevo punto esté en la prolongación de la recta que expresa la dirección de la fuerza*, y la tercera es que *se conserven los mismos la dirección, sentido é intensidad de la fuerza que se traslada*.

**Composición de fuerzas paralelas.**--Los casos de *composición de dos fuerzas paralelas* son:

1.º *Que actúen en el mismo sentido*: Su RESULTANTE *tiene la misma dirección que las componentes, es igual en intensidad á su suma y está aplicada en un punto tal de la recta* (que une los puntos de aplicación de éstas) *que la divide en partes inversamente proporcionales á las intensidades de las fuerzas dadas*.

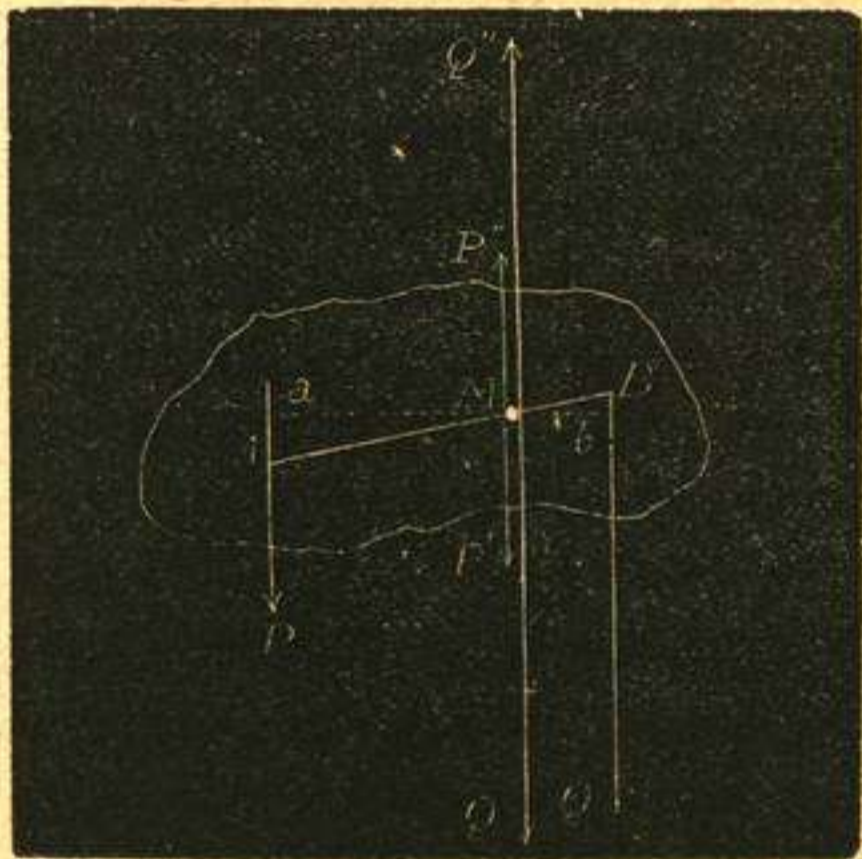


Fig. 9.<sup>a</sup>

Sea, por ejemplo (fig. 9.<sup>a</sup>), hallar la resultante de las dos fuerzas paralelas  $P=4$  kilogramos y  $Q=7$  kilogramos que obran en el mismo sentido en los puntos A y B de la recta rígida AB de un cuerpo: para ello se divide la AB en  $7+4$  partes iguales y á partir de B donde está aplicada la fuerza como 7, se toman 4 partes y se tiene el punto M de aplicación de la resultante: su dirección, sentido é intensidad son conocidos, luego trazando la

$MQ'$  paralela á las fuerzas é igual en longitud á su suma, y en el mismo sentido, se tiene la *Resultante*. Es evidente, dada la construcción, que  $P : Q :: MB : MA$ .

2.º Si el sentido de las dos fuerzas paralelas es opuesto y además fuesen desiguales en intensidad, su *resultante tiene la misma dirección, y el sentido de la mayor de las componentes; en intensidad es la diferencia de las de éstas y está aplicada en la recta rígida que une sus puntos de aplicación en uno tal que la divide en partes inversamente proporcionales á sus intensidades*.

Sean, por ejemplo (fig. 10), las dos fuerzas paralelas de distintos sentidos é intensidad, las AP y BQ respectivamente como 7 y 4 sus intensidades. Para hallar su resultante, consideremos á la mayor P descompuesta en dos laterales: una de ellas Q' igual y opuesta á Q aplicada al mismo punto B, y la otra R (por el caso anterior) de igual intensidad que la diferencia (P—Q) aplicada en un punto M de la recta AB, tal que se tenga  $MA:AB :: 4:7$ , ó sea  $:: Q:P$ . Ahora bien, como Q y Q' se destruyen en el sistema nuevo equivalente al propuesto, sólo queda actuando la MR, que es la *resultante*.

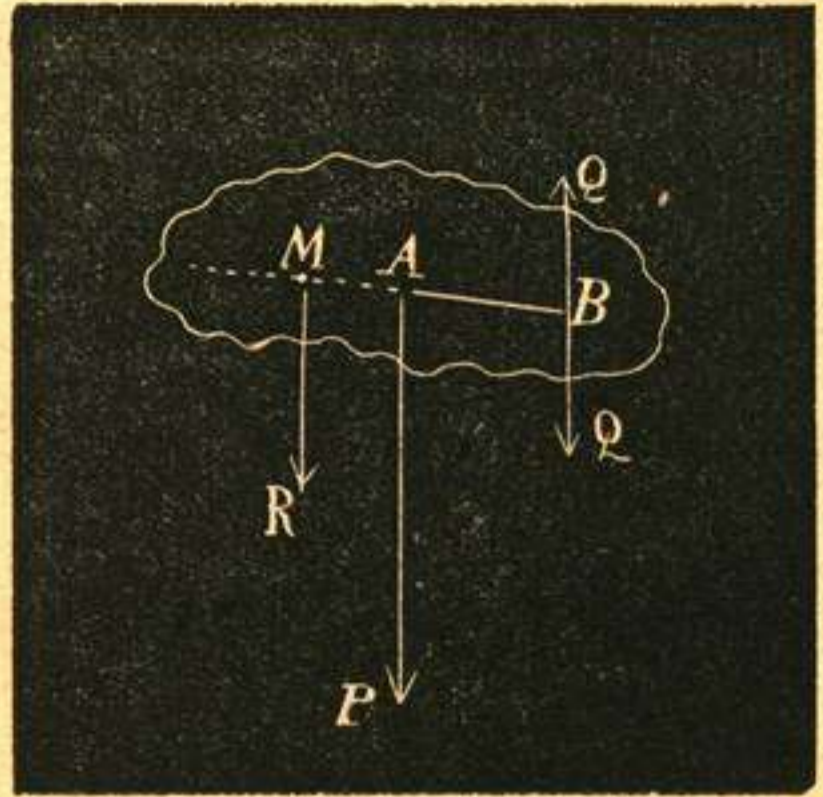


Fig. 10.

Si el sistema está constituido por más de dos fuerzas paralelas, se componen dos de ellas; después la resultante hallada se compone con una tercera y así sucesivamente.

**Casos particulares de las fuerzas paralelas.**--Uno es que éstas sean varias y obren todas en el mismo sentido. En este caso, si el sistema á que se aplican es rígido, el *punto de aplicación* de la resultante es siempre el mismo, *cualquiera que sea la posición del cuerpo*, con tal de que siempre se conserve el sentido de los componentes. A este punto invariable de aplicación de la resultante se le llama *Centro de las fuerzas paralelas* y, como más adelante veremos, es de gran importancia en los cuerpos, tratándose de su peso.

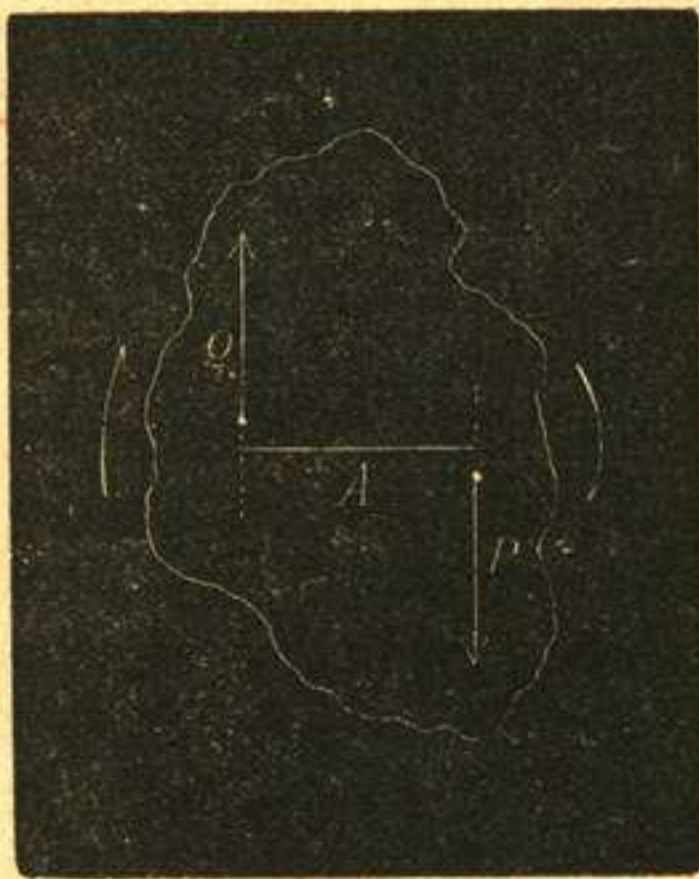


Fig. 11.

Así, por ejemplo, en un proyectil moviéndose, aunque gire muy variadamente alrededor de diversos ejes, no varía el centro de las fuerzas paralelas que, actuando sobre cada una de las partículas de su masa, tratan de hacerle caer por la vertical.

El tercer caso de la composición de dos fuerzas paralelas es cuando son iguales en intensidad, pero de sentidos opuestos y actúan en los extremos de una recta rígida; por ejemplo, las P y Q (figura 11). En este caso la resultante es *cero*, con respecto al movimiento de *traslación* de la recta A: el efecto

de estas fuerzas es el de producir una rotación de la recta que une sus puntos de aplicación alrededor de su punto medio A.

Este caso se conoce en Mecánica con el nombre de *Par* de fuerzas; la recta que une los puntos de aplicación se llama *Brazo del par*.

*Dirección de un par* es la del plano en que están las fuerzas y el brazo; *Sentido del par* es el de la rotación que origina en el brazo, y por último, se mide la *intensidad* de un *par* á cuya medida se llama *momento del par*, multiplicando una de las fuerzas por el *brazo*.

La corroboración experimental de la composición de las fuerzas que hemos enunciado, al hablar del paralelogramo de las fuerzas, puede también hacerse para los demás casos, fundándose siempre en el principio de que cuando un sistema de fuerzas y partes rígidas, cualquiera que sea su complicación, está en equilibrio estático, es porque una cualquiera de las fuerzas que en él actúan, es igual y opuesta á la resultante de todas las demás.

*Descomposición de una fuerza en varias; sus componentes.* Este problema así propuesto, es indeterminado, porque se concibe que un cuerpo puede estar en equilibrio con muchos sistemas de fuerzas; sin embargo, hay algunos casos en que se dan tales condiciones para las componentes, que el problema se hace determinado, como por ejemplo: *Dada la resultante y las direcciones de las dos componentes. O dada la resultante una componente y el ángulo que forma con la otra* etc. La descomposición sirve para simplificar las demostraciones, porque descubre en qué esfuerzos parciales se subdivide uno total.

## LECCION 5.<sup>a</sup>

### Fuerzas centrales

L. 7.<sup>a</sup>

Se llaman fuerzas centrales aquellas cuyas direcciones pasan por puntos fijos, que se llaman *centros de fuerza*.

Los espacios en que tales fuerzas se exteriorizan por algún efecto, se llaman *campos de fuerza*.

Las trayectorias que recorren los cuerpos por la acción de un campo, se llaman *líneas de fuerza*.

POTENCIAL de un campo de fuerza es el trabajo que realizan las fuerzas que lo crean, para mover un punto que cede á la acción de los centros.

Si de un modo cualquiera se han determinado los *Potenciales* de varios puntos de un campo (y para mejor inteligencia supongamos que los puntos sean dos) el sentido de las líneas de fuerza es hacia el punto que tiene *menor potencial*.

Aplicando estos conceptos á la explicación del modo de obrar de algunas fuerzas, la más principal de ellas es la llamada fuerza de la *gravedad*, á la cual están sujetos todos los cuerpos, sin que hasta ahora se haya podido *experimentar* que alguno se substraiga á su acción.

Manifiéstase comunmente esta fuerza, por su efecto de la caída de los cuerpos, siguiendo la *vertical*, que así se llama la dirección que prácticamente se marca por el hilo de la plomada.

Atribuyóse esta fuerza á lo que llamó Newton «atracción de las masas», y le dió el nombre de GRAVITACIÓN si consideraba sus efectos entre los astros, GRAVEDAD, si la consideraba ejercida por la Tierra, y ATRACCIÓN MOLECULAR, si entre las partículas elementales de los cuerpos.

Muchos Físicos no admiten la existencia de las acciones á distancia, ni por tanto, que sin lazo material alguno actúe un cuerpo sobre otro, y aunque en verdad no sea comprensible este modo de obrar, tampoco se ha dado hasta ahora una explicación satisfactoria de estas acciones (por cierto las más generales en la Naturaleza), en las que los efectos se producen y trasladan de unos cuerpos á otros, sin que se pueda descubrir lazo material y tangible que los una.

Dejando, pues, inexplicado por los medios mecánicos el modo de efectuarse las acciones á distancia, las propiedades que en general caracterizan á la atracción de las masas, cuando están á suficiente distancia, para que ésta se mida por la recta que une dos puntos cualesquiera de ellas, son las siguientes:

1.<sup>a</sup> *En dirección de la recta de unión se manifiesta una fuerza atractiva, que entre dos cuerpos determinados está en razón inversa del cuadrado de su distancia.*

2.<sup>a</sup> *La magnitud de esta fuerza es proporcional á las masas.*

3.<sup>a</sup> *Si los dos cuerpos están unidos por una recta rígida, el sistema, aunque sea libre, permanece en reposo.*

4.<sup>a</sup> *Puestos en movimiento los cuerpos, aceleran en cada instante su velocidad, en proporción inversa á las masas y directa á la fuerza que á cada distancia actúa.*

5.<sup>a</sup> *Puestos en un instante dado frente uno á otro los cuerpos, desde la nada, en aquel mismo instante nace la acción atractiva.*

6.<sup>a</sup> *La atracción entre dos masas es independiente de la presencia de otras; su acción pasa á través de todos los cuerpos, que por esto se pueden llamar diabaros.*

Las tres primeras condiciones son conocidas y estudiadas en la mecánica racional, se observan en los astros y se experimentan con las balanzas y péndulos.

La cuarta condición, ó sea la independendencia de la gravitación del estado de movimiento de los cuerpos pesados, aunque se han suscitado algunas dudas sobre ella, no se ha podido corroborar hasta ahora si éstas son exactas.

Respecto de la quinta condición, ó sea de la instantaneidad de la acción de esta fuerza, se han suscitado dudas no disipadas hasta hoy, y que han dado lugar á investigaciones, de las cuales dedujo Laplace, que si tardaba algúu tiempo en propagarse la acción atractiva entre los astros, su velocidad había de ser cien millones de veces mayor que la de la luz, para que no se pudiese notar, por las observaciones astronómicas.

Posteriormente, sometida la hipótesis de la no instantaneidad al cálculo, ha deducido J. Hepperger que si la gravitación se propaga como lo hacen todas las fuerzas, tardando algúu tiempo en llegar de un punto á otro, su velocidad ha de ser más de 500 veces la de la luz, límite bastante inferior al señalado por Laplace.

Por último, la condición sexta de la independendencia de la atracción entre dos cuerpos, de la presencia de un tercero, sujeto á las mismas leyes é interpuesto entre los primeros, la Mecánica enseña la acción que el tercero ejerce sobre ellos, pero no se puede determinar la acción que los dos primeros ejercen sobre el interpuesto.

Para aplicar á la gravedad los principios mecánicos de las fuerzas centrales, hay que considerar como centro único de acción el de la Tierra, y en él concentrada toda su masa. Todo el espacio en el que se manifiestan sus atracciones, le llama «Campo gravitatorio terrestre». *Sus líneas de fuerza son las verticales, y el potencial de un lugar de él puede apreciarse por el trabajo que se emplearía en volver á la unidad de masa, por la misma vertical y con la misma velocidad desde el punto á que llegó, hasta el de que partió; este trabajo se mide por la unidad llamada kilográmetro, y por este medio sería fácil hallar la diferencia de potenciales entre dos puntos del campo gravitatorio terrestre.*

Aun cuando todas las líneas de fuerza (verticales) del campo gravitatorio se reúnen en el centro de la tierra, sin embargo, cuando se consideran dos muy próximas, se estiman como paralelas, debido á que dos que disten entre sí 30 metros en la superficie del globo forman un ángulo de 1', cuyo vértice está en el centro de éste, por cuya razón *sensiblemente* son paralelas.

*L. 8.ª*  
 (Como el potencial decrece á medida que un punto del campo está más cerca del centro, de aquí que en los cuerpos libres para seguir la acción de la gravedad, se determine su movimiento hacia el centro de la tierra.)

En los cuerpos materiales, compuestos de muchos puntos, la acción de la gravedad se ejerce sobre cada una de sus partículas y con igual intensidad; infiérese la primer condición de que ningún punto material se substraerá á la acción de esta fuerza, y lo segundo se muestra experimentalmente, porque en el vacío, es decir, donde la caída es lo más libre posible, todos los cuerpos descienden con igual velocidad; para ello, en un tubo de cristal de unos dos metros de longitud, y cerrado por sus extremos, uno de ellos con una llave, se meten cuerpos de distinta masa, como plumas, corcho, plomo, y extrayendo el aire é invirtiendo el tubo en posición vertical, se ven caer en un mismo tiempo los diferentes cuerpos que están dentro.

(De este modo de actuar la gravedad, se ha deducido que respecto de tal fuerza, los cuerpos son sistemas rígidos sometidos á la acción de muchas fuerzas paralelas y del mismo sentido, y sabido es que en tales sistemas hay una resultante cuyo punto de aplicación es invariable; á este punto es al que se llama *Centro de gravedad* de los cuerpos.)

Su determinación en los diversos casos que pueden proponerse, es un problema de Geometría.

(Experimentalmente se puede investigar con aproximación, colgando el cuerpo dado de un hilo, y en dos posiciones distintas, marcando en cada una de ellas y sobre el cuerpo cuando se tiene en reposo, la dirección del hilo de suspensión; el punto en que se corten ambas direcciones, señala el centro de gravedad.)

Así como si no varía la forma de un sistema, su centro de gravedad tampoco cambia de lugar, por el contrario, cuando se altera la forma de un cuerpo ó sistema rígido, puede llevarse el centro de gravedad á un lugar determinado; en esta variabilidad de la posición del centro de gravedad con la forma del sistema, se fundan experiencias muy curiosas de equilibrio.

(**Peso de los cuerpos.**—Si los cuerpos sometidos solamente á la acción de la gravedad no caen, es porque están sostenidos por otros que impiden su caída: el esfuerzo que hace un cuerpo que sostiene á otro, y que se exterioriza por una presión del cuerpo sostenido y una reacción del que le sostiene, es al que se llama *peso de los cuerpos.*)

Este concepto teórico, considerando á los cuerpos como libres, ó sea sometidos solamente á la acción de la gravedad, no es lo que en la práctica ocurre. Ateniéndonos á las causas conocidas, (modifican el peso de los cuerpos muchas circunstancias.

En primer lugar y la más principal es que los cuerpos que están en la tierra y su atmósfera, giran con la primera, por lo que tienen una velocidad tangencial ó fuerza centrífuga, que crece desde los polos al Ecuador; esta fuerza, que trata de alejar los cuerpos del eje de giro, es opuesta á la de la gravedad, si bien como la de ésta es mayor, la resultante de ambas tiene el sentido de la gravedad; y su magnitud es la que se manifiesta, por lo que se llama *Pesantez* de los cuerpos, y esta es la acción que se comparará con las pesadas.)

Modifica también la acción de la gravedad, el aplanamiento de la tierra por los polos, y su ensanchamiento por el Ecuador, porque es evidente que no todos los cuerpos están en su superficie á igual distancia del centro; también modifican la acción de la gravedad, la inmersión de los cuerpos en los medios fluidos, en los cuales sufre un empuje en sentido contrario al de la fuerza central, y la cercanía de grandes masas, por su atracción en sentidos distintos.

(En contraposición á lo que se llama peso absoluto de los cuerpos, se dice «Peso específico» al cociente de dividir el peso absoluto del cuerpo, por el absoluto de un volumen igual de agua destilada á 4° C.) Según esto, sea  $G$  el peso de un cuerpo,  $v$  su volumen,  $g$  el peso absoluto de la unidad de volumen de agua y se tendrá, llamando

$E$  al peso específico, que 
$$E = \frac{G}{v \cdot g} = \frac{1}{v} \cdot \frac{G}{g} \dots (1).$$

(Por otra parte, se llama densidad de un cuerpo al cociente de dividir su masa por la masa de un volumen igual de agua destilada á 4° C.) Si, pues, se llama  $M$  la masa de un cuerpo de volumen  $v$ ,  $m$  á la de un volumen igual de agua cuyo peso es  $g$ , tendrá por definición,

llamando  $D$  á la densidad, que 
$$D = \frac{M}{v \cdot m},$$
 pero como la relación de

las masas es igual á la de sus pesos, relativos, se tiene que 
$$\frac{M}{m} = \frac{G}{g}$$

de donde resulta  $D = \frac{1}{v} \cdot \frac{G}{g}$ ; por esto se dice que la densidad de un cuerpo y su peso específico están expresados por un mismo número. (De aquí el tomar al peso específico por la densidad de un cuerpo, aunque los conceptos son distintos, pero que tienen la misma expresión numérica.)

## LECCION 6.<sup>A</sup>

### Investigación experimental de algunos efectos importantes de la pesantez de los cuerpos

L. 9<sup>a</sup>

Las experiencias de caída de los cuerpos no pueden hacerse dándoles la condición de libres, pues en cuanto se puede experimentar, han de estar sometidos los cuerpos que caen á la acción resistente de los medios que atraviesan en su caída; pero tratándose de cortas distancias y de cuerpos de mucha masa y poco volumen, puede prescindirse de esta condición; pero entonces surge la dificultad de que por la gran velocidad que adquieren estos cuerpos en su caída vertical, imposibilitan las evaluaciones exactas de los espacios recorridos en unidades de tiempo dadas.

1.º **Caída libre.**—Las experiencias, pues, de investigación y corroboración de las leyes de la caída de los cuerpos, preciso es hacerlas por medio de aparatos, en los que, disminuídas y conocidas las causas de error, ó sea de las que hacen que la caída no sea completamente libre, ofrezcan al mismo tiempo condiciones adecuadas á nuestros medios de percepción por los sentidos, para que podamos medir los espacios recorridos y los tiempos, así como cambiar á voluntad en un momento dado la clase del movimiento del cuerpo que cae.

Todas estas condiciones las reúne en su más alto grado la llamada máquina de «Atwood». Esta consiste esencialmente (fig. 12) en una polea que puede girar fácilmente alrededor de un eje horizontal, cuyo rozamiento se ha procurado disminuir en todo lo posible, para lo cual, en las máquinas más esmeradamente construídas, se apoya dicho eje, por sus extremos, sobre los puntos de cruce de las



circunferencias de otras cuatro ruedas, dos á cada lado. Esta polea se monta sobre un árbol vertical de madera, de unos dos metros de altura.

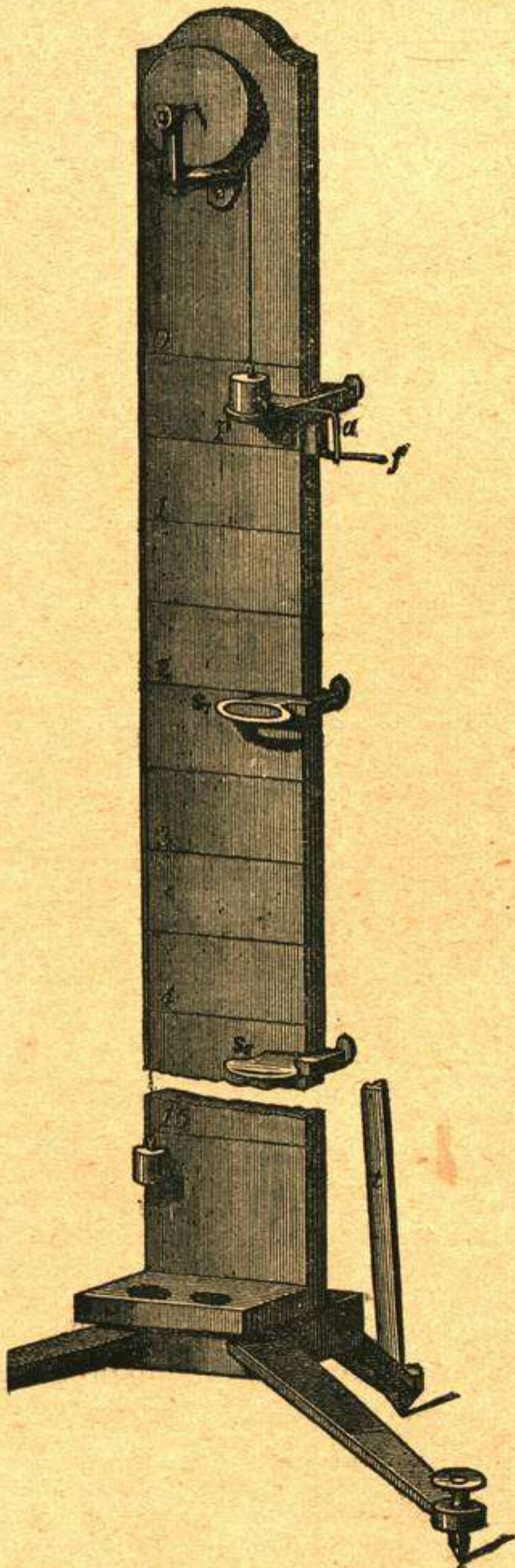


Fig. 12.

cayendo del lado en que están los pesos  $p+r$  y ascendiendo el  $p$ . Esta disposición hace que la velocidad de caída del peso  $p+r$  sea mucho menor que si fuese libre, porque la fuerza motriz, que es la

Por su garganta pasa un cordón, en cuyos dos extremos se cuelgan dos pesitas de metal  $p$  (figuras 13 y 14) todo lo iguales posible: es claro que, según la ley de equi-



Fig. 13.

librio de las poleas fijas, y prescindiendo del exceso de peso de una de las ramas del cordón, cuando

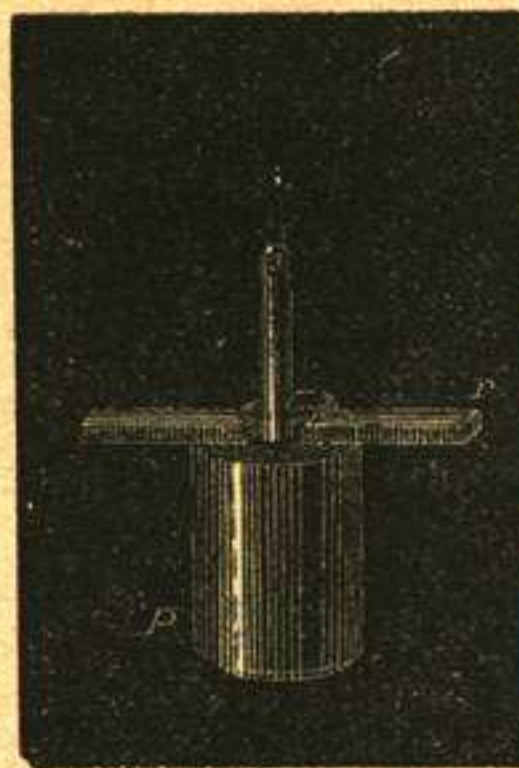


Fig. 14.

esté más baja la pesa de un lado que la del otro, (pues siendo el cordón muy ligero, no basta tal exceso para vencer los rozamientos é inercia de las masas que se

han de mover) el sistema estará en equilibrio cualquiera que sea la posición respectiva en que estén las pesas  $p$ . Pero si sobre una de éstas se pone otra adicional  $r$  (figs. 13 y 14), suficiente para perturbar el equilibrio, el sistema se moverá

gravidad del exceso  $r$ , no sólo ha de mover la masa de esta pesa  $r$ , si que también las de  $p + p$ . Así, por ejemplo, si las pesas  $p$  y  $p$  fuesen cada una de 7 gramos, y  $r$  de 1 gramo (y prescindiendo de la masa de la polea y del cordón), se tendría que el peso de 1 gramo habría de mover una masa de 15 gramos ( $p + p + r$ ). El movimiento que origina en el sistema sigue las leyes de la caída libre de una masa de 1 gramo de peso, con la sola diferencia de que la intensidad de la fuerza aceleratriz es ahora 15 veces menor, porque pone en movimiento una masa 15 veces mayor. Es decir, que si la masa de 1 gramo recorrería en su caída libre un espacio de 15 decímetros en un segundo, ahora recorrerá en el mismo tiempo un espacio 15 veces menor, ó sea 1 decímetro.

Ya se concibe como con tal disposición se ha conseguido que la aceleración de la caída de una masa sea tan despacio como se quiera, pues basta que el exceso de peso  $r$  esté, con respecto á la suma ( $p + p + r$ ), en la relación que se desee.

Para evaluar cómoda y exactamente los espacios recorridos lleva el aparato una escala vertical, cuyo cero está en el punto más alto. A lo largo de esta escala pueden correr dos pasadores que sostienen el uno un platillo macizo  $S_2$  y el otro uno anular  $S_1$  (fig. 12), y cuyos pasadores se fijan en la regla á voluntaria altura por tornillos de presión.

Las pesas  $p$  son cilíndricas y con un gancho para suspenderlas, y todo lo iguales posible. Las adicionales  $r$  tienen dos formas: una es (fig. 13) cilíndrica con una ranura, de modo que introducida por ésta, el vástago del gancho de una de las pesitas  $p$  queda la adicional perfectamente sentada sobre ella, y como son de igual diámetro en su sección, su efecto en cuanto á la forma es prolongar un poco la altura de la pesa á que se añade. La otra forma (fig. 14) es la de una barra prismática prolongada, algo más que el diámetro de la sección recta de la  $p$ , con lo cual, y colocada sobre ella de modo que por la ranura que lleva en medio pase el vástago del gancho de ésta, sobresale por los lados. Ya es claro el uso de los platillos que á voluntad se fijan en la regla graduada; porque, en efecto, el macizo, que es el que se coloca más bajo, sirve para detener el movimiento de la pesa que cae, y el ruido del choque de ésta con él, marca cuándo llegó hasta aquella división de la regla en que está asegurado: en cuanto al anular, que se coloca encima de éste y también á distancia arbitraria de él, tiene el diámetro de su anillo de tal magnitud, que puede pasar á su través la pesa  $p$  y su peso adicional  $r$  cuando tiene la forma

cilíndrica; pero cuando este adicional  $r$  es de la forma prolongada, pasa la pesa, pero el adicional queda detenido por el anillo, y como el cordón que sostiene la pesa puede correr por la ranura de la adicional detenida, es claro que la pesa  $p$  puede seguir moviéndose pero no ya por la acción aceleratriz del peso  $r$  que se quedó detenido, sino que sigue por inercia desde el instante en que esto tuvo lugar. Acompañan á las partes descritas un péndulo de segundos, el cual, además, en el momento de empezar á moverse, deja girar la ménsula que sostiene la pesa  $p$ , que está á la altura cero de la escala.

Descritas las principales partes del aparato, lo suficiente para su comprensión, el orden de experiencias que pueden verificarse con él, son las siguientes:

Primero, *mostrar que los espacios recorridos en la caída libre vertical son proporcionales á los cuadrados de los tiempos que dure el movimiento.*

Para esto (y colocado bien vertical el árbol por medio de los tornillos calantes y niveles de su peana), sujeta á la ménsula en el cero, calocada la pesa  $p$  con su pesa adicional  $r$ , sobre ella sostenido el péndulo en el máximo de su desviación, por medio de un hilo que se quema para que caiga, conocido también por la relación del peso adicional con la masa  $p + p + r$  que ha de mover, el espacio que recorre en un segundo la pesa  $p$  con su peso  $r$ , se quema el hilo, cae el péndulo, gira la ménsula y empieza el movimiento. Supongamos que el peso adicional  $r$  hace que en un segundo recorra en su caída la pesa  $p$  un decímetro. Si se hacen cuatro experiencias poniendo en cada una de ellas el platillo macizo á la distancia de 4, 9, 16 y 25 decímetros desde el cero de la escala, se ve que llega la pesa á estos lugares á los 2, 3, 4 y 5 segundos de estarse moviendo; se tiene, pues, la siguiente serie de números:

1, 2, 3, 4, 5 tiempos

1, 4, 9, 16, 25 espacios recorridos,

y como los números de la segunda línea son los respectivos cuadrados de los de la primera, la experiencia se conforma con la ley. Esta demostración corrobora la deducción teórica cuya fórmula

$$\text{es } \frac{e}{e'} = \frac{t^2}{t'^2} .$$

2.º *Orden de experiencias. Mostrar que las velocidades alcanzadas son proporcionales á los tiempos que dura la caída.*

Para este orden de experimentos se pone como pesita motriz la  $r$  de forma alargada. Sigamos en la hipótesis de que esta pesa hace recorrer á las masas que mueve 1 decímetro en el primer segundo;

si se pone el platillo anular á 1 decímetro del cero de la regla y colocadas las pesas  $p + r$  sobre la ménsula, se suelta el péndulo, las dos pesas  $p + r$  recorren en el primer segundo 1 decímetro; en el instante en que van á entrar las pesas en el segundo segundo de su movimiento, pasan por el platillo anular, queda atravesada la pesita adicional, cesa por tanto la fuerza aceleratriz, y empieza el movimiento uniforme de la pesa  $p$ , la cual recorre con éste, en un segundo, 2 decímetros; como se nota poniendo el platillo macizo dos decímetros más bajo que el anular, y oyendo el ruido del choque de la pesa  $p$  con él, cuando acaba el segundo segundo. Si la experiencia se hubiera hecho poniendo el platillo anular de modo que el peso adicional  $r$  quedase detenido al cabo del segundo, del tercero, del cuarto, etc., segundo, se tendría la siguiente serie de resultados:

Tiempos . . . . . 1'' . . . . . 2'' . . . . . 3'' . . . . . 4'' . . . . .  $n''$

Velocidades finales ó  
alcanzadas al cabo

de estos tiempos . . 2<sup>decímetros</sup> 4 . . . . . 6 . . . . . 8 . . . . .  $2n$

y como es evidente que  $1 : 2 = 2 : 4 = 3 : 6 = \dots = n : 2n$ , queda comprobado que *la relación de las velocidades finales es igual á la de los tiempos en que se alcanzaron*. Esta experiencia corrobora la deducción

teórica cuya fórmula es  $\frac{v}{v'} = \frac{t}{t'}$ .

Con estas dos relaciones numéricas comprobadas, basta para las demás que teóricamente se deducen en la Mecánica.

Aun cuando en esta máquina se ha procurado disminuir los rozamientos con tanto esmero como se deja indicado, sin embargo no se pueden evitar en absoluto; por lo que para compensar el retraso que en el movimiento puede producir, se suele poner sobre la pesa  $p$  una pesita suplementaria muy pequeña, la cual está calculada y comprobada por los constructores de estos aparatos, de modo que en cada uno, su fuerza aceleratriz sea lo más próximamente posible, igual á la retardatriz de los rozamientos inevitables.

2.º **Condiciones para el equilibrio de los cuerpos apoyados ó suspendidos.**—En los cuerpos apoyados sobre un *plano horizontal* se llama *polígono de substentación* el que se forma uniendo los puntos extremos de apoyo. Cuando este polígono sea *convexo*, el cuerpo estará en equilibrio si la *vertical* que pasa por el centro de gravedad cae dentro de su perímetro.

Así un hombre de pie está en equilibrio cuando la vertical de su centro de gravedad cae dentro del polígono *convexo* que se forma

L. 10.

trazando rectas por las puntas y talones de sus pies, y partes laterales de éstos. Y si se inclina suficientemente hacia un lado, le precisa hacer ciertos movimientos con las piernas ó los brazos, ya para ensanchar la base de sustentación, ya para que el centro de gravedad no salga de las verticales que caen en el polígono de apoyo.

En general, un cuerpo suspendido ó apoyado está en equilibrio si la vertical que pasa por su centro de gravedad está sostenida por un soporte que impide que el cuerpo caiga.

Pero este equilibrio puede ser *estable*, *indiferente* ó *inestable*, según que después de un ligero movimiento vuelva, se quede indiferente, ó salga el cuerpo de la primera posición de equilibrio para tomar otra nueva. La posición de un cono de madera, apoyado en una mesa, da un buen ejemplo de estos equilibrios: si se apoya por su *base*, aunque se separe un poco de su posición, al abandonarla vuelva á tomar la misma: el equilibrio es estable; si está apoyado por una generatriz, al separarlo un poco, se queda en la posición que se le da; ahora el equilibrio es indiferente, y si se ha logrado ponerlo en equilibrio sobre su vértice, en cuanto se desvía un poco, cae y toma otra posición sobre la mesa; en este caso es inestable.

En los cuerpos que sólo pueden girar alrededor de un eje horizontal como las ruedas en general, si su centro de gravedad está en el eje y sólo se considera la acción de estas fuerzas, su equilibrio es estable: si está fuera del eje, su equilibrio tendrá lugar cuando el centro de gravedad esté en el punto más alto ó más bajo de la circunferencia que describe, siendo inestable en el primer caso y estable en el segundo: en otra posición cualquiera tenderá á hacer girar al cuerpo, para ir lo más bajo posible: si, pues, la acción de la pesantez no ha de tener influencia sobre la rotación de los cuerpos alrededor de un eje horizontal, preciso es que el centro de gravedad de la rueda esté en el eje.

Esto se aplica, por ejemplo, á las manecillas de los relojes si son grandes, colocándoles detrás un *apéndice* á fin de que su centro de gravedad venga sobre el eje; también al torneear grandes piezas de hierro se le añaden pesos que lleven el centro de gravedad al eje de giro: los relojes llamados mágicos que sólo constan de la esfera y las manecillas, se mueven mediante á que el horario tiene un apéndice que es un anillo de hierro, dentro del cual, un mecanismo de reloj alojado en la aguja, mueve una bolita que hace cambiar el centro de gravedad de la aguja, y causa un movimiento que siendo uniforme y en 12 horas una vuelta completa, puede servir para marcar las horas.

En cuanto á la *presión sobre los puntos de apoyo*, si el plano es horizontal, sobre cada uno de aquellos se ejerce una presión, que es determinable por la posición de su centro de gravedad cuando los puntos de apoyo no exceden de tres.

En efecto; si son dos, en el equilibrio la vertical del centro de gravedad pasa por la recta que une los puntos de apoyo, y la relación entre los segmentos que determina sobre esta recta es inversa de las presiones: si, pues, el peso del cuerpo se divide en dos partes proporcionales á esas rectas, se tienen las presiones.

Si el cuerpo se apoya en tres puntos, la descomposición del peso del cuerpo en tres partes proporcionarles á las fuerzas componentes verticales aplicadas á los vértices del triángulo que forman los puntos de apoyo, resuelven la cuestión.

Si los puntos son más de tres, el solo conocimiento de la posición del centro de gravedad no basta para resolver la cuestión.

## LECCION 7.<sup>A</sup>

### Movimiento pendular

Se llama *péndulo simple* á un punto material pesado, pendiente de un hilo inextensible y sin peso, sujeto á un punto fijo alrededor del cual puede girar. Fácilmente se concibe que este sistema es irrealizable en la práctica, y se ha imaginado para el estudio teórico del movimiento de los llamados péndulos materiales, que son cuerpos sólidos, colgados por un punto más alto que su centro de gravedad, por una varilla ó hilo delgado sujeto á un punto fijo á cuyo alrededor puede moverse.

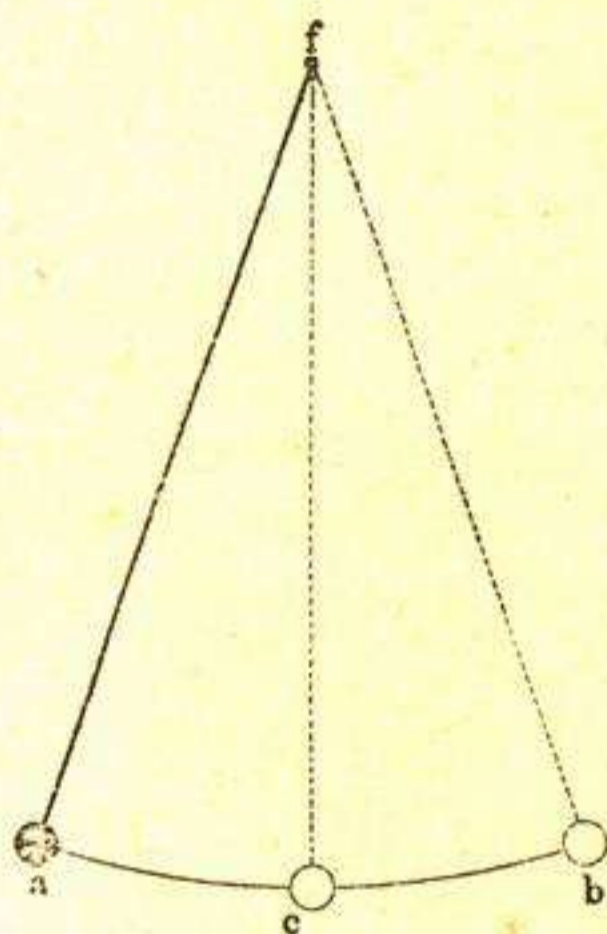


Fig. 15.

**Movimiento del péndulo.**—Sea (fig. 15) *fc* la posición vertical ó de equilibrio del péndulo: si se le saca de ella, teniendo tirante el hilo, se lleva á *fb*, y se le abandona,

la acción de la gravedad tiende á que descienda por la vertical; pero compuesta con la inextensibilidad del hilo y fijeza del punto de suspensión, da por resultante una fuerza que hace descender al punto

material  $b$  hacia su posición de equilibrio. Lo mismo ocurre en todos los lugares del trayecto desde  $b$  á  $c$ , por lo que durante él toma el péndulo un movimiento acelerado; al llegar á  $c$  no queda en equilibrio, por la velocidad adquirida, y rebasa esta posición, alejándose de ella, pero entonces la gravedad actúa retardando su movimiento en todo el trayecto que recorre y termina cuando se agota toda su fuerza viva, que justamente es á una distancia  $fa$  igual á aquella de que descendió. En tal instante queda en reposo, y vuelve á descender como anteriormente. En suma descende con movimiento acelerado, y sube retardándole: su máximo de velocidad lo tiene cuando pasa por su posición de equilibrio, y en las extremas su velocidad es cero. Estos hechos (si no hubiera otras fuerzas que se llaman obstáculos, que contrariasen la acción de la gravedad) se repiten indefinidamente y el movimiento de vaivén del cuerpo, con la clase de movimiento descrito, á un lado y otro de su posición de equilibrio, es lo que se llama movimiento **PENDULAR**.

**Angulo de caída.**—El ángulo  $afc$  que el hilo del péndulo en la posición más lejana de su equilibrio forma con la dirección de éste en la vertical, se llama *ángulo de caída del péndulo ó amplitud de la oscilación*.

**Terminología: oscilación completa y medias ascendentes ó descendentes.**—El movimiento desde  $a$  hasta  $b$  y desde  $b$  hasta  $a$ , se llama *una oscilación ó vibración completa*.

El movimiento desde  $a$  hasta  $c$  se dice que es la *oscilación descendente*, y desde  $c$  hasta  $b$  la *oscilación ascendente*. El tiempo invertido en una *oscilación completa* es la *duración de la oscilación*.

**Leyes del péndulo simple.**—Las leyes del péndulo simple son las siguientes:

1.<sup>a</sup> La duración de las oscilaciones son independientes del peso y materia del péndulo.

Para demostrarlo por la experiencia se usa del péndulo que representa la fig. 16, que consiste en una esfera de plomo  $a$  colgada, de

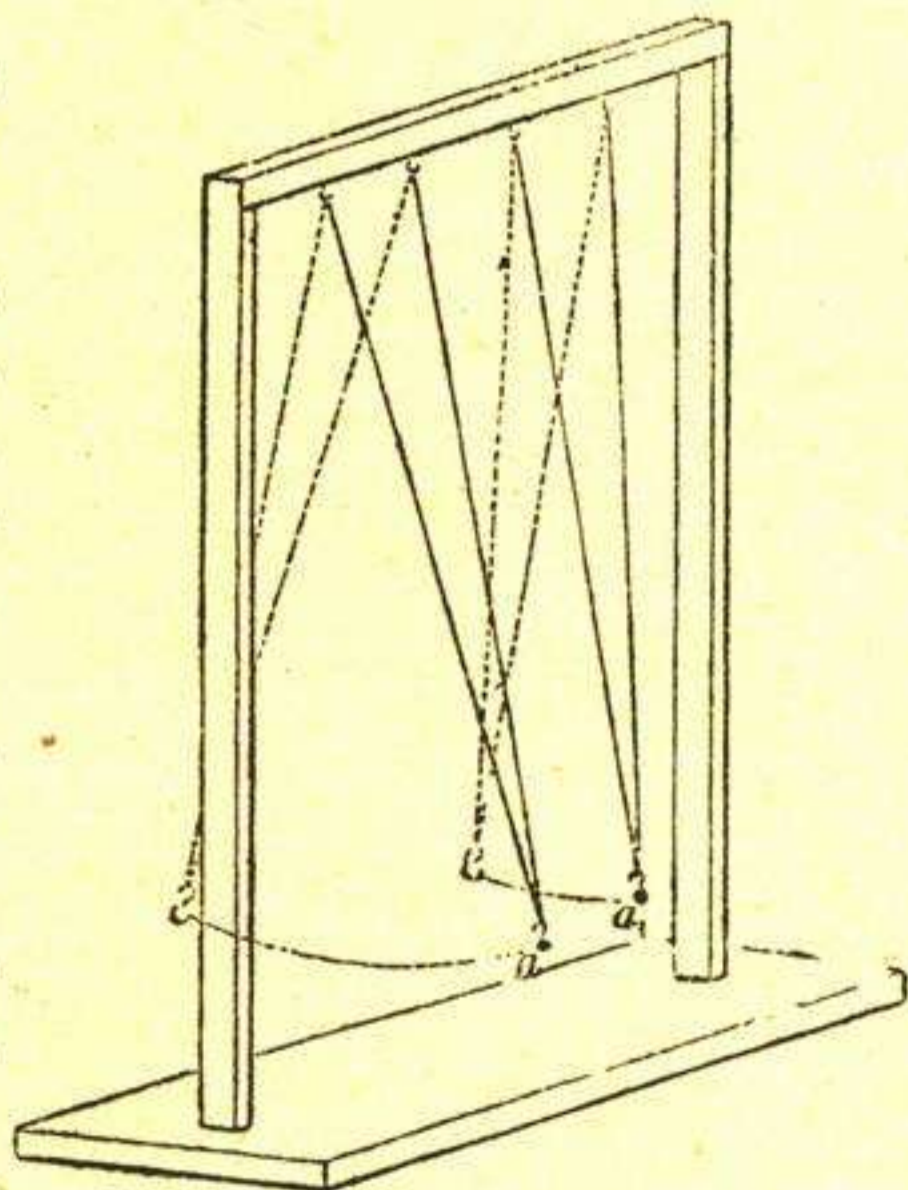


Fig. 16.

dos hilos de igual longitud que no están sujetos á un mismo punto en su parte superior. Si en el aparato se ponen dos péndulos de esta clase de igual longitud los hilos, pero cuyas esferas la una es de plomo y la otro de yeso, y se separan el mismo ángulo de la posición de equilibrio y se sueltan á la vez, se ve que tardan el mismo tiempo en hacer sus oscilaciones. La razón de esto es que si bien la gravedad obra con más energía sobre la esfera de plomo que sobre la de yeso, por tener más masa, también el esfuerzo empleado para moverla ha de ser mayor que en la segunda.

2.<sup>a</sup> La duración de las oscilaciones pequeñas de un mismo péndulo, son independientes de la amplitud de éstas.

La demostración se hace con el mismo aparato, sustituyendo la esfera *a* de yeso por otra de plomo idéntica á *a*, y sacando las dos de su posición de equilibrio arcos diferentes (no muy grandes), y soltándolos simultáneamente, se ve que cumplen sus oscilaciones en un mismo tiempo. La razón es que si bien una de las esferas, por ejemplo la *a*, ha de recorrer un espacio mayor, también la velocidad que le imprime la gravedad es mayor.

En realidad, siempre hay alguna diferencia de tiempo, pero inapreciable en las pequeñas oscilaciones. Así que un péndulo cuya oscilación completa sea de 5°, hace 1000 de éstas en el mismo tiempo que el mismo péndulo gastaría en hacer  $998 \frac{1}{2}$  pero de doble magnitud ó sea recorriendo un arco de 10°.

Y si el arco fuese de 20 haría el mismo péndulo en el mismo tiempo 993 oscilaciones. Se ve, pues, que la diferencia en el número de oscilaciones es de  $1 \frac{1}{2}$  para una amplitud doble y de 7 para una cuádruple.

La ley se verifica para arcos de 1° á 4°.

3.<sup>a</sup> La duración de las oscilaciones de dos péndulos diferentes, es proporcional á la raíz cuadrada de sus longitudes.

Para demostrarlo se dispone el aparato del modo siguiente (figura 17): Se cuelgan dos péndulos *a* y *a*<sub>1</sub> de hilos tales, que la altura vertical de la esfera al marco superior (longitud del péndulo) medida con una misma unidad, esté expresada por números que sean cuadrados perfectos; sea, por ejemplo, 1 el que representa la longitud de *a*<sub>1</sub> y 4 el que representa la de *a*; si se sacan de su posición de equilibrio hacia el mismo lado y de modo que ambos con sus hilos estén en un plano y se sueltan simultáneamente, se verá que *a*<sub>1</sub> llega á *b*<sub>1</sub>,



mientras que  $a$  sólo llega hasta  $c$ , y por tanto, cuando este último llega á  $b$ , el  $a_1$  ha vuelto desde  $b_1$  á  $a_1$ . Es decir, que el péndulo  $a_1$  cumple dos oscilaciones, mientras el  $a$  sólo hace una; de modo que si se toma como unidad de tiempo el que  $a_1$  tarda en cumplir una oscilación, es claro que  $a$  tarda 2 de estos tiempos, y por tanto, que la duración de la oscilación de  $a_1$  es á duración de la oscilación de  $a$  como 1 es á 2. Pero 1 y 2 son las raíces cuadradas de las longitudes de los péndulos; queda, pues, verificada la ley.

La ley puede verificarse con péndulos de mayor longitud, como 4 y 9 ó 9 y 16, etc., hasta donde consienta la altura del aparato.

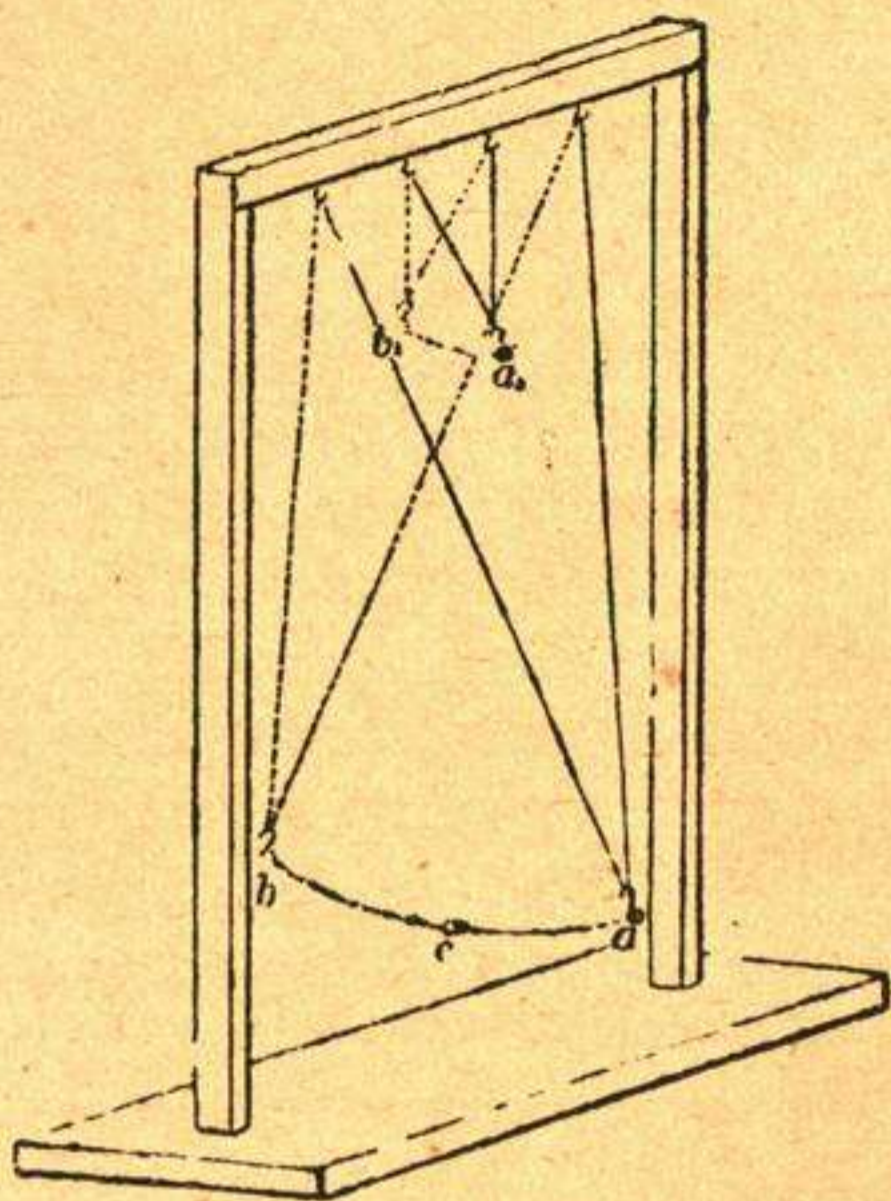


Fig. 17.

**Movimiento en un péndulo material.**—Un *péndulo material* puede considerarse como la reunión de muchos péndulos simples, tantos como puntos materiales tiene; estos diversos péndulos tienen cada uno su longitud: los más largos oscilan más despacio y los más cortos más deprisa; están, por tanto, animados de distintas velocidades, pero como todos ellos forman un cuerpo rígido é invariablemente unido, los cortos apresuran el movimiento del sistema y los largos lo retardan; y de esta acción simultánea resulta una cierta velocidad para el péndulo total ó una duración *determinada* para sus oscilaciones.

**Péndulo reducido.**—Si ahora consideramos un péndulo simple cuya longitud sea tal que oscile en el mismo tiempo que este compuesto, se dice que el péndulo compuesto está *reducido* á uno simple, y la *longitud* de este último es la que se llama *longitud del compuesto*.

Si en un péndulo material en reposo consideramos un plano vertical que pase por el punto de suspensión, y en este plano una recta horizontal cuya distancia vertical al eje de suspensión sea igual á la *longitud del péndulo reducido*; cuando el péndulo se ponga en movimiento, todos los puntos de esta horizontal oscilarán en el mismo tiempo que el péndulo simple, al cual se puede reducir el material; por tanto, oscilan como si fueran independientes de los demás puntos. Esta horizontal se llama *eje de oscilación*, y cada punto de este

eje *puntos de oscilación*. El punto de éstos que está en la vertical que pasa por el centro de gravedad del péndulo, se llama *centro de oscilación*. Siempre está más bajo que el de gravedad.

**Péndulo de reversión.**—En todo péndulo material se pueden trocar los puntos de suspensión y oscilación sin que varíe la duración de las oscilaciones. Un péndulo dispuesto para este cambio se llama Péndulo de reversión ó de Kater, su inventor. La distancia entre los cuchillos de suspensión, es la longitud del péndulo reducido: lleva además pesos movibles para lograr que el centro de oscilación esté en aquéllos.

Estos péndulos sirven para determinar la longitud de un péndulo físico ó material reducido. Lo cual puede hacerse experimentalmente ó por el cálculo.

Sea  $l$  la longitud de un péndulo de reversión reducido, que hace su oscilación en un cierto tiempo; sea  $X$  la *longitud reducida* desconocida de otro péndulo que en el mismo tiempo hace  $N$  oscilaciones: sabemos que  $N : n = \sqrt{l} : \sqrt{X}$  ó sea  $N^2 : n^2 = l : X$ , de donde

$$X = \frac{n^2}{N^2} l.$$

Por experiencia se puede buscar por tanteo el punto que convertido en el de suspensión hace que en el mismo tiempo haga el péndulo las mismas oscilaciones.

**Uso del péndulo para medir el tiempo.**—La igualdad del número de oscilaciones de los péndulos, hechas en

tiempos iguales, ha sido aprovechada para regular el movimiento de los relojes y para medir tiempos muy pequeños. El primero que hizo esta aplicación fué Huyghens.

También se han aplicado á los llamados *Metrómetros* ó *Rytmómetros* de Mälzel, que consisten (fig. 19) en un péndulo B, sobre cu-



Fig. 18.

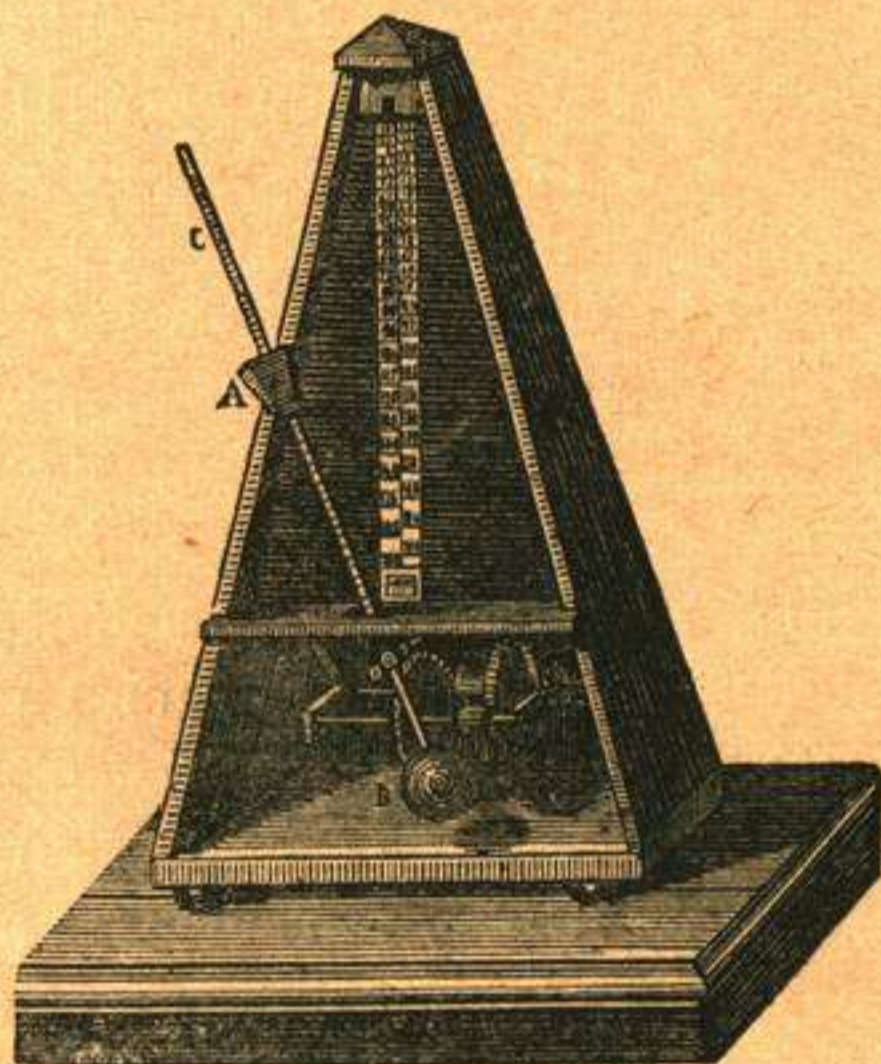


Fig. 19.

yo punto de suspensión O está una parte del vástago del péndulo que

por la subida ó bajada de un peso A retarda ó acelera las oscilaciones. También en lugar de subir ó bajar el peso A, se regula por el peso B que está bajo el punto de suspensión. Un sencillo movimiento de relojería C sostiene el movimiento del péndulo por algún tiempo. Este aparato se suele usar para establecer la igualdad en los tiempos y compases de la música.

Si un péndulo es de tal longitud que en cada oscilación tarda un segundo, se llama péndulo de segundos: la longitud de tal péndulo es desde el centro de la esfera al punto de suspensión de 0<sup>m</sup>,994 por más que varía con diferentes circunstancias. Por esto se aplican los péndulos para regular el movimiento de los relojes; pero entonces no se cuelgan de un hilo, sino de una varilla de metal ó madera que se suspende por un eje y el peso tiene la forma de una lenteja. En estos péndulos la duración de las oscilaciones depende no sólo de su longitud, si que también de la magnitud y peso de sus diferentes partes. En los péndulos que se han usado para las experiencias, el hilo es tan delgado que ninguna influencia apreciable tiene sobre la duración, y la esfera tan pequeña que sus diversas partes pueden considerarse casi como á igual distancia del punto de suspensión. Pero en los péndulos de los relojes la varilla tiene un peso apreciable, y como su parte superior está más cerca del punto de suspensión, si oscilaran solas, lo harían más deprisa que las inferiores; pero como todas las partes del péndulo forman un cuerpo rígido, apresuran el movimiento. De aquí que un péndulo de reloj se mueva más deprisa que uno simple de igual longitud.

**Péndulo de Foucault.**—Los péndulos formados por una esfera pesada colgada de un hilo delgado, presentan la propiedad de que si se hace girar el punto de suspensión del hilo, el péndulo participa del giro; pero sin variar la dirección de sus oscilaciones, es decir, el plano en que las realiza. Esta propiedad, debida á la conservación de la fuerza, la aprovechó Foucault para demostrar el giro de la tierra sobre su eje. Porque si el punto de suspensión de un péndulo da una vuelta completa en las 24 horas marchando de Este á Oeste y el plano en que oscila el péndulo permanece invariable, como del movimiento de la tierra no nos apercibimos; respecto al péndulo lo que se notará es como si éste variase su plano girando de Oeste á Este; y lo que gira realmente es la tierra bajo el plano invariable del péndulo. Para esta experiencia se necesita un péndulo largo y suficientemente pesado para que persista en las oscilaciones sin nuevo impulso durante algunas horas, para que así se pueda percibir alguna

variación en la posición respectiva de la tierra y del plano en que oscila el péndulo. También hay que construir el aparato de suspensión, de modo que reducido á un punto esté en la vertical del eje y que ésta pase por el centro de oscilación, sin lo cual el giro del punto de suspensión se comunicaría al plano de las oscilaciones.

**Fórmula de la duración de las oscilaciones del péndulo simple.**

Si se llama  $l$  la longitud,  $g$  la aceleración de la gravedad de un lugar, y  $t$  la duración de las oscilaciones, se tiene  $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ .

Si se hace  $t = 1$  y  $l$  es la longitud del péndulo que bate segundos, se tiene que  $g = \pi^2 l$ , cuya expresión da la aceleración de la gravedad en un punto de la tierra, conociendo la longitud del péndulo de segundos.

## LECCIÓN 8.<sup>a</sup>

### Máquinas simples

*L. 12.* Se llama *trabajo mecánico el vencimiento de una resistencia durante un cierto tiempo.*

La condición precisa para que exista trabajo mecánico, es que haya una resistencia vencida. Así, la elevación de un cuerpo, ó el impedir su caída, son trabajos mecánicos, porque hay que vencer á la acción de la gravedad. La rotura de un cuerpo ó su división en partes, también lo es, porque se vence la resistencia llamada cohesión; en cambio, el arrastre de los cuerpos por una superficie á igual distancia en todos sus puntos del centro de la tierra, no costaría trabajo mecánico si no fuese por los rozamientos.

Por eso vemos que cuantos menos rozamientos hay en los ejes de las ruedas de un carruaje, y más plana y dura es la superficie sobre que se ha de mover, menos esfuerzo cuesta moverle.

El trabajo mecánico se mide con la unidad llamada *Kilográmetro*, que es el trabajo empleado para elevar un kilogramo de peso á un metro de altura.

75 kilográmetros constituyen una nueva unidad, que se llama el *caballo de vapor*.

Se llaman máquinas en general, á ciertos mecanismos, mediante los

cuales, vencemos *resistencias mayores que las fuerzas* (llamadas potencias) *empleadas*, ó hacemos que las *primeras recorran trayectorias mayores que las recorridas por éstas*.

Las máquinas cumplen con estos fines, no porque ellas por sí presen fuerza, sino porque en cada instante mantienen el equilibrio entre la potencia y la resistencia, y sus trayectorias, en virtud de que están dispuestas de modo que los esfuerzos vengan á insistir sobre *apoyos fijos*.

Las máquinas se clasifican en *simples* ó *compuestas*, según que sus apoyos sean un solo punto, línea ó plano, ó más de uno de éstos, ó muchos combinados. También se llaman *simples* y *derivadas*, siendo estas últimas aquellas cuya ley de equilibrio es la misma que la de la simple de que se derivan.

Las máquinas simples son tres, á saber: la *Falanca*, el *Torno* y el *Plano inclinado*.

**Condiciones para el equilibrio en las máquinas simples.**—En el vencimiento de cualquier resistencia, ó sea en todo trabajo mecánico realizado por medio de sistema de cuerpos rígidos (máquinas) sobre el cual actúan varias fuerzas, éstas se pueden agrupar en dos secciones: una de las que tratan de *acelerar* el movimiento del sistema, otra de las que tratan de *retardarle*; á las resultantes de ambos sistemas se les suele llamar *Potencia* y *Resistencia*. Para que el sistema esté en equilibrio, sabemos que es preciso que la suma algébrica de los momentos virtuales de las fuerzas que sobre él actúan, sea cero; esta condición puede formularse de modo que sea más fácil de investigar si se verifica en los sistemas llamados máquinas simples, con lo cual se tendrá deducida su ley de equilibrio. En efecto, en todo caso de equilibrio en estas máquinas se cumple con la condición general antedicha, de que *el producto de la POTENCIA por el camino que recorre su punto de aplicación* (contado éste en la dirección en que aquélla actúa) *es igual al producto de la resistencia por el camino que recorre* (contado en la misma dirección).

Explicada esta condición de equilibrio con un ejemplo, quiere decir que si la potencia ejercida por un hombre sobre una máquina es de 8 kilos y mueve una resistencia de 80 kg., se tiene que si la potencia recorre un camino  $C$  *en su dirección*, la resistencia recorrerá un camino  $C'$  en la suya, tal, que se tendrá  $8 \times C = 80 \times C'$ ; ó sea  $\frac{C}{C'} = \frac{80}{8} = 10$ , es decir, que  $C = 10 C'$ , y como inversamente la fuerza que recorre el camino  $C$  es 8, ó sea diez veces menor que la de 80,

que es la que recorre  $C'$ , se suele expresar ordinariamente la ley de equilibrio en las máquinas, diciendo, que «lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad».

Al investigar la ley de equilibrio en las máquinas simples y derivadas que exponamos, haremos uso de cualquiera de estas fórmulas, buscando la más fácil de aplicar.

**Palanca.**—Llámase palanca teórica ó ideal á una barra recta, curva ó angular inflexible y sin peso, apoyada en un punto fijo, alrededor del cual tratan de hacerla girar en sentidos contrarios las fuerzas que actúan sobre ella. Las RESULTANTES de estas fuerzas ó sistemas que tratan de que gire la palanca en sentidos opuestos, se llaman POTENCIA y RESISTENCIA.

*Brazos de palanca* son las distancias que hay desde el punto de apoyo á las direcciones de las fuerzas: es claro que estas distancias se medirán por las perpendiculares bajadas desde el punto de apoyo á las rectas que representan las resultantes de las fuerzas que actúan sobre la palanca ó sea á la potencia y la resistencia.

Las palancas se clasifican de uno ó dos brazos según que el punto de apoyo esté en uno de sus extremos, ó entre los de aplicación de la potencia y la resistencia. También se suelen llamar de 1.º, 2.º ó 3.º género, siendo de 1.º la de dos brazos, como la armadura de una balanza ordinaria ó romana; de 2.º si la resistencia está entre el punto de apoyo y la potencia, como en los remos, carretillas, cascaneques, pie de cabra etc., y de 3.º si la potencia es la que está entre el punto de apoyo y la resistencia, como en las válvulas de seguridad, de palanca, en los brazos y piernas de los hombres, etc.

En todos los géneros de palancas, el equilibrio en cada instante se verifica, si la potencia y la resistencia están en razón inversa de sus brazos de palanca: para expresar simbólicamente esta ley, llamemos  $P$  y  $R$  (iniciales de potencia y resistencia) á las dos fuerzas resultantes de los dos sistemas que actúan sobre los brazos de una palanca para que gire en sentidos inversos: sean  $B$  y  $B'$  los respectivos BRAZOS con que actúan. La ley dice que  $\frac{P}{R} = \frac{B'}{B}$ .

La deducción teórica de esta ley se deriva de los principios enunciados de las velocidades virtuales; en efecto, en todos los casos de palancas que imaginemos, sus brazos son los radios de los arcos descritos al girar virtualmente la palanca, por los puntos de aplicación de la potencia y resistencia, y como la relación  $\frac{B'}{B}$  de estos ra-

dios es igual á la de  $\frac{A'}{A}$  de sus arcos, es evidente que  $\frac{P}{R} = \frac{A'}{A} =$   
 $= \frac{B'}{B}$ .

Veamos un ejemplo: (fig. 20) sea AB una palanca de dos brazos; sea P la potencia, Q la resistencia, C su punto de apoyo, CA y CB sus brazos respectivos, y supongamos al sistema en equilibrio, para una nueva posición del sistema, por un movimiento virtual.

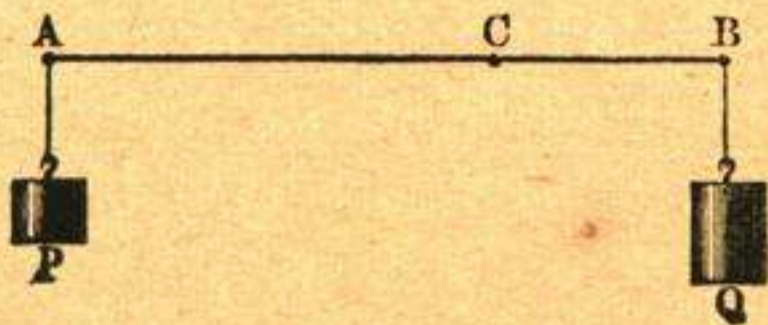


Fig. 20.

El principio dice que  $P \times \text{arco que recorre} = Q \times \text{arco que recorre}$ , ó sea  $\frac{P}{Q} = \frac{CA}{CB}$  porque la relación de los arcos es igual á la de sus radios.

Si la palanca fuese de un solo brazo, (fig. 21) es decir, que el punto de apoyo fuese C, siendo P y N las fuerzas cuyos brazos respectivos son AB y BC, se tiene que estos brazos son los radios de los arcos que describirían los puntos de aplicación de P y de N en un movimiento virtual y por tanto que  $\frac{P}{N} =$  á la relación

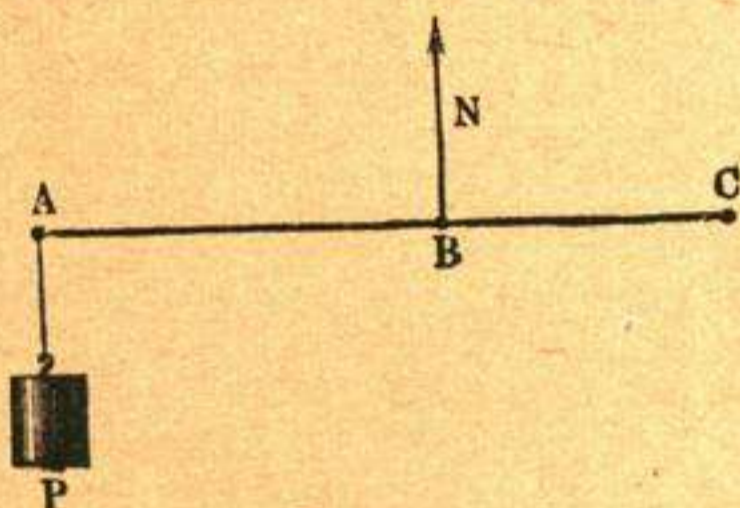


Fig. 21.

inversa de estos arcos, ó sea de sus radios  $= \frac{Bc}{Ac}$ .

Cuando la palanca está en equilibrio, la resultante de todas las fuerzas que sobre ella actúan, pasa por el punto de apoyo, y queda contrarrestada por la resistencia de ésta. Por eso se nota la solidez que se da al punto de apoyo de las palancas.

En la práctica, las barras empleadas como palancas, no son inflexibles y sin peso; las modificaciones que estas condiciones introducen en el cálculo teórico son las siguientes: Es cierto que toda barra se flexa, pero si no se rompe llega á tomar en cada caso una forma fija, que es la verdadera de la palanca para el cálculo de sus brazos; en cuanto al peso de la barra, no son más que nuevas fuerzas que tener en cuenta al componer las que actúan sobre cada brazo.

En las palancas *curvas* ó *angulares*, conviene recordar que la longitud de los brazos está dada por las *perpendiculares bajadas desde los*

puntos de aplicación de la potencia y resistencia sobre las direcciones de las fuerzas.

**Máquinas inmediatamente derivadas de las palancas.**—Entre éstas, las más sencillas son las POLEAS; llámase así á un cilindro circular recto, de poca altura, atravesado en el sentido de su eje por una barra metálica, cuyos extremos se apoyan en unos cojinetes, sostenidos por una horquilla llamada armadura de la polea; en la superficie curva cilíndrica, lleva un rebajo, que se llama cajera ó garganta, en cuyo hueco se aloja una cuerda ó cadena; sobre ésta actúan la potencia y la resistencia.

Las poleas se clasifican en *fijas* y *movibles*; las primeras son aquellas cuyo eje no tiene más movimiento que el de *rotación*, y movibles son las que además tienen el de *traslación*.

La polea fija es una palanca de dos brazos, los cuales son iguales si los cordones son paralelos ó forman ángulos iguales con un diámetro de la polea.

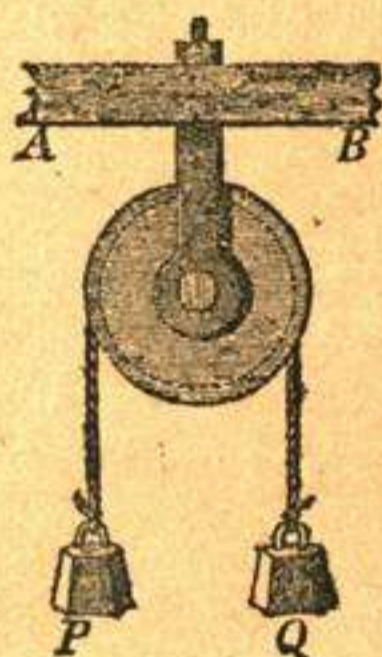


Fig. 22.

En efecto (fig. 22), siendo paralelas las cuerdas que sostienen los pesos P y Q, si imaginamos trazado el diámetro horizontal, á cuyos extremos actúan, como el centro es el punto de apoyo, los brazos de la palanca son iguales, luego para el equilibrio  $P = Q$ .

Si los cordones no fuesen paralelos, los radios á los puntos de su tangencia con la garganta de la polea, serían los brazos de la palanca angular, á cuyos extremos actuarían las fuerzas, y como los radios son iguales también en este caso  $P = Q$ . Esto

quiere decir que las poleas fijas no pueden emplearse para vencer resistencias mayores que la potencia, empleándose sólo esta máquina para cambiar el sentido de los movimientos de las fuerzas que sobre las cuerdas actúan.

En las *poleas movibles*, cuya disposición se representa en la fig. 23, el punto de apoyo está en *c*, que puede considerarse trasladado al de tangencia de la cuerda *b*. La resistencia está en Q, que se puede considerar aplicada en el centro del eje, y la potencia en el punto de tangencia de la rama *a*. En estos supuestos se tiene una palanca de un sólo brazo, y como el de la potencia es doble que el de la resisten-

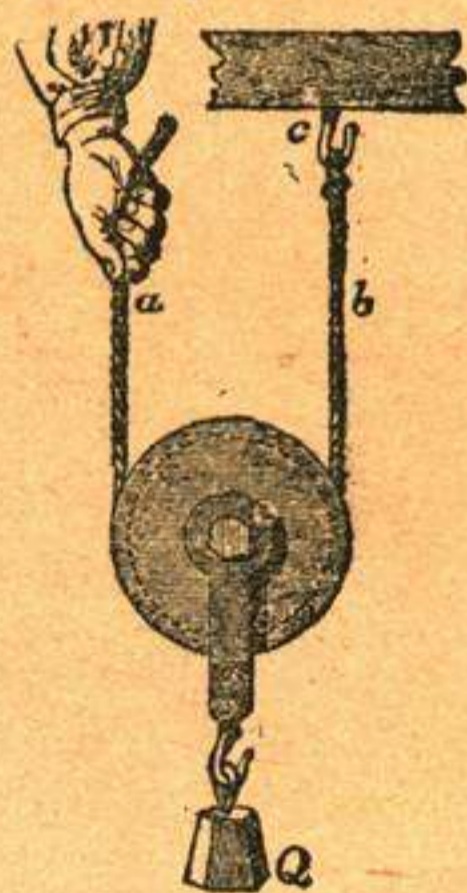


Fig. 23.



cia, hasta para equilibrio que la primera sea la mitad que la segunda.

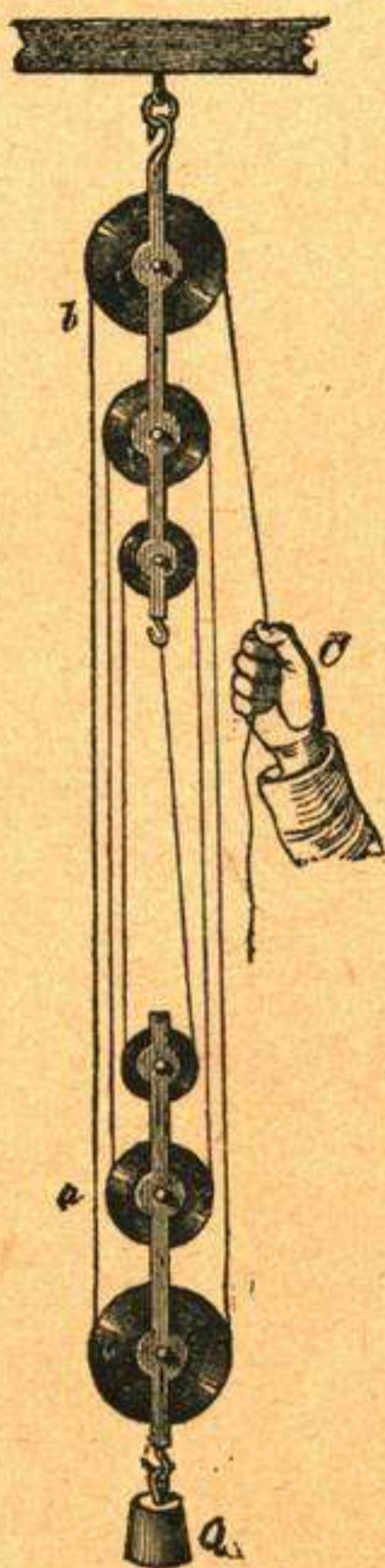


Fig. 24.

De la combinación de las poleas se forman unas máquinas llamadas *tróculas*, *mutones*, *aparejos* y *polipastos*.

Las *tróculas* consisten en una serie de poleas móviles y otras fijas (fig. 24) ligadas entre sí por una misma cuerda, pero de ejes distintos y todas en un plano.

Los *mutones* ó *garruchas* son (fig. 25) sistemas de poleas fijas y móviles que tienen unos mismos ejes. Las combinaciones de *tróculas* y *garruchas* se llaman *polipastos* ó *aparejos*.

En las poleas y sus derivadas, las resultantes de las fuerzas pasan por el punto de apoyo.

**Torno.**—La segunda máquina simple es el torno (figura 26), y consiste en un

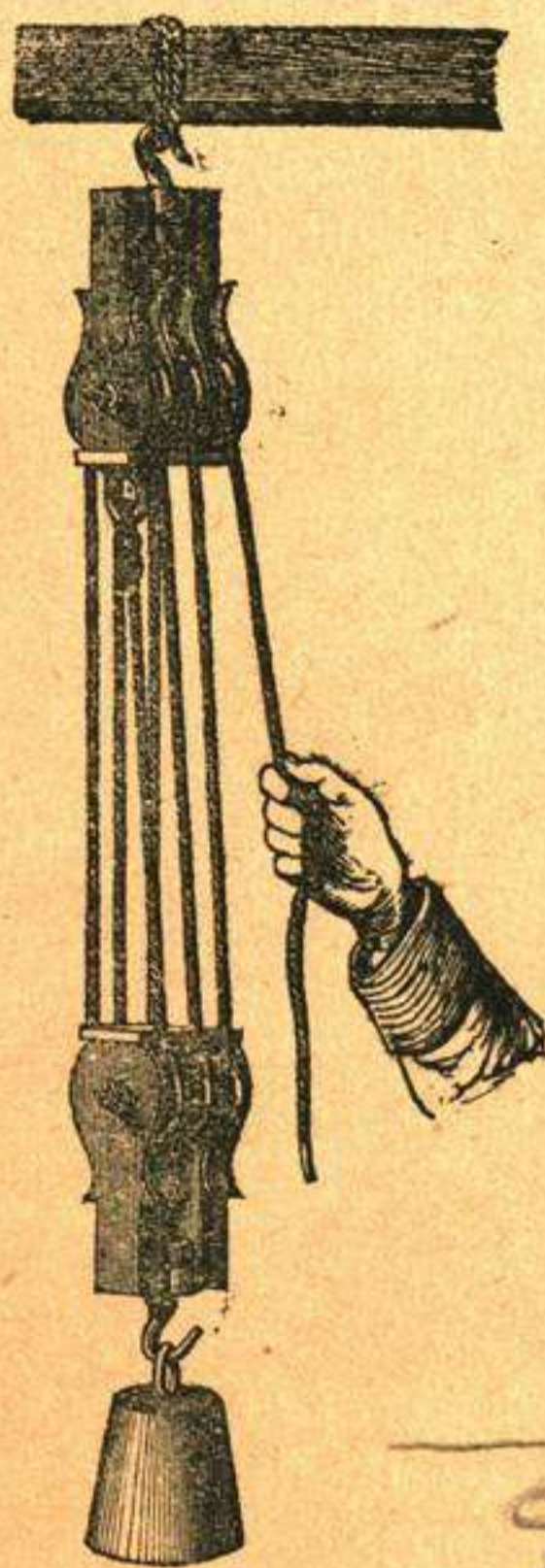


Fig. 25.

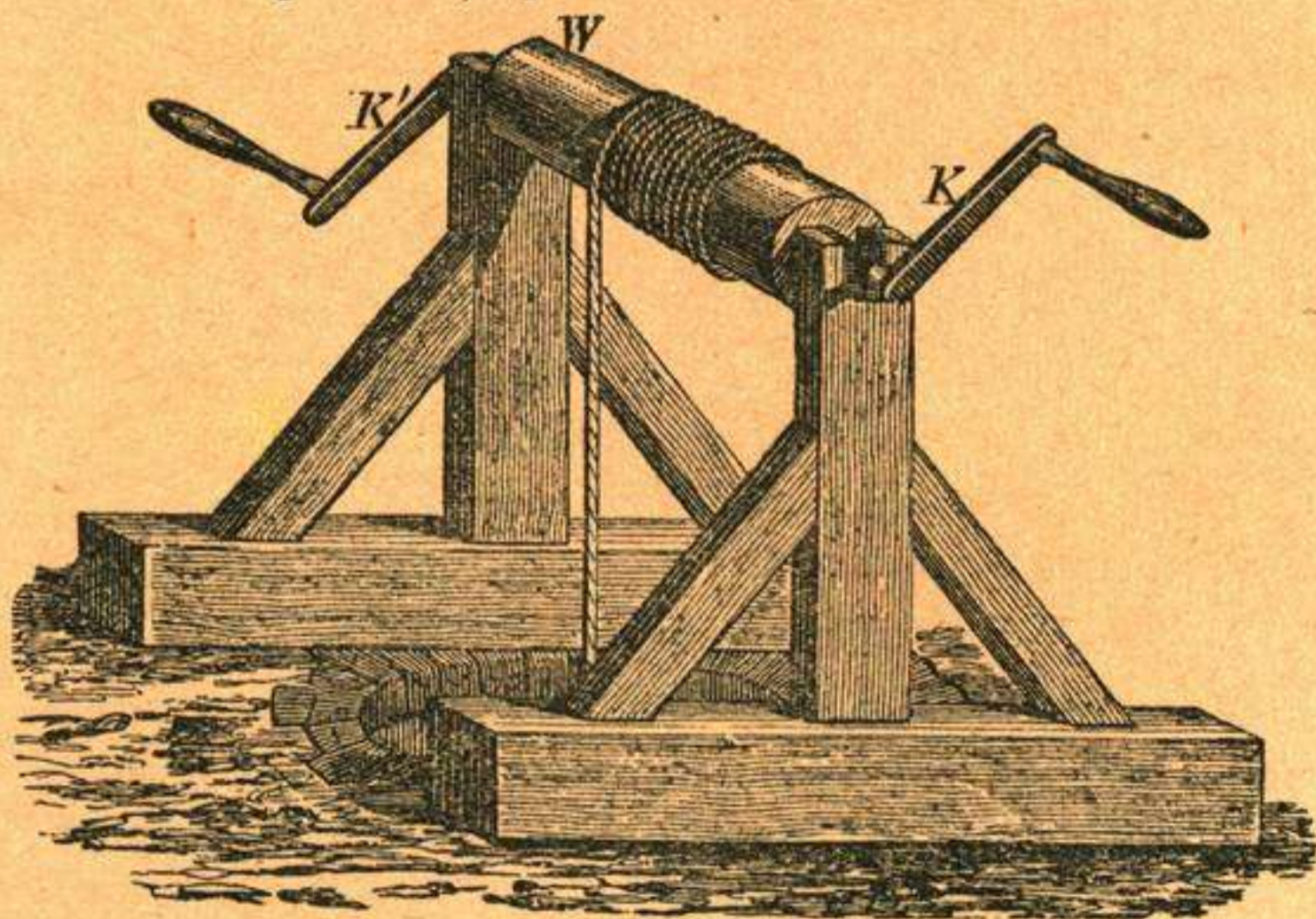


Fig. 26.

árbol cilíndrico circular, apoyado por sus extremos en otros dos más

2.14.

pequeños llamados muñones, que sobresalen de las bases en la dirección de su eje; sobre el árbol se arrolla una cuerda, por cuyo medio actúa la resistencia; la fuerza que hace girar al cilindro en sentido contrario al en que le solicita ésta, es la *potencia*.

Para efectuar este giro se emplean varios artificios, á saber: una ó dos palancas acodadas, en ángulo recto K, y unida por un extremo á los muñones, á estas palancas se llaman *cigüeñales*; 2.º, una serie de ruedas dentadas movidas por un piñón ligado á un cigüeñal; 3.º, una

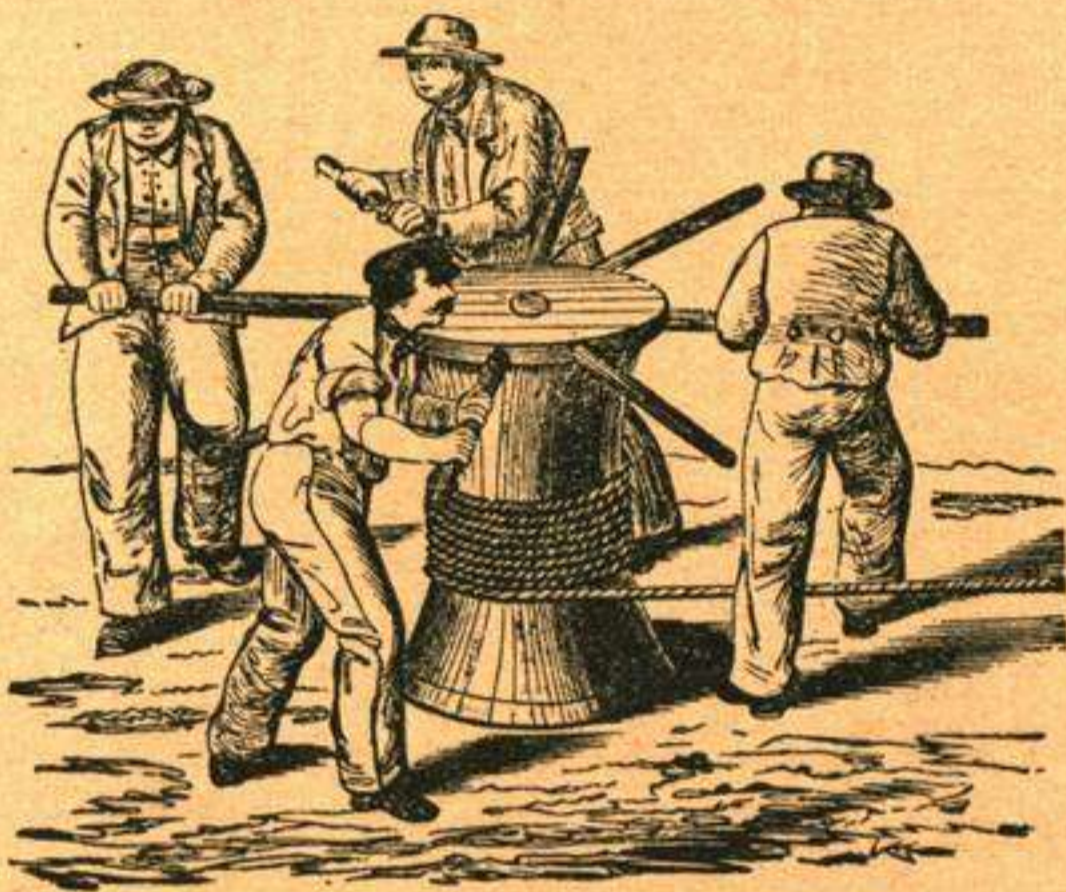


Fig. 27.

serie de palancas que se introducen en unos huecos labrados en el árbol (fig. 27).

El eje de los tornos se coloca horizontal (fig. 26) ó vertical (fig. 27), porque son las dos posiciones en que las fuerzas que á él se aplican pueden obrar con más facilidad, perpendicularmente al eje. Si el árbol está horizontal, se llama

*Torno de pozos*, y si está vertical, *Cabrestante*.

La ley de equilibrio de esta máquina es, que la potencia y la resistencia están en razón inversa de los radios de las circunferencias que describen sus puntos de aplicación. Estos radios son evidentemente los del cilindro y del cigüeñal, y se concibe, por tanto, que cuanto mayor sea el del cigüeñal y menor el del cilindro, tanto más favorecida se halla la potencia; claro es también que el cilindro no puede hacerse tan delgado como se quiera, porque sobre él insisten las fuerzas del sistema. Tampoco el cigüeñal es ilimitado en magnitud, pues si es muy grande, se hace molesto ó imposible que la potencia recorra la circunferencia que describe. Por esto se han aplicado á todos los tornos de grandes resistencias, las ruedas dentadas, que como pronto veremos, aumentan la acción del cigüeñal sin aumentar el radio de la circunferencia que describe.

Hay una disposición del árbol de los tornos, llamada de los *Tornos diferenciales*, que consiste en dos conos unidos por sus vértices, ó de cilindros de diferente radio, con un mismo eje; la resistencia cambia alternativamente (como en las cubas para sacar agua ó materiales de los pozos) en los extremos de una cuerda que se arrolla en sentidos

inversos sobre el árbol diferencial, de modo que la rama de cuerda que lleva la carga se va arrollando sobre la parte que va en disminución, y la descargada se desarrolla de la parte del árbol de más radio: con esta disposición de los tornos se pueden equilibrar grandes resistencias, con potencias menores que en los tornos ordinarios.

**Ruedas dentadas.**—Llámanse así á unos discos, generalmente de metal, que tienen sus circunferencias, compuestas de partes entrantes y salientes (fig. 28) que se llaman **DIENTES**, estos son iguales y regularmente distanciados entre sí: si además en estos huecos encajan los de otra, se dice que ambas *engranan*. Si la rueda que engrana con otra es mucho menor que la primera, se le llama **PIÑÓN**.

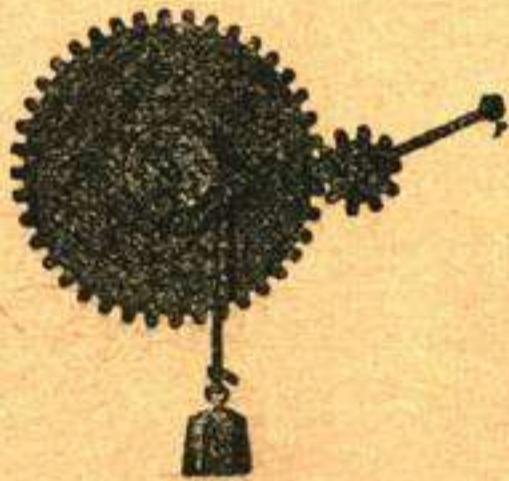


Fig. 28.

La ley de equilibrio, entre dos ruedas dentadas que engranan, es que la potencia y la resistencia, (fuerzas que tratan de hacerla girar en sentidos opuestos) están en razón inversa del número de sus dientes. Regular-

mente la potencia se aplica á un cigüeñal unido al eje del piñón, y la resistencia al eje de la rueda mayor. Así se representa en la figura 28.

Las ruedas dentadas tienen muchas aplicaciones; las más usuales son: para comunicar movimientos de un árbol á otro en un mecanismo, cuando están próximos y las resistencias son grandes; para cambiar el sentido de las rotaciones, ó para continuarlas en árboles que forman ángulo.

También se emplean para aumentar el camino que ha de recorrer una fuerza, sin hacer muy grande la circunferencia que describe su punto de aplicación, porque distribuye el trayecto en muchas circunferencias menores repetidas.

Cuando las ruedas dentadas engranan con una barra recta provista de dientes iguales, á la cual se llama *Cremallera*, la resistencia está en ésta y la potencia en el cigüeñal de la rueda: en este caso, aun las fuerzas están en relación inversa á los radios de la rueda y del cigüeñal. Este engranaje se emplea en el mecanismo llamado *crik* ó *gato*, en el que el eje de la rueda es fijo, y por su giro hace avanzar la cremallera.

**Plano inclinado.**—Llámanse así todo aquel que forma un ángulo agudo con el horizontal. La sección del plano inclinado y del horizontal con uno vertical, se puede representar por dos de los lados de

2.15.

un triángulo rectángulo, por ejemplo (fig. 29), el ABC, en el que la hipotenusa AC se llama la *longitud*, el cateto horizontal AB la *base*, y el vertical BC la *altura* del plano inclinado.

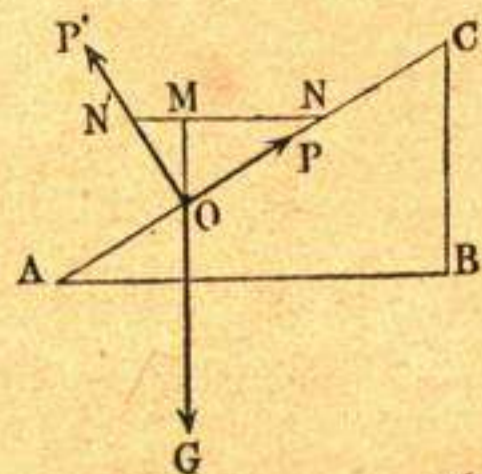


Fig. 29.

La teoría de esta máquina es la siguiente: Si consideramos un cuerpo situado sobre el plano inclinado, y prescindimos del rozamiento con éste, la acción de la gravedad tenderá á hacerlo descender á lo largo del plano. Si, pues, (fig. 29) OG representa esta fuerza, se puede descomponer en otras dos; una la OA paralela al plano y otra la OP' perpendicular en el mismo: esta componente es la que apoya el cuerpo sobre el plano y se equilibra por la resistencia del último, no tendiendo á moverlo. En cambio, la componente OA tiende á hacerle descender por la línea de mayor pendiente, y para equilibrarla es preciso una fuerza en sentido opuesto OP, esta es la potencia P, en relación con el peso del cuerpo; de la ley de las velocidades virtuales se deduce que P por AC, que es el camino que recorre, es igual á R (peso del cuerpo) por la altura AB á que se eleva, es decir,  $P \times AC = R \times CB$ , (1) ó sea  $P : R :: CB : AC$ : que traducida dice: potencia es á resistencia, como *altura* del plano es á su *longitud*.

Es evidente que de la ecuación (1) se deduce (prescindiendo del rozamiento) que la potencia P para equilibrar una resistencia dada R, será tanto menor cuanto mayor sea AC y menor CB; esto es, cuanto menor sea la altura y mayor la longitud del plano inclinado.

Inmediatamente derivada de éste es la CUÑA, ó sea *un prisma triangular, que se aplica por una de sus aristas laterales entre dos cuerpos, para separarlos*.

La arista lateral se llama *filo*, y la cara opuesta *cabeza* de la cuña. En este instrumento la potencia P es la fuerza con que se trata de introducir la cuña, la resistencia R es la que ofrecen los cuerpos á separarse, el camino que recorre la primera es la distancia del filo á la cabeza, ó sea la *longitud* L de la cuña y el camino de la resistencia es lo que se separan los cuerpos, ó sea el *ancho* A de la cabeza; la ecuación, pues, de equilibrio, es  $P \times L = R \times A$ , ó sea  $P : R :: A : L$ , que traducida dice que *potencia es á resistencia como la anchura de la cuña es á su longitud*.

Como máquina compuesta del plano inclinado y *torno*, está, entre otras, el *tornillo* y la *tuerca*. El primero es un cilindro circular recto que en su superficie curva lleva un filete saliente ó rosca de sección,

generalmente triangular (fig. 30 B) ó rectangular (fig. 30 C) arro-

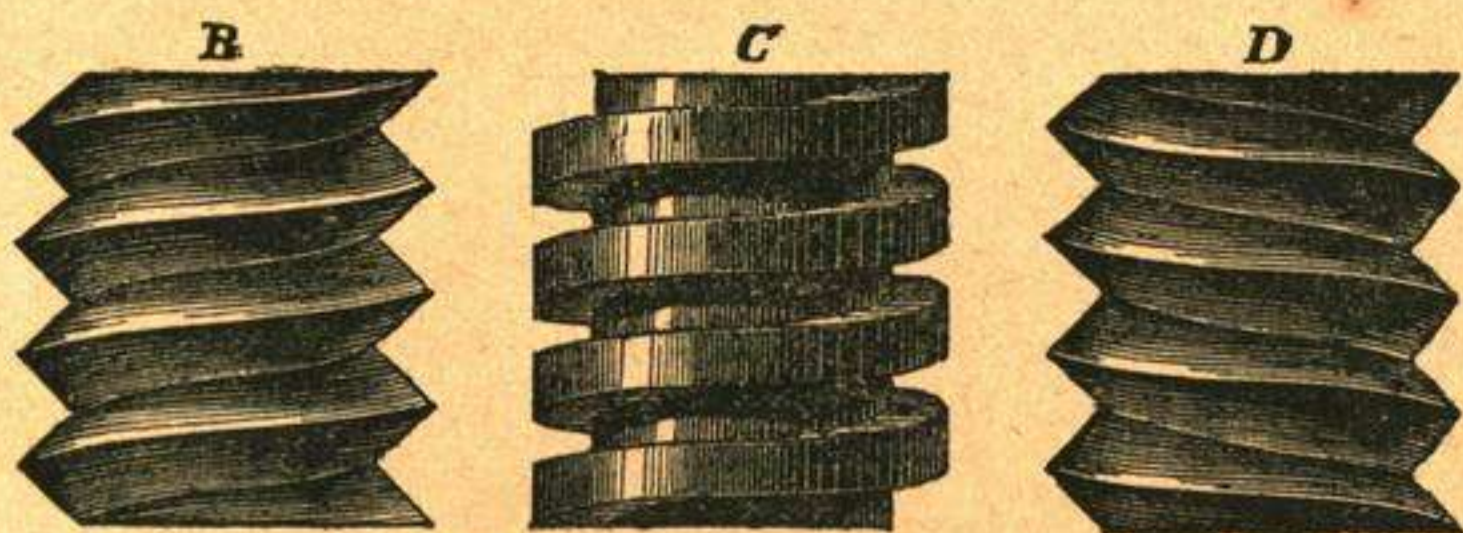


Fig. 30.

llado según una hélice. Se llama *paso de la rosca* á la distancia entre dos espiras. En cuanto á la tuerca, es el molde del tornillo (fig. 31).

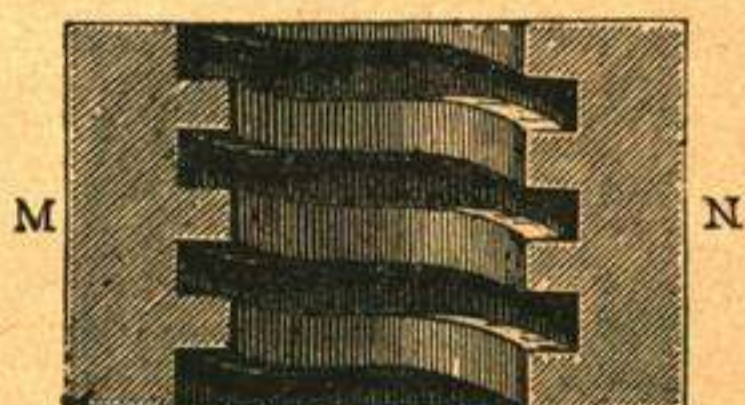


Fig. 31.

En esta máquina, la potencia P es la fuerza que trata de hacer avanzar al tornillo dentro de la tuerca, y describe una circunferencia cuyo radio es el de la palanca que se aplica á la cabeza del

tornillo; en cuanto á la resistencia R (sea por el rozamiento ó la compresión etc.) es la causa que se opone al avance del tornillo, el camino que recorre por una vuelta completa es la altura ó paso de la rosca.

Si, pues, se designa por  $c$  y  $a$  los caminos que recorren las fuerzas P y R, será  $P \times c = R \cdot a$ , ó sea  $P : R :: a : c$ , ó sea que para el equilibrio en el tornillo *potencia es á resistencia como el paso de la rosca es á la circunferencia que describe la potencia*.

*Tornillo sin fin:* llámase así la unión de un tornillo y una rueda dentada, tales que los dientes de ésta engranan con las espiras del primero. Por esta disposición, el tornillo no avanza; gira solamente sobre su eje y hace dar vueltas á la rueda dentada. Entre otros ejemplos suele emplearse esta combinación para las clavijas que aseguran y atirantan las cuerdas de los instrumentos de música.

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

### Aplicación de estos principios á algunos aparatos de Física

2.16.  
**Balanzas.**—Son unos aparatos destinados á hallar el peso de los cuerpos, ó sea á comparar el peso de un cuerpo con el de otros conocidos que se toman como patrones de estas medidas.

La construcción de los más usuales de estos aparatos se funda en las leyes de las palancas, y entre los de esta clase las más usuales son las *balanzas de brazos iguales*. Consisten éstas en una barra ó armadura de acero (fig. 32), simétrica, atravesada en su mitad por un

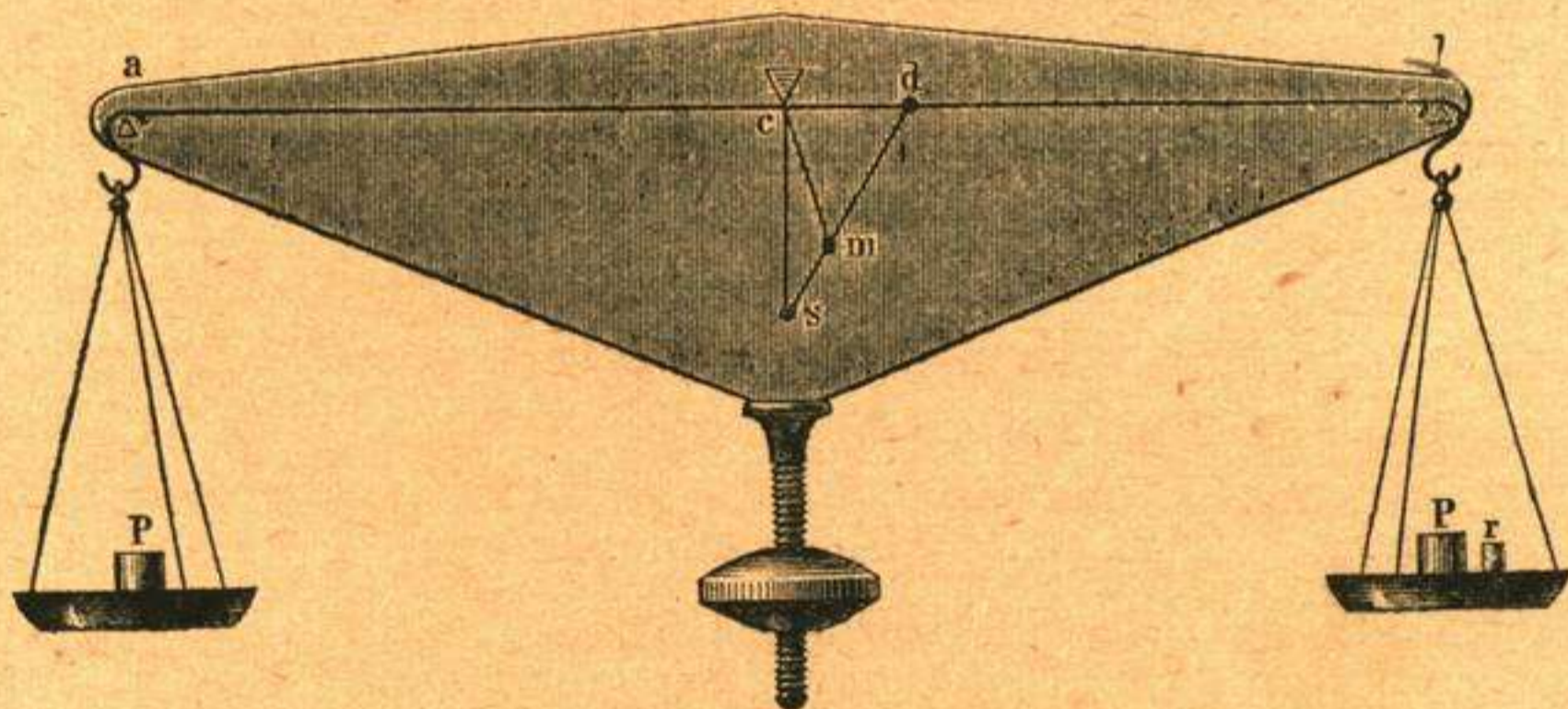


Fig. 32.

eje sobre el cual se apoya, y á cuyo alrededor puede girar; de sus extremos penden unos platillos donde se colocan los cuerpos que se pesan, y los patrones conocidos ó pesas.

Según la ley de las palancas de esta clase, si el equilibrio estable de la barra es en su posición horizontal, no se alterará cuando en ambos platillos haya pesos iguales, y se alterará, girando hacia el lado del mayor cuando sean desiguales.

Las balanzas, para ser *exactas y sensibles*, necesitan de ciertas condiciones. Para ser exactas, 1.<sup>o</sup> han de tener sus brazos todo lo iguales posibles en longitud y peso; 2.<sup>o</sup> los ejes de suspensión de los platillos y el de oscilación han de estar en línea recta; y 3.<sup>o</sup> los platillos han de pesar lo mismo.

Para ser sensibles, 1.º los brazos han de ser largos, rígidos y ligeros; 2.º, el centro de gravedad de las partes movibles (brazo y platillos y fiel) ha de estar debajo y cerca del de oscilación; 3.º, los rozamientos han de ser lo menores posible.

Las condiciones de exactitud son consecuencia de las leyes de las palancas de brazos iguales. En cuanto á las de sensibilidad, es claro que mientras más largos sean los brazos, mayores son los de palanca en que actúan los pesos, para vencer la inercia y poner en movimiento las partes movibles: el centro de gravedad de éstas ha de estar por bajo del eje de oscilación, para que el equilibrio sea estable, y por tanto, para que la balanza tienda á volver al que tenía antes de cargar desigualmente sus platillos.

La sensibilidad de las balanzas tiene un límite en cada una de ellas; en las llamadas balanzas de precisión, se acompaña é investiga por medio de ensayo, una tabla de estos límites de sensibilidad para las distintas cargas de sus platillos. Además, el centro de gravedad de las partes movibles se puede desplazar, acercándolo ó alejándolo del eje de suspensión. Teóricamente se sabe, y fácilmente se experimenta en los gabinetes, que si el centro de gravedad estuviese *más alto* que el eje de suspensión, el equilibrio de las partes movibles sería *inestable*, y al menor movimiento de los brazos, éstos tratarían de *invertirse*, á esto se llama balanza loca. Si el centro de gravedad se hace coincidir con el eje de suspensión, el equilibrio de los brazos sería *indiferente*, y una vez que salieran de su posición horizontal, conservarían la que por un esfuerzo tomasen.

En *teoría*, una pesada exacta se ha verificado cuando, cargados los platillos, los brazos quedan horizontales, ó sea el fiel, que es una aguja perpendicular á los brazos, y unida rígidamente á ellos, señala el cero de una escala graduada, ó si no la hay, está en la vertical. Pero antes de llegar el fiel al *cero* ó quedar en la vertical, pasa muchas veces á un lado y otro de esta posición, es decir, oscila lentamente, decreciendo muy poco en la amplitud de una oscilación, y por esta razón y también porque el reposo en la vertical puede provenir de algún obstáculo, se acostumbra en las balanzas de precisión á averiguar experimentalmente el cero, por un promedio de las amplitudes á derecha é izquierda de la vertical, de las oscilaciones del fiel, tomadas con signos contrarios.

A pesar de todas las precauciones de construcción de una balanza precisa, y de las observaciones previas apuntadas, Bordá dió un procedimiento para pesar, conocido con el nombre de *Doble pesada*, que es

el que se emplea para cualquier investigación algo exacta: consiste en colocar el cuerpo, cuyo peso se busca, en uno de los platillos, y equilibrarlo en el otro por medio de perdigones, arena ó cualquier otra substancia que se pueda aumentar en pequeñas cantidades: conseguido esto, se quita el cuerpo y se substituye por pesas conocidas hasta lograr otra vez el equilibrio: lo que expresen las pesas, es el peso del cuerpo, aunque la balanza sea poco exacta, pues las pesas y el cuerpo han tenido en idénticas condiciones en equilibrio á una misma masa, que es la colocada en el otro platillo.

Las balanzas que hemos venido llamando de *precisión* ó de gabinete, son aquellas en cuya construcción se ha tenido más cuidado de que reúnan las condiciones enunciadas; regularmente su límite de carga es pequeño, de  $\frac{1}{2}$  á 1 kilogramo, y el de sensibilidad para 500 gramos de carga, suele ser de 1 miligramo, en algunas se llega á conseguir  $\frac{1}{10}$  de miligramo. Difieren de la común del comercio, en que se ha procurado disminuir los rozamientos construyendo los cuchillos de suspensión (prismas triangulares apoyados por una arista) de acero, y los planos de apoyo de ágata: además una horquilla que se levanta á voluntad, suspende á todas las partes movibles separándolas de sus apoyos cuando la balanza no se usa, con lo cual se evitan las adherencias y desgastes de los filos y planos.

En el comercio, y para pesos no muy grandes, se usan unas balanzas llamadas de *Roverval*, cuyos platillos están sobre los extremos de los brazos; y para que al oscilar éstos, los platillos no se inclinen y conserven su posición horizontal, bajando y subiendo por la vertical, los vástagos que los sostienen están articulados con los brazos de la balanza y con otro que está paralelo y por bajo de él en la peana del aparato, formando el todo una especie de paralelogramo articulado.

Además, para la estabilidad, el centro de gravedad de las partes movibles está debajo del eje de suspensión, lo cual se consigue dándole suficiente masa á las partes que están debajo del eje.

Estas balanzas, si bien cómodas para su uso, son poco exactas y sensibles.

*9.17.* **Romanas.**—En las balanzas de brazos iguales, se necesita para cada pesada un juego de pesas iguales al peso del cuerpo; para evitar esto se usan las balanzas llamadas *Romanas*, que consisten (fig. 33) en una palanca de dos brazos *desiguales* que puede girar en C. En el brazo corto se cuelga el peso P: su esfuerzo se equilibra por medio



de un pilón Q que puede correr á todo lo largo del brazo mayor CD:

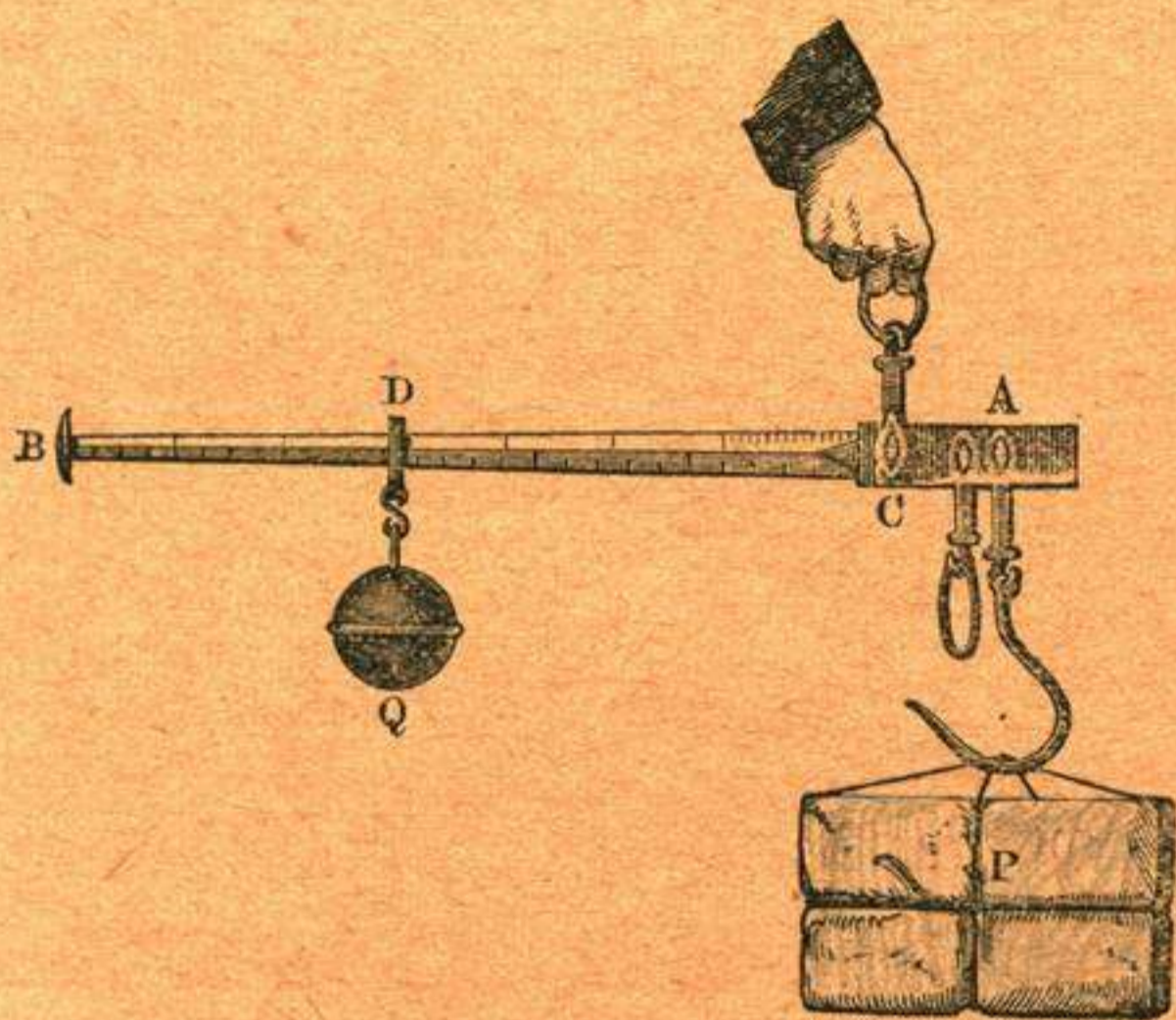


Fig. 33.

cuando los brazos quedan horizontales se tiene hecha la pesada, y como el brazo BC va dividido por medio de unas rayas en unidades de peso determinadas, su lectura indica en cada caso el peso que se busca. Las romanas tienen un límite inferior de peso, con el cual se dice que *entran*, y que proviene de que para estar horizontal, en

equilibrio, sin poner el pezón en el brazo largo, necesitan colgar un peso determinado en el corto; este peso es con el que se dice que entra la Romana, y claro es que si lo que se trata de pesar es menor que ese peso, la Romana no puede emplearse para pesarle, pues el esfuerzo del peso del brazo largo es mayor que el que hace el cuerpo en el corto.

Además de las Romanas hay otras balanzas destinadas á pesar grandes pesos y muy voluminosos, como equipajes y carros ó vagones cargados: estas balanzas son las llamadas básculas ó balanzas de puente. Sus modelos son variados y se dividen en decimales y centesimales, según la relación de los brazos de palanca que constituye su armadura.

Entre las decimales, las más usadas son las llamadas de Quintez.

La fig. 34 representa esquemáticamente el mecanismo de estas balanzas. El peso L se coloca sobre una plataforma *ba* que descansa en *a* sobre un cuchillo, y por *b* está colgada por una varilla E, del punto *b'* en el brazo corto de una palanca *ic'* que llamaremos B y la cual se apoya en el cuchillo K.

El cuchillo *a* descansa sobre una palanca de un solo brazo D, cuyo punto de apoyo es *d* y cuyo otro extremo *c* está colgado de la varilla F.

Si la relación entre  $Kb'$  y  $Kc'$  es justamente igual á la que hay entre  $da'$  y  $dc$ , lo cual es la primera condición para la exactitud de

estas balanzas, entonces el peso colocado sobre la plataforma  $ba$  actúa precisamente como si estuviese colgado de la barra  $E$ , cual-

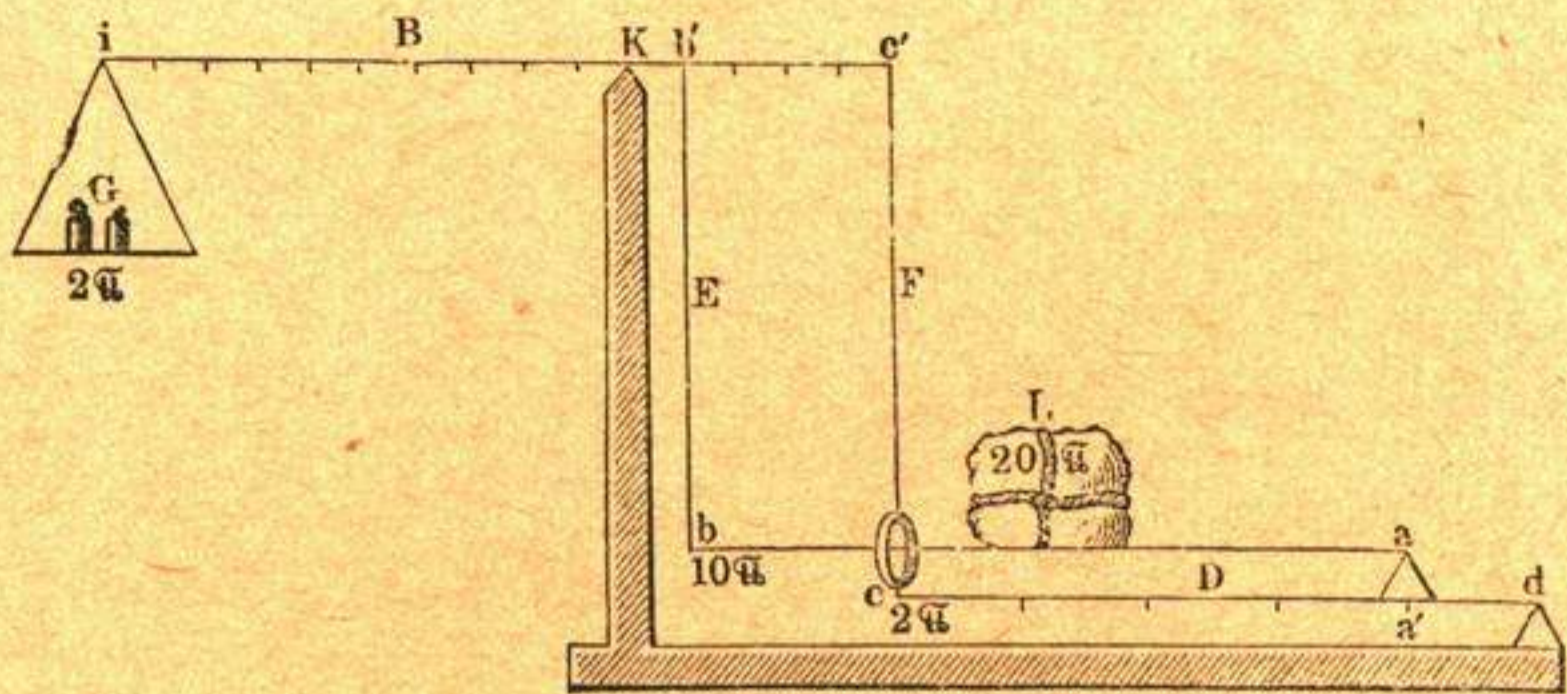


Fig. 34.

quiera que sea por otra parte el lugar que en la plataforma ocupe el peso.

Fácil es de demostrar esto. En efecto, una parte del peso  $L$  ejerce su presión sobre el cuchillo  $a$  y la otra parte tira de la varilla  $E$ . Llamemos  $q$  la magnitud de la presión sobre  $a$  y sea  $p$  la de la tracción ejercida de  $E$ , de modo que  $q + p = L$ .

El peso  $q$  que hunde el cuchillo  $a$ , actúa con un brazo de palancas  $a'd$ ; supongamos que  $cd = n \cdot a'd$ , entonces el peso  $q$  que actúa por presión sobre  $a'$  efectúa una tracción de la barra  $F$ , como si en  $c$  actuara tirando una fuerza expresada por  $\frac{q}{n}$ .

Por tanto, del brazo corto de la palanca  $B$ , tiran dos fuerzas; que son una en  $b'$  con la fuerza  $p$  y otra en  $c'$  con la fuerza  $\frac{q}{n}$ . Esta última produce en ese punto de aplicación el mismo efecto que otra  $n$  veces mayor que ella y que actuase en  $b'$ , porque hemos dado, por supuesto, que  $Kc' = n \times Kb'$ . Por tanto, las fuerzas que tiran del brazo de palanca  $Kc'$  son como dos puestas en  $b'$ , la una de expresión  $p$  y la otra de expresión  $\frac{q}{n} \times n = q$ . En resumen, como una fuerza de  $p + q = L$ .

En el brazo izquierdo de la palanca  $B$ , es decir, en  $Ki$ , está colgado el platillo donde se ponen las pesas. La relación entre éstas y el cuerpo que se pesa depende de la que exista entre los brazos de palanca  $Kb'$  y  $Ki$ . Por lo regular estas balanzas se construyen de modo que  $Kb'$  es la décima parte de  $Ki$ , con lo cual las pesas que hay que colocar en el platillo, para equilibrar el cuerpo, son también la décima parte del

peso L. Es decir, que un peso de 100 kilogramos se equilibra con 10. De aquí el nombre de «Balanzas decimales».

La vista, en perspectiva de estas balanzas, la representa la fig. 35. Las letras de la fig. 34 se han conservado en sus lugares respectivos.

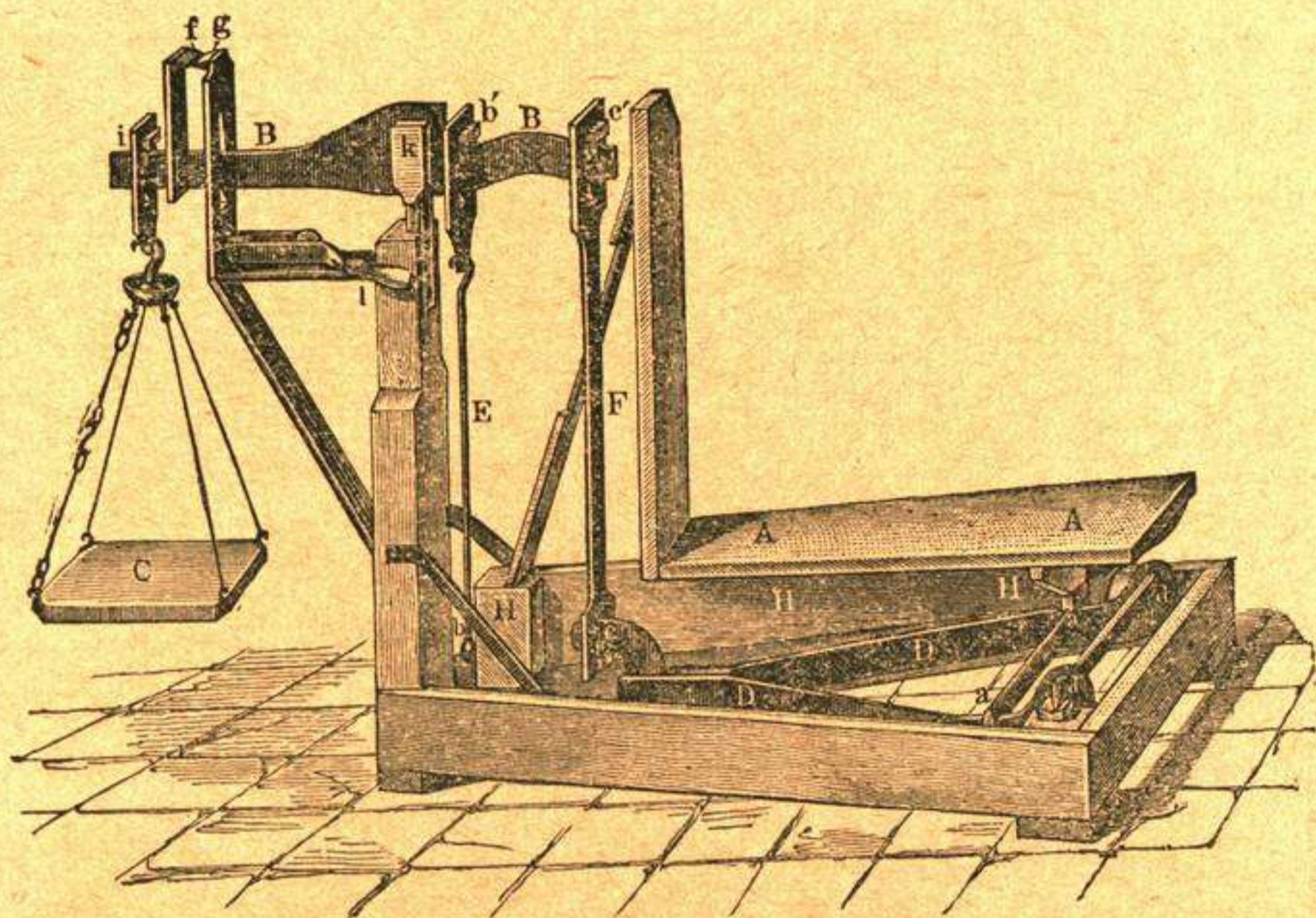


Fig. 35.

La plataforma A, sobre la cual se colocan los cuerpos, está sujeta á un marco triangular de madera H (en la figura para mayor claridad, sólo se ha representado un solo lado de éste). Este marco se apoya por uno de sus lados sobre el cuchillo *a* y por el vértice opuesto está colgado en *b* de la barra E. El cuchillo *a* está unido á las ramas de la palanca ahorquillada DD, cuyo punto de apoyo está detrás de *aa*, es decir, en el cuchillo *dd* y por su otro extremo *c* se cuelga de la barra F.

En la figura se ha exagerado la altura de la plataforma, por la que se le ha dado al marco H sobre el cual se asienta. En la práctica está más bajo, y cuando por la subida de la palanca *l* se levanta el lado izquierdo de la palanca B, se inclina el lado derecho de ésta lo suficiente para que la plataforma se asiente sobre los bordes de la peana N, con lo cual los cuchillos de los puntos de suspensión *b'* y *c'* no soportan el peso de ella. La palanca *l* se tiene levantada siempre que la balanza no se usa.

El peso de la plataforma está calculado de manera que, bajando la palanca *l*, quede la B horizontal, lo cual se conoce por la confronta-

ción de los filos de los dos cuchillos *f* y *g*. Si se carga peso en la plataforma, se ponen pesas en el platillo C hasta conseguir otra vez la confrontación, en cuyo caso está hecha la pesada.

Las grandes básculas llamadas Centesimales están construídas bajo análogos principios, y como indica su nombre, las pesas que puestas en el platillo equilibran el peso del cuerpo colocado en la plataforma, son su centésima parte; así que con 10 kilogramos se equilibran 1000 kilogramos y con 100 kilogramos á 10000 kilogramos.

Sólo varían en cortos detalles, y el principal es que cuando está descargada ó cargándose, se apoya sobre unas columnas verticales muy fuertes y empotradas en un suelo firme, con lo cual resiste los golpes que al colocarse sobre ella producen los carros ó vagones, con lo que éstos no actúan sobre la suspensión.

Por último, tanto en las decimales como en las centesimales, se suele sustituir el platillo donde se han de poner las pesas, por un pezón cilíndrico que puede correr sobre el brazo graduado de la balanza, y en algunos de estos pezones hay un mecanismo dispuesto para grabar en una tarjeta ó cartón que en ellos se introducen, el peso, marcando con separación el bruto y neto hasta con fracciones de 0,25. Estos se llaman pezones registradores.

---

# LECCIONES PRELIMINARES

## LECCIÓN 1.<sup>a</sup>

L. 18.

**FÍSICA** es la ciencia que estudia los fenómenos que se realizan entre los cuerpos, y que mediata ó inmediatamente, son perceptibles por nuestros sentidos.

Es claro que si de algún modo no se nos hace perceptible la acción que un cuerpo ejerce sobre otro, ó sea el cambio que origina en su manera de ser ó de estar, el fenómeno pasa para nosotros como si no se hubiese verificado; por tanto, las investigaciones y razonamientos de esta ciencia, parten de las *observaciones* y *experiencias*; y para que sean más exactas y extensas, nos valemos de instrumentos y aparatos que unos sirven para hacer sensibles á los sentidos ciertos hechos que salen de los límites de su percepción directa, y otros para apreciarlos con cierta exactitud, ya midiéndolos, ya poniendo de manifiesto sus causas inmediatas.

Las causas inmediatas de los fenómenos son otros anteriores, y en muchos casos, se puede determinar tal enlace entre los primeros y los subsiguientes, que, relacionados bajo este concepto, se les llaman respectivamente *causas* y *efectos*. El enlace inmutable entre las causas y los efectos, ó la relación exterior entre un fenómeno y los hechos que en unas mismas circunstancias le producen, se llama *ley Física*.

Aún esta inmediata y exterior relación, no se ha podido formular, hasta ahora, de un modo cierto para muchos fenómenos, y tanto respecto de las causas de éstos, como sobre la esencia de otras, se ha recurrido para explicarlas á hipótesis, que sirvan de guía y ayuda en las investigaciones, y que subsisten en tanto, cuanto no son contradictorias con los hechos.

En el estado actual de la Física, se tiene como causa inmediata de todo fenómeno, los movimientos de la materia. Pero estos movimientos sólo se han experimentado de un modo cierto, en la materia limitada ó cuerpos coercibles, y los efectos que sobre nuestros sentidos producen, son los de equilibrio ó traslación de las masas y los de sonido; pero como hay otros muchos efectos perceptibles por el tacto y la vista, que llamamos de gravedad, calor, luz y eléctricos, que evidentemente no proceden de movimientos de la materia coercible, toda vez que, entre otras razones, pueden realizarse en espacios vacíos de ella, se ha supuesto que existe una materia que no podemos limitar, ó sea determinarla en porciones definidas, aislar parte de ella, y por esto se dice incoercible, á la cual se llama Éter, y á cuyos movimientos en espacios más ó menos grandes, se atribuye el origen de los citados fenómenos.

Por esto y respecto de las causas inmediatas, se clasifican los conocimientos, hasta hoy conseguidos en la Física, en dos grupos, ó sea el de los Apodícticos ó ciertos, y el de los Hipotéticos ó sea inciertos respecto de la materia y modo de su movimiento que da origen á los fenómenos observados ó experimentados. Según esto, son Apodícticas las explicaciones sobre el equilibrio y movimiento de los cuerpos coercibles, sujetos á fuerzas determinadas, cuyos efectos se estudian en las partes de la Física que se llaman Mecánica y Acústica, y son Hipotéticas las teorías sobre el modo de actuar de la gravedad y de los fenómenos de calor, luz y electricidad.

También se clasifica á la Física, respecto del método con que procede en su exposición, en Experimental y Matemática, según toma sus principios de las experiencias, para elevarse generalizando á las leyes, ó según que por método sintético, admitiendo como ciertas las hipótesis, deriva de ellas por el análisis matemático los hechos que deben de realizarse en la práctica.

Se subdivide la Física experimental á su vez, en Elemental y Superior, siendo la primera la que se limita á mostrar los hechos sin entrar en los minuciosos procesos de sus medidas, y la segunda la que se ocupa de lleno de estos procedimientos y de sus resultados.

Por último; hay cierto orden de fenómenos, en los que el principal efecto de las fuerzas que en ellos actúan, es el de cambiar la composición de los cuerpos que entran en juego; y son tales hechos tan numerosos é importantes, que para su estudio se han agrupado en orden aparte, y se llama Química á la ciencia que de ellos se ocupa.

No son la Física y la Química ciencias separadas y sin enlace; los

efectos que una y otra estudian, son los que las fuerzas naturales producen en los cuerpos, en circunstancias determinadas; su distinción, cuando puede hacerse, estriba en si el efecto producido deja á los cuerpos con su misma composición de elementos, si son compuestos, y en su simplicidad si son simples, ó si altera estas condiciones; en el primer caso se llama el fenómeno del orden Físico, y en el segundo se agrupa en el de los Químicos.

Cualquiera que sean los fenómenos ó cambios que entre los cuerpos se determinen, la causa de ellos es, según se ha indicado, el movimiento de la materia, y esto supone la existencia de una fuerza; la esencia de éstas nos es desconocida, pero sí tenemos la noción cierta de que el efecto inmediato de las fuerzas es poner en distintos movimientos á la materia. Como éstos se nos revelan por los sentidos de muy distintos modos, y además tienen la facultad de combinarse entre sí y de cambiarse unos en otros, el estudio que hace la Física para explicar un fenómeno es distinguir qué materia se mueve y cuál es su modo de movimiento; por el mismo camino se dirigen las investigaciones de la Química, de manera que ambas pudieran llamarse ramas de la mecánica racional aplicada al estudio objetivo de los fenómenos naturales, partiendo de su aspecto subjetivo ó sea de nuestras sensaciones. De aquí la atención con que hay que analizar los fenómenos, porque aun en los que hemos llamado de explicación cierta, como son los de Acústica, en los que fácilmente se observa y experimenta que son debidos á los movimientos de los cuerpos coercibles, ¿cuán diferente es la percepción que tenemos como sonido, de la realidad del fenómeno consistente en millares de vibraciones pendulares por segundo, de multitud de cuerpos ó de sus partes? ¿Ni cómo se puede sospechar por la simple sensación todas las correspondencias entre las cualidades de los sonidos, y las diversas condiciones del movimiento vibratorio de los cuerpos, que con el estudio atento y el auxilio de los aparatos se ponen de manifiesto?

Pues más sorprendente es aún y más difícil de sospechar la realidad de los fenómenos de calor, luz y electricidad, relacionándolos con su percepción subjetiva. ¿Quién de primera intención podía prever que la impresión que tenemos del color rojo es en su realidad, cientos de billones de vibraciones por segundo de una materia sutil que llena todo el Universo; que si varía en el número de vibraciones, recibimos la impresión de otros colores; que si alarga su onda, la percibimos como calor, y si se alarga aún más, como efectos electro-magnéticos?

De lo dicho se infiere fácilmente que la causa inmediata real, que

en el orden mecánico del Universo da origen á los fenómenos, es muy distinta de las sensaciones mediante las cuales los percibimos, y cuán ingeniosos y exactos han de ser los métodos de análisis de los mismos, que constituyen el contenido ordenado de la Física.

Este orden del contenido de esta ciencia, parece imponerse de lo anteriormente dicho; si la Física es una rama de la mecánica racional, y supuesto que se conocen los principios fundamentales de esta ciencia matemática, parece lógico dar principio á su aplicación al estudio de los fenómenos entre los cuerpos, por la determinación de las leyes de su equilibrio y movimiento, prescindiendo de toda otra impresión en nuestros sentidos, aparte de la de su reposo ó movimiento, y bajo la acción de esa fuerza que en todo momento actúa sobre toda la materia coercible del Universo y que se llama gravitación; por esto se empieza el estudio de los elementos de Física experimental, por lo que se llama Estática y Dinámica de los sólidos, líquidos y gases, sujetos á la acción de la gravedad.

Dadas las condiciones generales del equilibrio y movimiento de los cuerpos graves, cualquiera que sea su estado, síguese la explicación de aquellos movimientos de los mismos que al llegar á nuestros sentidos, se nos revelan, no ya como tales traslaciones de masas, sino como sensaciones muy diversas, y entre éstas las de explicación más cierta son los de sonido. Por otra parte, la analogía de los movimientos de la supuesta materia incoercible, que origina las demás sensaciones, con los de la coercible, que dan origen á los sonidos, es tan íntima, que éstos han servido en muchos casos de guía y contraste en el estudio de los fenómenos de calor, luz y electro-magnéticos; por ambas razones, de certidumbre y campo de fácil ensayo del movimiento vibratorio, tiene la prioridad la exposición de la Acústica.

Síguense después los hechos que se llaman de la Física del Éter, ó debidos á los movimientos de la materia incoercible, y que por nuestras sensaciones decimos de calor, luz y electro-magnéticos; el orden establecido en su exposición, obedece á las teorías de sus causas inmediatas, y á los medios que tenemos que emplear para percibirlos. Así, que se exponen primero los de calor, después los de luz, y los últimos los electro-magnéticos, no sólo porque de las analogías entre ellos descubiertas se deduce que las ondas del Éter los originan, y que aumentando las causas de calor se producen generalmente los efectos de luz, sino que también se exponen primero los de calor y luz, porque careciendo los hombres de un sentido que directamente se impresione por las ondas electro-magnéticas, necesitan, para saber



que existen, que por su transformación originen alguno de los fenómenos de movimiento de las masas, sonido, calor ó luz perceptibles por nuestros sentidos.

Por último, en las investigaciones de la Física, sirve de guía y corroboración la ley general, del mutuo cambio y transformación de los movimientos, es decir, que en cuanto se origina el de una masa, inmediatamente que tiene que vencer alguna resistencia, el trabajo empleado para ello produce los efectos de aminorar el movimiento de la primera y originar movimientos equivalentes en los medios sobre que actúa; de aquí nacen dos condiciones esenciales de los fenómenos, que son: su complejidad y su equivalencia.

Quiere decir su complejidad, que hasta ahora no se ha observado ni experimentado, que un movimiento se transforme por entero en otro, sino en muchos otros de distintas clases, es decir, que un fenómeno da origen, no á otro solo fenómeno, sino á otros muchos; y quiere decir su equivalencia, que evaluados en las mismas unidades el trabajo del fenómeno causa, y los trabajos de sus efectos, los números que los representan son iguales.

Elevándose de estas consideraciones parciales al concepto mecánico del Universo, nos lo representamos antes de la existencia de toda energía, es decir, antes de todo movimiento, como un sistema de masas en reposo absoluto; en tal estado, ningún fenómeno podía ocurrir. Si una causa EXTERIOR al sistema, le dió un primer impulso, es decir, creó una fuerza que entre estas masas actuase, inmediatamente todo el sistema se puso en movimiento y se produjeron los fenómenos que llamamos traslación de masas, sonido, calor, luz, electro-magnéticos, químicos y quizá algunos otros que no percibimos, pero con tal armonía, entre todos, que en cada instante la suma de las masas existentes es igual á la totalidad primitiva, y la suma de las energías parciales de sus movimientos es igual á la energía total del primer impulso.

Esto es lo que se formula con el nombre de «Conservación de la materia y de la energía en el Universo», principio que rige en las investigaciones y modo de explicar los fenómenos materiales en la moderna Física.

## LECCIÓN 2.<sup>a</sup>

### Hipótesis atómica sobre la constitución de la materia

L. 19.  
Supuesto que toda acción entre los cuerpos es debida al movimiento de la materia, preciso es conocer la composición de ésta. *Materia* llamamos á todo lo que llena el Espacio y de alguna manera causa impresión en nuestros sentidos.

Respecto de su constitución íntima, nada se sabe de cierto, y sólo es dado establecer HIPÓTESIS.

La llamada atómica supone que todo el Universo está lleno de materia de dos especies, una *coercible*, llamada también ponderable ó pesada, y otra *incoercible*, llamada *Éter*, imponderable ó sin peso.

Entendiendo por materia *coercible* aquella que pesa, y se pueden aislar porciones determinadas de ella, encerrarla en vasos, condensarla y dilatarla; y por *incoercible*, aquella que no pesa y tan sutil que pasa á través de todos los cuerpos. Ambas están compuestas en sus últimos elementos de partículas pequeñísimas sin magnitud asignable, y de forma invariable ó inelásticas, que se llaman *átomos* ó *mólecúlas*. Estas dos materias se compenetran de tal modo, que el *Éter* baña y rodea por el exterior á todos los cuerpos del Universo, y en su interior á sus partículas coercibles, estableciendo así un lazo material de unión entre todos los cuerpos, tanto exterior como interiormente, pues se imagina al *Éter* por el interior de los cuerpos como al aire por entre las hojas de un árbol.

Respecto de las fuerzas que entre estas partículas existen, se supone que las de la materia coercible atraen á todas las demás, y que el *Éter* es muy elástico y de elasticidad variable según su diversa condensación. Como consecuencia de estos supuestos, se imagina que cada partícula coercible, está rodeada de una especie de atmósfera de *Éter* concentrada en dirección de su centro, ó sea cuanto más cerca está de la partícula: esto es lo que se quiere representar por la

(fig. 1.<sup>a</sup>), en la que el punto central ó núcleo blanco, es la partícula coercible, y los otros que le rodean son las del Éter. Al conjunto se llama una *Dynamida*.



Fig. 1.<sup>a</sup>

De modo que los cuerpos están compuestos, ó son conjuntos de *Dynamidas*, entre las cuales se realizan dos acciones de grande energía, si bien de pequeñísimo campo, que son: primera, una atracción de las partículas coercibles entre sí, en virtud de la cual, tratan de ponerse en contacto in-

mediato y condensan al Éter á su alrededor; y segunda, una oposición á que esto se realice originada por la elasticidad de las envolturas etéreas, que son las primeras que se tocan al tratar de aproximarse las partículas coercibles.

La repulsión por el choque y elasticidad de las envolturas, es tanto más enérgica, cuanto más tienden á aproximarse las partículas coercibles. De esta lucha ó antagonismo variable según muchas condiciones, conocidas y determinables unas, y otras desconocidas, resultan posiciones de equilibrio, más ó menos estables, entre las *dynamidas*, que constituyen los cuerpos: á estas posiciones de equilibrio estable en que se nos presentan se llaman *Estado de los cuerpos*.

Los estados de los cuerpos son tres, á saber: *sólido, líquido y gaseoso*, llamados también *Estados finales* y en *circunstancias ordinarias*.

En efecto, teniendo decisiva influencia en el equilibrio de las fuerzas atractivas y repulsivas entre las *dynamidas*, ciertos agentes mecánicos y físicos, llamados gravedad, presión, calor y electricidad (si bien poco conocida la influencia de este último), es preciso referirse á energías determinadas de estos agentes para fijar el estado de los cuerpos, porque todos, mediante intensidades suficientes de estas fuerzas, pueden afectar diversos estados, como fácilmente se ve por experiencia con el agua, por ejemplo. Por tanto, para fijar el estado de los cuerpos se ha convenido en atender á las condiciones de presión atmosférica y calor, por ser las más decisivas y conocidas, y decir que son *circunstancias ordinarias* respecto de la presión, la llamada *Normal*, al nivel del mar, que suele ser la que eleva á 760 milímetros la columna del barómetro, y respecto del calor el que eleva á 15°. C la columna del termómetro centigrado.

De modo, que al decir que el agua es líquida en circunstancias ordinarias, se quiere expresar que tiene ese *estado*, cuando la presión atmosférica y el calor son los anteriormente dichos.

Los tres estados enumerados, se llaman también *finales*, porque entre ellos y en las circunstancias ordinarias, hay una gradación en el modo de presentarse los cuerpos, que sería imposible de calificar si de apreciarlos todos se tratase, pues sabido es que en las circunstancias ordinarias hay cuerpos que es muy difícil clasificar de sólidos ó líquidos, y entre los líquidos los hay tan fluidos y sutiles que casi llegan al estado gaseoso.

Con estos antecedentes, los estados de los cuerpos se definen del modo siguiente:

*Sólidos* se llaman los cuerpos cuya forma y volumen son determinados, como, por ejemplo, un trozo de madera ó piedra.

*Líquidos* son los cuerpos que no tienen forma determinada, afectando la de las vasijas en que están contenidos, pero conservan su volumen: Así un litro de agua afecta todas las *formas* posibles de la vasija en que esté contenido, pero siempre tendrá de volumen un litro, conservadas que sean las circunstancias ordinarias.

*Gaseosos* son los cuerpos que no tienen forma ni volumen determinados, es decir, que pueden ocupar cualquier espacio, si una fuerza exterior á la que hay entre sus partículas no lo impide. Así un gas no sólo puede afectar todas las formas de las vasijas en que esté contenido, si que también se dilata y llena todo el espacio de cualquier otra vasija con la cual se le comunique, con tal de que esté vacía de otras dynamidas.

Las cualidades que caracterizan á los sólidos y líquidos son conocidas por experiencia diaria; la expansibilidad de los gases en los límites experimentales, fácilmente se puede hacer ver, poniendo una vejiga cerrada á medio llenar de aire, dentro de una campana de cristal, y extrayendo el aire de ésta se ve que la vejiga se hincha y aumenta de volumen por la expansibilidad no contrariada de su gas interior, si en la campana se deja penetrar el aire exterior (cuyo hecho á su vez prueba la expansibilidad del aire exterior) vuelve la vejiga á su primitivo volumen, por la presión atmosférica del que penetra.

En resumen, los tres estados finales de los cuerpos se caracterizan bien, por la persistencia de forma y volumen en los sólidos, la variabilidad de forma, aunque persistiendo el volumen en los líquidos, y la variabilidad de ambas condiciones en los gases.

La hipótesis de las dynamidas se acomoda á estos hechos, con

nuevos supuestos que llama explicaciones y que á falta de otras más satisfactorias se admiten como consecuencias lógicas.

En realidad, y admitiendo la constitución de la materia pesada por conjuntos de dynamidas, lo que ocurre es que cada cuerpo es un sistema de puntos materiales, sometido á un sistema de fuerzas que llegan á un estado de equilibrio para cada grado de intensidad, principalmente del calor y presión sobre las dynamidas.

Y como se ha observado que los cuerpos sólidos en circunstancias ordinarias resisten (más ó menos, por causa también desconocida, este más y menos y que se llama naturaleza de los cuerpos) la separación de sus dynamidas (rotura) y su aproximación (condensación), se ha dicho «el equilibrio entre las fuerzas atractivas y repulsivas de las dynamidas en los sólidos es *estable* respecto de la distancia y posición de éstas».

En los líquidos, se ha visto que tienen tal movilidad de posición sus dynamidas, que no resisten al agente constante gravedad, y si no se contuviesen por la rigidez de las vasijas, tomarían la forma de una superficie esférica sobre el obstáculo que les impidiese llegar al centro de atracción, por la razón mecánica de las superficies equipotenciales de las fuerzas centrales. Por otra parte, resisten con grande energía la condensación por medios mecánicos, no así su separación, y conforme con esto se dice: «en los líquidos las fuerzas atractivas y repulsivas entre sus dynamidas están en equilibrio indiferente respecto á posición, pero no respecto á distancia».

Por último, en los gases la posición es indiferente y la distancia tiende á aumentar, y se dice: «en el estado gaseoso las fuerzas atractivas entre las dynamidas son menores que las repulsivas».

## LECCIÓN 3.<sup>a</sup>

### Cualidades generales de los cuerpos

L. 20.  
Los cuerpos, ó porciones limitadas de materia, cualquiera que sea su estado, ofrecen propiedades comunes, tan esenciales, que no concebimos su existencia, si los considerásemos despojados de alguna de ellas.

A éstas se llaman *cualidades generales*, y son:

1.<sup>a</sup> **Impenetrabilidad.**—*Un mismo espacio no puede concebirse ocupado á la vez por dos masas ó cuerpos.* Esta exclusión que hace un cuerpo respecto de los demás para ocupar á un tiempo un mismo espacio, se llama *impenetrabilidad*. Los ejemplos de aparentes penetraciones son meras desviaciones de la masa de los cuerpos.

2.<sup>a</sup> **Extensión é instrumentos que sirven para medirla.**—No se concibe la existencia de la materia sin que ocupe lugar en el espacio, esta cualidad se llama su **EXTENSIÓN**. La Geometría enseña á evaluar las extensiones.

**Aparatos micrométricos.**—*Llámanse así todos los instrumentos destinados á estimar exactamente, ó con un error menor que una cantidad conocida, extensiones muy pequeñas.*

Los tres mecanismos más comunes para estas medidas son: el **NONIUS**, el **TORNILLO MICROMÉTRICO** y el **CATETÓMETRO**.

El primero, y auxiliar de todos los demás, llamado **Nonius**, (por haberlo inventado el español Núñez) tiene por objeto *apreciar extensiones longitudinales, menores que las últimas divisiones de la regla que se emplee*; tal estimación con el *Nonius*, puede ser exacta ó aproximada en menos de una unidad fraccionaria dada, de las últimas divisiones de la regla.

*Construcción y Principio fundamental del Nonius.*—Consiste el Nonius en una regla pequeña que puede deslizarse á lo largo del borde graduado de aquella á que se aplica; su principio fundamental es que ha de tener de largo tanto como  $(n - 1)$  divisiones de las últimas de la regla, y además se ha de dividir en  $n$  partes iguales; siendo  $\frac{1}{n}$  la fracción que exprese el grado de aproximación ó límite del error que se consigue, por ejemplo: si á un metro dividido en milímetros se ha de adjuntar un Nonius que aprecie hasta  $\frac{1}{10}$  de milímetro, ha de tener de largo el Nonius  $(10 - 1) = 9$  milímetros, y esta longitud se ha de dividir en 10 partes iguales.

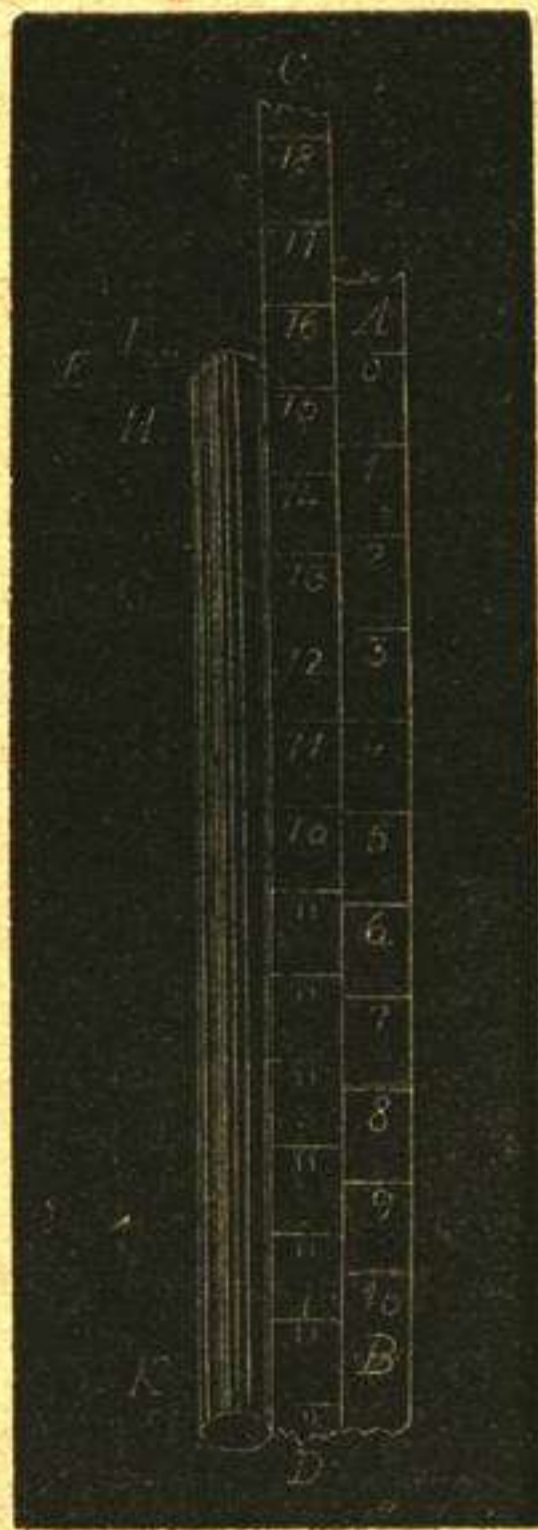


Fig. 2.<sup>a</sup>

*Modo de usar el Nonius.*—Se hace correr el Nonius (fig. 2.<sup>a</sup>) hasta que su raya marcada *cero* llegue al extremo de la longitud que se mide, y entonces se averigua cuál raya del Nonius *coincide ó está más cerca* de una de las de la regla; el número de esta raya indica *cuántas unidades de la especie*  $\frac{1}{n}$  *tiene la parte de la longitud que no se puede apreciar con la regla sola.* En el caso de no coincidencia perfecta, este número expresa la medida aproximada en menos de  $\frac{1}{n}$  de la última división de la regla.

*Observaciones.*—1.<sup>a</sup> La no coincidencia de una de las rayas del Nonius con alguna de la regla, ocurrirá siempre que la extensión que se mide no sea un múltiplo entero de la longitud  $\frac{1}{n}$  de las últimas divisiones de la regla.

2.<sup>a</sup> Los Nonius tienen un límite por las dificultades de construcción y de observación. Cuando se lleva su alcance á longitudes pequeñas, se usa para las observaciones de

Lentes á propósito para aumentar las imágenes y poder observar las coincidencias y numeración de las rayas.

3.<sup>a</sup> El mecanismo del Nonius es aplicable bajo idénticos principios en su construcción y uso á los bordes circulares ó limbos

graduados con que se evalúan los arcos de circunferencia de círculos; en tales casos la aproximación puede llevarse á límites más pequeños, porque las dificultades de construcción se evitan aumentando el radio de los limbos.

**Tornillo micrométrico.**—(Fig. 3.<sup>a</sup>) En todo tornillo, por una vuelta

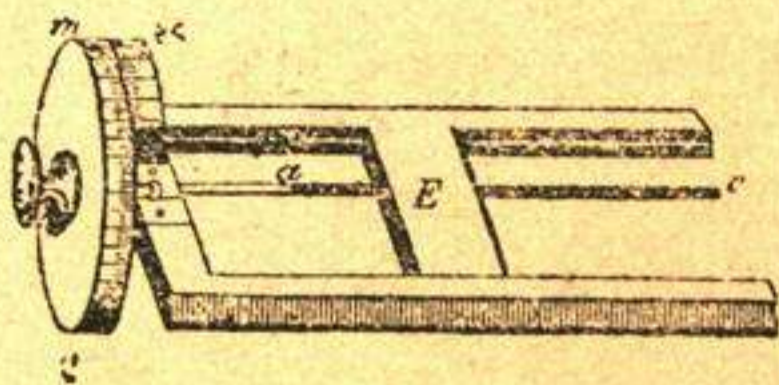


Fig. 3.<sup>a</sup>

que dé la cabeza, adelanta la punta ó la tuerca (según sea fija ó movable) un paso de la rosca; si, pues, tal paso es de un milímetro, adelantará un milímetro por una vuelta completa, y es claro, que por media vuelta ó 180° de giro de su

cabeza, sólo adelantará  $\frac{1}{2}$  mm y por  $\frac{1}{10}$  de vuelta, sólo adelantará

$\frac{1}{10}$  mm. Se concibe que fundado en esto se puedan estimar longitudes muy pequeñas.

**Construcción.**—Generalmente los tornillos micrométricos son de tuerca fija, y la cabeza de tamaño conveniente para graduar su borde en grados; además, unida rígidamente á la montura y tocando con el borde graduado de la cabeza, hay una pieza fija que sirve de punto de comparación y Nonius para apreciar el giro que ha sufrido aquélla.

Se emplea este micrómetro generalmente para estimar espesores de láminas delgadas, ó las flechas de lentes esféricas ó cilíndricas, y entonces se le suele llamar *esferómetro*.

También se usa en los instrumentos de precisión, para aproximar unas á otras, las piezas de su mecanismo que exigen ser movidas recorriendo longitudes pequeñísimas.

En tales casos, más que un micrómetro, es una pieza auxiliar; claro es que aun entonces puede emplearse para medir los espacios recorridos por las piezas que aproxima, sirviendo á la vez de mecanismo auxiliar y de micrómetro.

Toda la exactitud estriba en que la rosca tenga igual paso en todas sus espiras, lo cual es muy difícil de conseguir aun en la más cuidadosa construcción.

**Catetómetro.**—Es el instrumento que *tiene por objeto estimar la diferencia de altura entre dos puntos, ya estén ó no situados en la misma vertical*. Generalmente se emplea para estimar la altura de una columna líquida,



*Construcción.*—Consiste en un árbol cilíndrico (fig. 4.<sup>a</sup>), á cuyo largo se desliza un anteojo que se puede poner á voluntaria altura en un plano vertical cualquiera, para lo cual en los más modernos se verifica el giro del anteojo sobre un eje de acero que atraviesa por el interior del árbol.

La montura del anteojo consiste en dos anillas ó abrazaderas, G é I que se aproximan ó separan por medio de un tornillo I H de paso muy corto; la inferior I se puede fijar al árbol por un tornillo de presión; la superior sostiene una especie de horquilla, en cuyas ramas va sentado un anteojo DE, cuyo objetivo está cruzado con dos hilos delgados que se cortan en su centro óptico. La horquilla puede girar en el plano vertical en que está, cuyo movimiento se regula por otro tornillo E; debajo del anteojo, y también en la horquilla, hay un nivel cuyo eje es paralelo al de aquél.

El árbol va sólidamente montado sobre tres pies de mucho peso, para su estabilidad, atravesados de tornillos calantes, y con dos niveles de burbuja de aire.

*Uso.*—Supuesto bien construído el instrumento, para usarlo, se ha de colocar primeramente sobre un pilar de material profundamente cimentado é independiente de la

trabazón de los muros y pavimentos, á fin de evitar las trepidaciones que en otro caso sufriría; y para más precaución, se pone sobre el pilar una plancha metálica dura, para que los tornillos calantes no penetren en ella: después se procede del modo siguiente: 1.<sup>o</sup>, se hacen coincidir el eje óptico y geométrico del anteojo: 2.<sup>o</sup>, se contrasta el paralelismo entre el eje del anteojo y el del nivel que tiene debajo: 3.<sup>o</sup>, se pone perpendicular el eje del anteojo al de rotación del árbol: 4.<sup>o</sup>, se pone vertical el eje del árbol.

Conseguido todo esto, si dos puntos de distinto nivel están en el mismo azimut (ó plano vertical), se dirige una visual á cada uno de ellos, y como generalmente tienen al lado una escala, la diferencia entre las lecturas, da la que se busca; si no están en el mismo azimut se hace girar convenientemente el plano del anteojo.

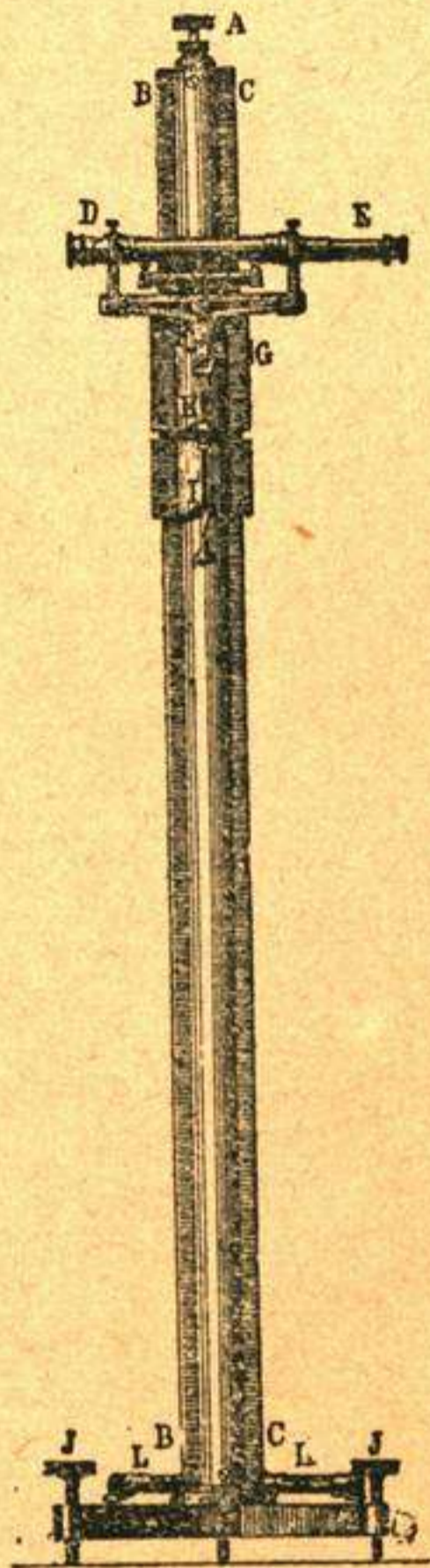


Fig. 4.<sup>a</sup>

*Observación.*—El catetómetro es uno de los instrumentos de precisión, más difíciles de manejar, y que mal manejado induce á groseros errores.

3.<sup>a</sup> **Divisibilidad.**—*Todos los cuerpos pueden ser divididos mecánicamente en partes idénticas en su esencia material.* La divisibilidad de los cuerpos por este medio no es infinita, por más que se pueden citar numerosos ejemplos de una sorprendente división. Tales son los que ofrecen las materias colorantes ó las láminas de los metales maleables, los cuerpos olorosos y otros ejemplos.

4.<sup>a</sup> **Movilidad.**—Llámase así á la propiedad que tienen todos los cuerpos de poder ser variados de lugar por causas exteriores suficientes. En la mecánica se han estudiado los efectos de estas causas llamadas fuerzas.

5.<sup>a</sup> **Porosidad.**—La variación de volumen, es decir, *el aumento ó disminución del espacio que ocupa un cuerpo* es propiedad general de éstos, y que se demuestra al tratar del calor. Esta propiedad exige que las partículas no estén en los cuerpos en inmediato y perfecto contacto, sino separadas por espacios ocupados por las envolturas etéreas de sus partículas.

*Los espacios entre las partículas en los cuerpos se llaman poros; y como todos los cuerpos tienen estos espacios, claro es que todos son porosos.*

*Vulgarmente se llaman poros de los cuerpos, aquellos espacios ó intersticios de suficiente magnitud para que los más fluidos los atraviesen.* En este sentido estricto, todos los cuerpos no son porosos, y no sería la porosidad cualidad general de los cuerpos.

6.<sup>a</sup> **La variación de volumen ó sea compresibilidad.**—Llámase así la propiedad de los cuerpos de reducirse á menor volumen sin variar su estado físico, cuando sobre ellos actúan fuerzas adecuadas: estas fuerzas, por su efecto, se dice que ejercen *presión* sobre los cuerpos. La compresión se comprende por la disminución de los espacios intermedios entre las moléculas ó átomos, no de otra manera sería compatible esta propiedad con la de impenetrabilidad de la materia.

El grado de compresibilidad de los cuerpos es dependiente de su estado físico; así es mayor en los gases que en los sólidos, y en éstos que en los líquidos.

**Dilatabilidad.**—También ciertas causas (principalmente el calor) producen en los cuerpos un crecimiento de volumen sin variar su estado; esto se explica por el aumento de distancia entre sus moléculas ó átomos, debido en la repulsión de sus envolturas.

El estado de los cuerpos determina también el mayor ó menor grado de su dilatabilidad. Así, por ejemplo, los gases son los más dilatables, y basta la menor diferencia de presión en los límites del recinto que ocupan, para que aumenten de volumen: los sólidos siguen después en la facultad de dilatarse sin cambiar su estado, y por último los líquidos.

Manuel Diaz y Gutierrez

Manuel Diaz y Gutierrez

Manuel Diaz y Gutierrez



# LECCIÓN 4.<sup>a</sup>

## Cuerpos sólidos

L. 21.

Los sólidos se caracterizan: 1.º, por ser necesario un refuerzo para separarlos en partes: 2.º, por la determinación de su forma y volumen.

**Fuerzas moleculares en los sólidos.**—La atracción de la materia cuando se considera entre las partículas de los cuerpos, y á la pequeñísima distancia á que actúa, se llama fuerza molecular. Sus efectos son muy variados é importantes, y refiriéndonos por ahora á los sólidos, se conocen con los nombres de Cohesión, Adherencia, Afinidad, Tenacidad, Elasticidad, etc. De éstos trataremos los más importantes.

Ante todo y respecto de la esfera de acción de las fuerzas moleculares, se ha deducido de las observaciones en la condensación de los gases y vapores sobre los sólidos, que el valor máximo de la distancia á que se manifiestan las fuerzas moleculares, está entre 1500 y 1300 Micromilímetros. Sabido es que con este nombre se expresa 0,000001 de milímetro y que simbólicamente se escribe  $\mu\mu$ .

En estas investigaciones se llama diámetro de las moléculas, á la mitad de la distancia entre los centros de dos que chocan. Según W. Thomson, en los líquidos homogéneos, la distancia media entre los centros de sus moléculas, oscila entre 0,07 Micromm. y 0,02 Micromm. Para las partículas del Hidrógeno se ha calculado por tres modos distintos que su distancia es de 0,11 á 0,14 Micromm.

**Cohesión.**—Con este nombre se designa el efecto de la atracción entre las dynamidas de los cuerpos. Sabemos que en los sólidos origina en las circunstancias ordinarias su permanencia de forma y volumen, y la necesidad de un esfuerzo, más ó menos grande para vencer esta fuerza, ó sea para deformarlos ó romperlos. Esta diferencia de esfuerzo, que la experiencia nos muestra á cada momento, porque no se rompe con la misma facilidad una barra de hierro que una de

arcilla de análogas dimensiones, prueba que la cohesión se modifica con la naturaleza de los cuerpos, ó sea por causa desconocida para nosotros.

De todas suertes, las leyes de la atracción de las dynamidas en el campo pequeñísimo en que se ejercen, son las mismas que formuló Newton respecto de las grandes masas, como nuevamente ha corroborado Wohl. Con la particularidad de que esta acción, á distancia tan inexplicable como la que ejercen los astros entre sí, sólo se manifiesta cuando las dynamidas están dentro de ese restringido campo de acción.

En los líquidos, la cohesión es muy corta, pero al fin existe, como lo prueban las gotas que de ellos se forman y las membranas que se observan en su salida por orificios ó tubos.

En los gases, la cohesión no se manifiesta, sino la contraria propiedad según se ha dicho al hablar de su expansibilidad.

**Adherencia.**—Es la fuerza que tiende á unir las partículas heterogéneas ú homogéneas de los cuerpos que se ponen en contacto inmediato; por ejemplo: dos láminas pulimentadas de plomo que se ponen en contacto por sus caras, ó una de plomo y otra de estaño, se adhieren de tal modo, que su separación puede llegar á ser imposible sin romperlas: el polvo que se queda pegado á las paredes y techo de las habitaciones, y otra porción de hechos, muestran la existencia de esta fuerza, entre sólidos de la misma ó diferente composición química. No menos perceptiblemente se muestra la adherencia por el contacto, entre sólidos y líquidos ó semilíquidos; así una lámina de cristal puesta sobre mercurio ó agua parece que se pega, y es necesario un esfuerzo para separarla; una gota de un líquido suspendida de un sólido, venciendo así la fuerza de gravedad, es un ejemplo de adherencia; la energía de la adherencia entre sólidos y semifluidos, cuando éstos se hacen sólidos, muéstrase también en los pegantes y betunes.

**Elasticidad.**—Si las partículas de un sólido han sido sacadas por una fuerza que obra sobre ellas de su posición simultánea de equilibrio, pero no de un modo tal que se haya roto este estado, *vuelven por sí á su primitiva posición* cuando cesa la fuerza que sobre él actúa. Esto es lo que se llama *elasticidad*. Esta propiedad es la que da á conocer que el equilibrio entre las partículas de los sólidos es estable, pues sólo en este caso es cuando puede verificarse la vuelta á él, una vez que cesa la fuerza que dentro de ciertos límites lo altera.

Todos los sólidos no gozan de esta propiedad en el mismo grado, pues los hay tales como la goma elástica, el acero, marfil y otros en

que las partículas recobran de un modo casi perfecto su primitiva posición aun después de un gran esfuerzo.

Pero hay otros como el plomo, vidrio, etc., que son elásticos en menor grado, pues no pueden experimentar sino muy pequeñas separaciones de sus partículas sin romper su equilibrio.

Las alteraciones de situación de las partículas pueden efectuarse por *Tracción, Presión, Flexión y Torsión*.

Se llaman cuerpos duros aquellos en que se necesita una cierta fuerza para cambiar de posición sus moléculas. Hay cuerpos duros y elásticos como el acero, y cuerpos duros poco elásticos como el cristal.

Cuerpos blandos son los que permiten que sus moléculas cambien de situación con un corto esfuerzo. También los cuerpos blandos pueden ser muy elásticos, como lo es la goma elástica, y otros tener muy poca elasticidad, como sucede con la arcilla húmeda.

El estado físico de algunos cuerpos que en más ó menos grado tienen la consistencia de una masa blanda ó de papilla, ya hemos dicho que se considera como intermedio entre el sólido y líquido, de que más adelante hablaremos.

Cuando las partículas de un cuerpo han sido forzadas á rebasar su límite de elasticidad, puede acontecer, ó que cese su mutua dependencia, ó que las partículas se dispongan en un nuevo estado de equilibrio estable. En el primer caso se dice que se *quiebra* y en el segundo que es *dúctil*. La forma de los cuerpos quebradizos no se puede alterar por presión ó choque, y cuando estas causas exteriores rebasan ciertos límites, el cuerpo se rompe: la forma de los cuerpos ductiles puede variar empleando ciertas causas mecánicas y conservan la nueva que se les hace tomar, como acontece en el estiramiento para la fabricación de los alambres y en la presión para acuñar la moneda. Una barra de acero endurecido se rompe cuando se la dobla más allá de cierto límite, y una de plomo queda doblada.

**Coefficiente y módulo de elasticidad.**—Para medir el alargamiento que sufre un alambre cuando se estira por un peso que no excede de su límite de elasticidad, y que por tanto, lo alargan sin

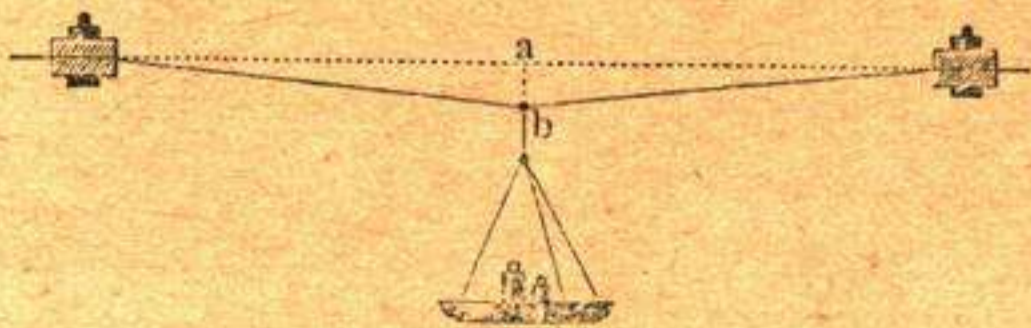


Fig. 5.<sup>a</sup>

romperlo, se emplea el método de Gravesande, el cual consiste (fig. 5.<sup>a</sup>) en poner el alambre sometido á la experiencia, horizontal y tirante por medio

de dos pinzas firmes y apretadas por tornillos; del centro del alambre

se cuelga un platillo donde se ponen los pesos y se mide la distancia  $ab$  que baja de la horizontal, con cuyo dato y la longitud primitiva

es fácil calcular el alargamiento. Tal es el método para alambres delgados.

Para barras gruesas se usa del método directo debido á Wertheim, que consiste en sujetar la barra que se ensaya por uno de sus extremos (fig. 5.<sup>a</sup>-2.<sup>a</sup>) de un pescante de hierro; en el otro lleva un gancho que sostiene una caja donde se colocan los pesos que la han de estirar: si sobre la barra se marcan dos puntos  $a$  y  $b$ , cuya distancia se mide exactamente antes, y durante la carga, por medio de un catetómetro, se deducen las siguientes leyes:

El alargamiento de la barra es directamente proporcional.

1.<sup>o</sup> á los pesos colgados; 2.<sup>o</sup>, á la longitud de la barra; 3.<sup>o</sup>, inversa de su sección.

La proporcionalidad entre el alargamiento y el peso colgado se verifica en los alambres en espiral, y en este principio



Fig. 6.<sup>a</sup>

se fundan las balanzas de resorte, de alambres fuertes de acero, construídas para el uso diario de la vida, una de ellas se representa por la (figura 6.<sup>a</sup>), en la cual el peso obra por presión, y que ahorramos describirla, pues conocido su principio, basta la inspección de la figura para comprender su uso.

Otra forma de estas balanzas es la que representa la (fig. 7.<sup>a</sup>), que consiste en una tira de acero:  $abcdf$  de unos 2<sup>mm</sup> de grueso y de 10 á 14<sup>mm</sup> de ancho, doblada en la forma particular que indica la figura y que lleva en  $f$  el punto de giro de la palanca índice,  $fh$ . Esta palanca descansa en el borde inferior de un apéndice puesto en

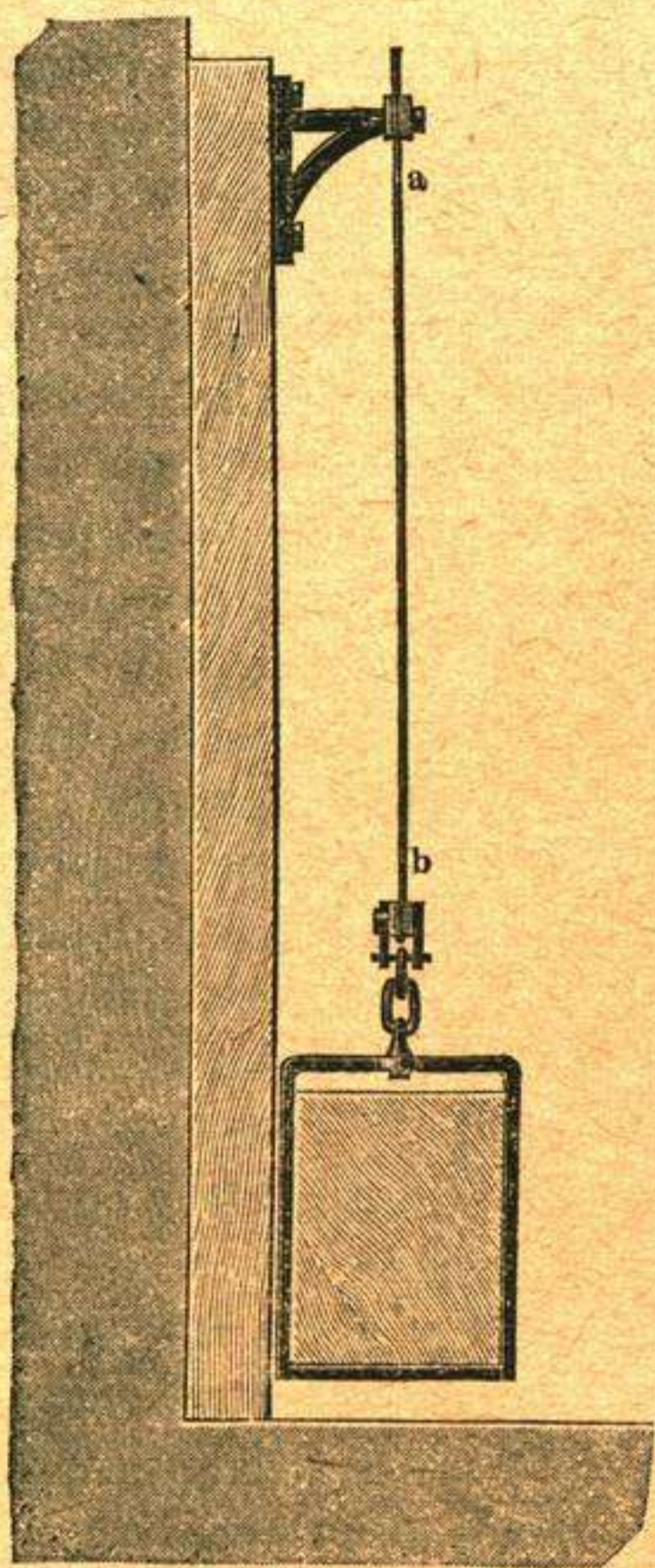


Fig. 5.<sup>a</sup>-2.<sup>a</sup>

*ba.* Su extremo libre está dividido en dos partes ó ahorquillado de manera que una rama sirve de índice en la escala de delante y la otra en la escala de detrás, trazada sobre una chapa, empíricamente. Los pesos pequeños se cuelgan del gancho C suspendiendo el aparato por el anillo A. El peso colgado en C hace bajar el punto *f* y con esto el extremo libre *h* de la palanca índice se levanta, y tanto más cuanto más pesa lo colgado en C; la lectura del punto que señala en la escala da su peso. Cuando se quieren pesar objetos más pesados se cuelgan del gancho D y todo el aparato del anillo B.

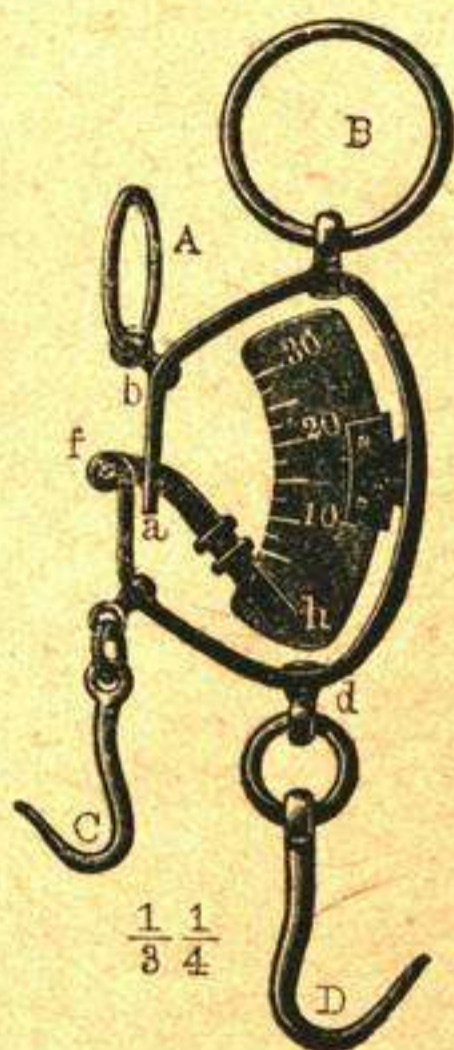


Fig. 7.<sup>a</sup>

En las balanzas de resorte (sea cualesquiera su figura) el peso del cuerpo (que depende de la fuerza de gravedad), es contrarrestado por la elasticidad del resorte, la cual es independiente de la fuerza de gravedad: así para un

mismo cuerpo, las indicaciones de estas balanzas deben de ser diferentes, si la intensidad de la gravedad varía.

Así, por ejemplo, un mismo peso que en la tierra señalase en las balanzas (figs. 6.<sup>a</sup> y 7.<sup>a</sup>) el número 6, transportado el cuerpo y la balanza á la Luna, señalaría 1.

**Elasticidad por Torsión.**—La elasticidad por Torsión se ensaya sujetando un alambre ó barra por un extremo y por el otro aplicando una fuerza que tienda á hacerlo girar alrededor de su eje: las partículas sufren aquí una separación que origina la fuerza elástica que tiende á volverlas á su primer estado de equilibrio. Para las experiencias se usa de la disposición, que consiste en unas pinzas que sujetan firmemente por su extremo superior la barra y en el inferior otras pinzas con un peso y dispuestas para hacerlo girar un ángulo determinado: hecho esto, si se suelta la barra, vuelve á su posición primera, pero no llega á ella y se queda quieta, sino que en virtud de la inercia pasa de la posición de equilibrio al otro lado, de donde viene, y al gastar en este trabajo su energía vuelve otra vez á la posición de equilibrio, entablado así una serie de movimientos alternativos (cada vez menores por los rozamientos y el peso que lo estira) á un lado y otro de su posición de equilibrio hasta quedar en reposo en ella.

Con respecto á la fuerza de Torsión, se tienen las siguientes leyes:



1.<sup>a</sup> La fuerza de Torsión es proporcional al ángulo de giro.

Así, cuando al extremo inferior del alambre se le ha hecho girar un ángulo de  $2n, 3n, 4n \dots$  grados de su posición de equilibrio, la fuerza de Torsión desarrollada es 2, 3, 4... veces mayor que si el ángulo hubiera sido de  $n$  grados. De esta ley resulta que la duración de las oscilaciones es independiente de la magnitud que se haya dado al giro, bajo el supuesto de que no se rebase el límite de elasticidad.

Coulomb, que estudió particularmente las propiedades de la elasticidad por Torsión, fundó la construcción de su balanza de Torsión en esta propiedad anterior.

2.<sup>a</sup> La fuerza de Torsión es independiente de la extensibilidad del alambre.

3.<sup>a</sup> La fuerza de Torsión es inversamente proporcional á la longitud del alambre.

**Medios y sus resistencias.**—Los sólidos al moverse, como no lo hacen en espacios vacíos de materia, sino regularmente á través del aire ó del agua, tienen que vencer la resistencia que les ofrece la separación y desvío que han de ir efectuando de las partículas líquidas ó gaseosas del cuerpo fluido á cuyo través pasan.

Como reglas generales para evaluar estas resistencias, se tienen:

1.<sup>o</sup>) *Que es proporcional á la densidad del Medio.*

2.<sup>o</sup>) *Que es proporcional á la magnitud de la superficie, con la cual el cuerpo actúa para desviar las partículas fluidas, y por tanto ó la forma del cuerpo: así con más facilidad se moverá á través de los fluidos un cuerpo que les presente para desviar sus partículas, una punta ó línea recta, que el que actúe mediante una cara plana ó cóncava.*

3.<sup>o</sup>) *Que es proporcional al cuadrado de la velocidad del cuerpo que se mueve: así á doble ó triple velocidad de un mismo cuerpo á través del mismo medio, la resistencia ofrecida por éste es cuatro ó nueve veces mayor.*

Esta ley es exacta para pequeñas velocidades, pues para los movimientos muy rápidos, la resistencia crece aun en mayor relación; así es tal la resistencia del aire, por ejemplo, á una gota de lluvia que cae de 600 metros de altura, que debiendo de ser la velocidad final de ésta al llegar al suelo de 109 metros por segundo si cayese en el vacío, por caer en el aire, apenas llega á la Tierra con la de 11 metros.

## LECCIÓN 5.<sup>a</sup>

### Choque

9.22.  
Llámase CHOQUE la *mutua reacción que tiene lugar en el contacto instantáneo de dos cuerpos, de los cuales uno por lo menos está en movimiento.*

El Choque se llama RECTO, cuando la dirección del movimiento es perpendicular al plano de contacto de los cuerpos que chocan; en el caso contrario se llama OBLICUO.

También se llama CENTRAL, cuando la dirección del movimiento pasa por el centro de gravedad de las masas chocantes: en el caso contrario se llama EXCÉNTRICO.

En cuanto al proceso ó esencia del choque se solía explicar diciendo que al chocar los cuerpos, se comprimen y aplanan alterando la velocidad de sus movimientos progresivos, pero que en virtud de la deformación, entran en juego las fuerzas elásticas que empiezan á actuar en cuanto el centro del sistema que juntas forman, toma la velocidad común, originando entonces la variación de sus velocidades hasta ocasionar el salto ó separación lateral de los cuerpos chocantes.

Según este modo de ver, el proceso del fenómeno tenía dos partes; la primera el cambio de la energía *cinética* de las masas, en energía *potencial* ó fuerza elástica; la otra parte, que era la segunda, mitad del proceso, consistía en el cambio de la fuerza elástica en energía *cinética*.

La dificultad con que tropezó esta explicación, fué al tratar del choque de los cuerpos duros, absolutamente invariables ó *inelásticos*, y aunque se dijo que tales cuerpos invariables no existen, experimentables; pero al llegar á considerar la fuerza elástica, respecto de los átomos, hubo que, ó considerar á éstos como de forma variable, ó que abandonar la explicación del proceso del choque por las fuerzas elásticas. Este último camino es el que toman los modernos investigadores, que consideran á la elasticidad como un arte del movimiento y tratan de explicar todos los fenómenos de choque, por el de los cuerpos *duros inelásticos*.

Prescindiendo en estas nociones del análisis de los principios en que se fundan estas teorías, y limitándonos al examen de los efectos del choque de los cuerpos, este estudio puede hacerse elementalmente por el cálculo y la experiencia, y nos limitaremos á los casos más sencillos, que son los en que los cuerpos chocan recta y centralmente y tienen la forma esférica.

Empezando por el choque de los cuerpos *duros inelásticos*, el cálculo enseña que si se llaman  $m$  y  $m'$  las masas de dos cuerpos que van en el *mismo sentido* (que consideramos positivo), con las velocidades respectivas  $v$  y  $v'$  y se alcanzan, como llevan las cantidades de movimiento  $mv$  y  $m'v'$ , la velocidad  $V$ , del sistema que al juntarse forman, se deduce de que «lo que uno gana en movimiento, ha de ser igual á lo que el otro pierde, toda vez que en los cuerpos inelásticos absolutamente, no haya deformación ni pérdidas en otros efectos. Así, pues, si  $v > v'$  la velocidad  $V$  estará entre  $v$  y  $v'$ , por tanto  $m$  perderá  $(v - V)$  y  $m'$  ganará  $(V - v')$ ; la ecuación será pues  $m(v - V) = m'(V - v')$ , de donde  $V = \frac{mv + m'v'}{m + m'}$  (1); si ahora suponemos

que  $m = m'$  será  $V = \frac{1}{2}(v + v')$  (1), si  $v'$  fuese de signo contrario á  $v$ , es decir, el movimiento fuese en sentido contrario, sería  $V = \frac{1}{2}(v - v')$  — (2): si  $v' = 0$ , es decir, la segunda masa está en reposo y sólo se mueve la  $m$  con la velocidad  $v$ , la fórmula daría  $V = \frac{1}{2}v$  — (3); por último, si  $v = -v'$  se tiene  $V = 0$  — (4).

La traducción de estas fórmulas es:

1.<sup>a</sup> La velocidad del sistema común (es decir, del que forman juntas las dos bolas) *cuando las masas son iguales y ambas se mueven en el mismo sentido, es igual á la semisuma de las velocidades elementales* (fórmula 1).

2.<sup>a</sup> La velocidad del sistema común, *cuando los sentidos de sus movimientos son opuestos, es igual á la semidiferencia de las velocidades elementales y en sentido de la mayor* (fórmula 2).

3.<sup>a</sup> *La velocidad del sistema, cuando una de las masas está en reposo, es igual á la mitad de la que traía la que se mueve y en su mismo sentido* (fórmula 3).

4.<sup>a</sup> *Si las masas iguales tienen velocidades iguales, pero en sentidos opuestos, el sistema queda en reposo después del choque* (fórmula 4).

Estas deducciones teóricas se corroboran por las experiencias que

se disponen colgando bolas de arcilla humedecida con glicerina y de unos 50 gramos de peso, de un doble hilo que se suspende á los ganchos de un marco rectangular que está horizontal, de modo que las dos bolas que se suspenden quedan juntas á igual altura y á manera de péndulo.

1.<sup>a</sup> *experiencia*: Si se levantan ambas bolas, un poco separadas y hacia el mismo lado, y se dejan caer, se alcanzarán, y después del contacto marcharán unidas, con una velocidad intermedia entre las de ambas (fórmula 1).

2.<sup>a</sup> Si se levantan ambas bolas en sentidos opuestos y arcos desiguales, se ve que después del choque marchan unidas, en el sentido de la que traía mayor velocidad, y más despacio que cuando chocaron en el mismo sentido.

3.<sup>a</sup> Si una de las bolas se deja en reposo (posición vertical) y la otra se levanta un cierto arco, la velocidad de ambas después del choque es  $\frac{1}{2}$  de la que traía la que chocó, y la altura vertical del arco á que suben juntas es  $\frac{1}{4}$  de la que tenía el que recorrió la chocante.

4.<sup>a</sup> Si se levantan ambas bolas en sentidos opuestos, igual arco y se dejan caer al mismo tiempo, se observa que después del choque queda el sistema de ambas en reposo (fórmula 4); sus movimientos se anulan como energía cinética, transformándose en calor.

Estas leyes tienen su aplicación en los martillos, pilones, arietes, martinetes, péndulos balísticos y otros aparatos y máquinas.

4.33. Con respecto al choque de los cuerpos elásticos, en ellos hay una deformación instantánea y una reacción elástica que origina el salto de ambos ó de uno de ellos, cuyas leyes se calculan teóricamente como sigue:

Sean (fig. 8.<sup>a</sup>) A y B dos esferas *elásticas* que van en el mismo sentido y se alcanzan: en



Fig. 8.<sup>a</sup>

el instante que cesa su mutua compresión y se igualan sus velocidades elementales, actúa la elasticidad, reaccionando una contra otra en el lugar del contacto igualmente que si se verificara un nuevo choque; cada esfera al recobrar su forma, devuelve á la otra (en el caso de cuerpos perfectamente elásticos) el mismo choque que, como compresión, recibió de ella;

según esto, la cantidad de movimiento que pierde A de masa  $m$  y velocidad  $v$ , al chocar con B, de masa  $m'$  y velocidad  $v'$  y mientras dura la deformación  $m(v-V)$  ( $V$  es la velocidad después del choque).

Además, en cuanto cesa la deformación B, devuelve á A y en *sentido opuesto* la misma cantidad de movimiento, luego en suma, A pierde  $2 \times m(v-V)$ , luego su velocidad cuando acaba el choque es  $Z = v - 2(v-V)$ : por análogas razones B pierde  $Z' = v' - 2(V - v')$  y poniendo en estas fórmulas los valores de  $V$  deducidos en las anteriores, en función de  $v$  y  $v'$  y suponiendo que  $m = m'$  resulta  $Z = v'$  y  $Z' = v$ , es decir, que las bolas *truecan sus velocidades*.

*Experiencias.*—Para experimentar el choque entre cuerpos elásticos se emplean generalmente bolas de marfil, ó de acero ya sueltas para dejarlas caer sobre un plano de mármol ó hierro fundido, ya sujetas por dos hilos que se cuelgan de un marco horizontal de forma rectangular y de modo que á manera de péndulos queden tocándose y en una fila que suele constar de siete bolas, ya iguales, ya de masas diferentes. (A éstos se suelen llamar aparatos de *percusión central*). Por último, para el choque oblicuo se hace uso, ya de una bola de marfil, suspendida bifilarmente, delante de un plano de mármol ó acero, ya se pone la bola dentro de un tubo, desde el que por medio de un resorte se le puede lanzar en distintas direcciones contra un plano.

1.<sup>a</sup> *experiencia* para mostrar el aplanamiento instantáneo por el choque.

Antes de dejar caer la bola elástica sobre un plano duro, se frota aquella suavemente contra el plano, que está cubierto de lápiz-plomo ó de litógrafos, haciéndola girar entre los dedos, y deslizándola sobre el plano: con esto se muestra por la mancha de la bola que la superficie de contacto es muy pequeña, cuando sólo se apoya sobre el plano; después se la deja caer de cierta altura y se ve que la parte de la bola del lado que chocó, se cubre de lápiz, lo que demuestra su aplanamiento; por último, limpiando la bola y volviéndola á apoyar sobre el plano, se ve que el aplanamiento fué instantáneo.

Con los aparatos de percusión central y masas iguales se observan los hechos siguientes:

*Choque de cuerpos elásticos.*—Se suponen masas iguales:

2.<sup>a</sup> *experiencia:* Si una bola está en reposo y la otra le choca, comunica á la primera su movimiento, y ella queda en reposo; truecan por tanto sus velocidades.

3.<sup>a</sup> Si ambas bolas están en movimiento con sentidos opuestos,

al chocar truecan sus velocidades y el sentido de sus movimientos, de modo que retrocede cada una á la misma altura de que ha bajado la otra.

4.<sup>a</sup> Si se hacen chocar dos bolas moviéndose en el mismo sentido, la de más velocidad pierde algo de ésta después del choque, y la de menos, gana.

5.<sup>a</sup> Operando con una fila de siete bolas iguales, se ve que dejando caer una sobre las otras seis en reposo, las cinco intermedias quedan quietas y sólo salta la última del lado opuesto; si se dejaran caer dos, saltarían las otras dos del otro extremo de la fila y así sucesivamente; esto sirve para mostrar cómo se propaga el movimiento vibratorio. En esta experiencia se muestra el particular movimiento de cada bola, espolvoreando las medias esferas de arriba con limaduras metálicas, y se observa que si, por ejemplo, se deja caer la primera de la izquierda de la fila, no se conmueve *todo* el polvo metálico de las intermedias, sino el que está en la parte de la derecha, excepto en la última que salta, en la que la parte vibrante es la de la izquierda.

**Leyes del tiempo, ó duración del proceso del choque.**— Schneebeli demostró experimentalmente las siguientes leyes:

1.<sup>a</sup> *La duración del choque crece con la masa del cuerpo chocante y le es sensiblemente proporcional.*

2.<sup>a</sup> *La duración decrece cuando la distancia de caída es mayor.*

3.<sup>a</sup> *Si la superficie que choca es curva, la duración decrece, aumentando el radio de curvatura.*

4.<sup>a</sup> *La duración crece con la longitud del cuerpo chocante.*

Si son esferas elásticas de acero ó marfil colgadas las que chocan, se tiene:

1.<sup>o</sup> *En el choque de dos cuerpos elásticos, libremente colgados, es indiferente para la duración cuál de ellos es el chocante ó chocado. Esta duración fué en un cilindro de acero de 695 gramos de peso, cayendo desde 33<sup>mm</sup> de altura de 0,00019 de segundo.*

2.<sup>o</sup> En el choque de diferentes cuerpos sobre una misma superficie dedujo Schneebeli la siguiente notable ley:

«En el choque de una serie de cuerpos elásticos contra una misma superficie elástica, las duraciones son inversamente proporcionales á la raíz cuadrada de su coeficiente *de elasticidad*.»

Para más ilustración sobre esta materia puede verse la obra de J. N. Mason. Kiew Der Storsz.

# LECCIÓN 6.<sup>a</sup>

## Cuerpos líquidos

L. 24.

**Caracteres generales.**—El carácter distintivo de los cuerpos en estado fluido, es la facilidad con que se pueden separar sus partículas unas de otras. Los cuerpos fluidos se dicen en estado líquido, cuando la fuerza de cohesión entre sus partículas no ha desaparecido completamente, como lo exterioriza el esfuerzo que muestran para disponerse en gotas, y en películas ó membranas; pero este esfuerzo es tan pequeño, que puede considerarse que las fuerzas moleculares de atracción y de repulsión en los líquidos se contrarrestan, de modo que las constituye en un estado de *equilibrio indiferente* de posición unas respecto de otras: así, que ni ofrecen resistencia sensible respecto á un nuevo acomodamiento de sus partículas, ni reaccionan para recobrar el que antes tuvieron, es decir, *no muestran la propiedad de ser elásticos*. En cambio ofrecen una gran resistencia á que disminuya la distancia entre sus moléculas, creciendo entonces la fuerza de repulsión mucho más que la de atracción, por lo cual *son muy poco compresibles*.

Esta constitución particular de los líquidos es explicable por la relación de magnitud entre sus fuerzas moleculares atractivas y repulsivas, las que están casi en equilibrio en estado ordinario de presión y temperatura; crecen extraordinariamente las repulsivas cuando se trata de disminuir la distancia entre las moléculas, y por el contrario, las atractivas no manifiestan casi su acción por un aumento de distancia entre aquellas.

Los líquidos pueden considerarse con respecto á los efectos de las fuerzas que sobre ellos actúan, ya cuando se produce un estado de equilibrio, ya cuando entran en movimiento. El estudio de las condiciones para lo primero, se llama **HIDROSTÁTICA**, y para lo segundo, **HIDRODINÁMICA**.

### A) HIDROSTÁTICA

#### EQUILIBRIO DE LOS LÍQUIDOS

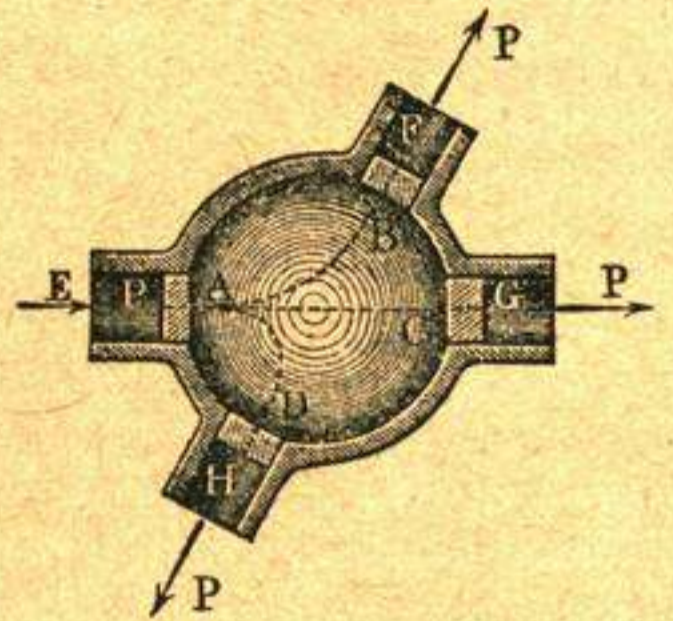
**Principio de Pascal.**—Los líquidos, á causa del fácil desplaza-

miento que pueden sufrir sus moléculas, tienen la propiedad siguiente:

«Toda presión ejercida en un punto cualquiera de su masa se transmite igualmente á toda ella.»

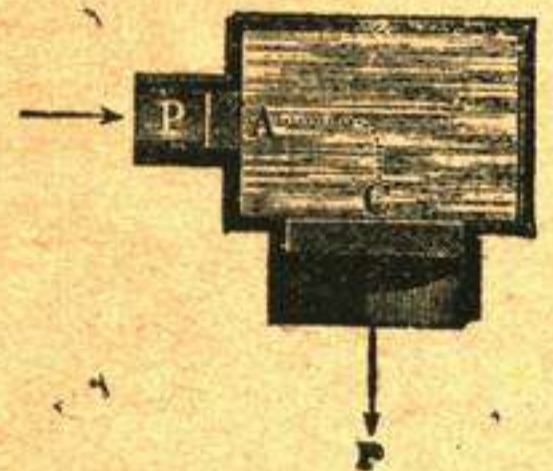
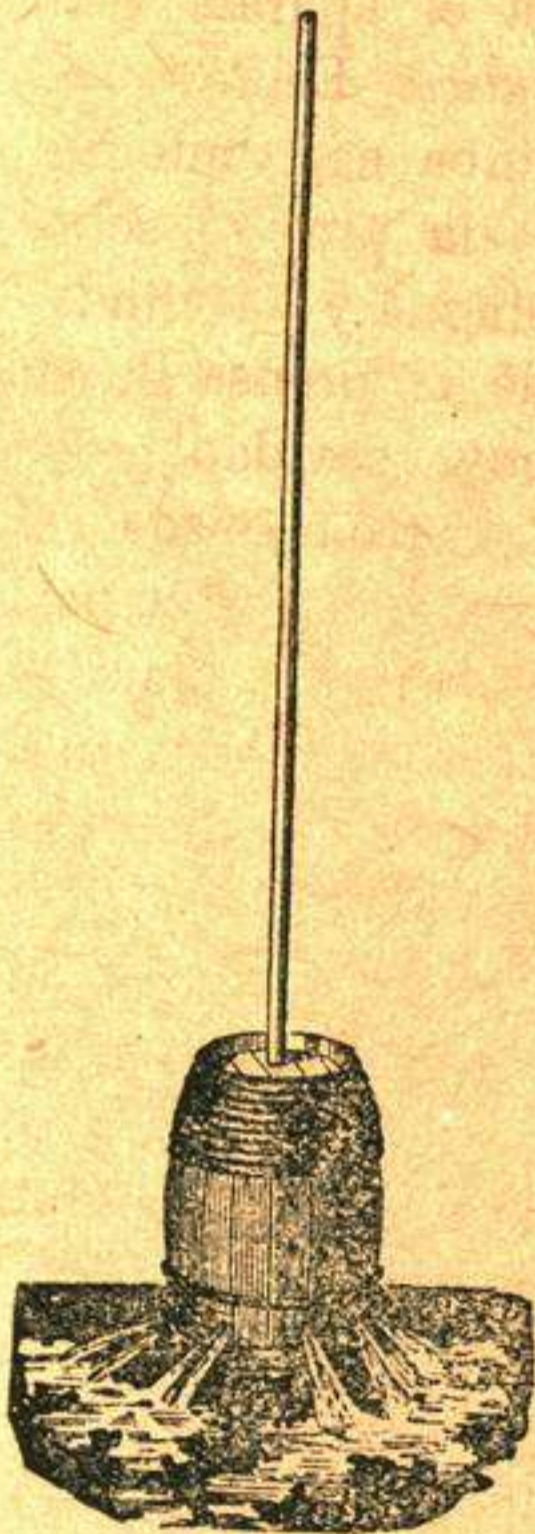
Sea (fig. 9.<sup>a</sup>) una vasija perfectamente cerrada y llena de agua, con cuatro aberturas idénticas en extensión y altura, y tapadas con iguales pesos; la presión que sufren del líquido es la misma.

Sean dos de estas aberturas horizontales: si sobre el tapón de una de ellas A, por ejemplo, se efectúa una presión, ésta se transmite á todos los demás tapones y con igual fuerza, porque para que haya equilibrio, es preciso ejercer sobre cada uno una presión igual á la efectuada en A.



En las aberturas que no sean horizontales, es decir, que no estén en las mismas circunstancias que A, hay que tener en cuenta otras fuerzas que sobre ellas obran, como pronto veremos.

Esta presión no sólo se transmite á las aberturas, sino que se extiende á toda la superficie del líquido en contacto con las paredes; las cuales, si son bastante fuertes para resistirlas, no la manifiestan; pero en caso contrario, y como se representa en la figura 10, la presión ejercida en un punto de la masa líquida, produce su salida del depósito en todas direcciones y con igual fuerza. Si las dos aberturas no son idénticas en dimensiones, aun cuando en las demás circunstancias lo sean, como, por ejemplo, las A y C de la (fig. 11) y si por ejemplo suponemos que C es cuatro



veces mayor que A, la presión ejercida sobre A se cuadruplica respecto de la de C. De modo que si A sufre una presión de 10<sup>kg</sup>, para que



haya equilibrio, habrá de ejercerse sobre C una que sea  $10 \text{ kg} \times 4$ , ó sea de  $40 \text{ kg}$ .

Las presiones pueden ejercerse en todos sentidos.

Esto se explica fácilmente: la (figura 12) representa la sección ó corte vertical de dos capacidades desiguales, unidas por un tubo de comunicación, llenas de agua y tapadas por los tapones A y B; y tales, que el tapón A, su área, la suponemos 10 veces menor que la de B; si se ejerce sobre A una presión de 12 kg. precisamente por la igualdad de presión, se ha de tener, que en cada parte del área de B igual á la de A se ejercerá también la presión de 12 kg.: ahora, como en B hay 10 áreas iguales á la de A, resulta que la suma de todas las presiones ejercidas sobre la totalidad de sus 10 partes, será  $10 \times 12 \text{ kg.} = 120 \text{ kg.}$

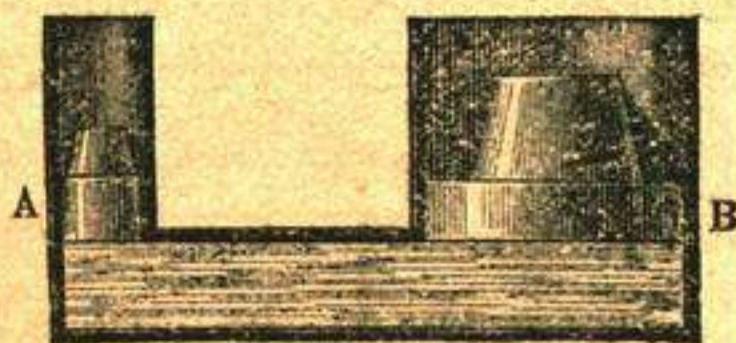


Fig. 12.

**Prensa hidráulica.**—En lo expuesto, se funda el aparato para ejercer grandes presiones, llamado *Prensa hidráulica*. Esta consta (fig. 13) de dos partes principales: una, es una bomba aspirante im-

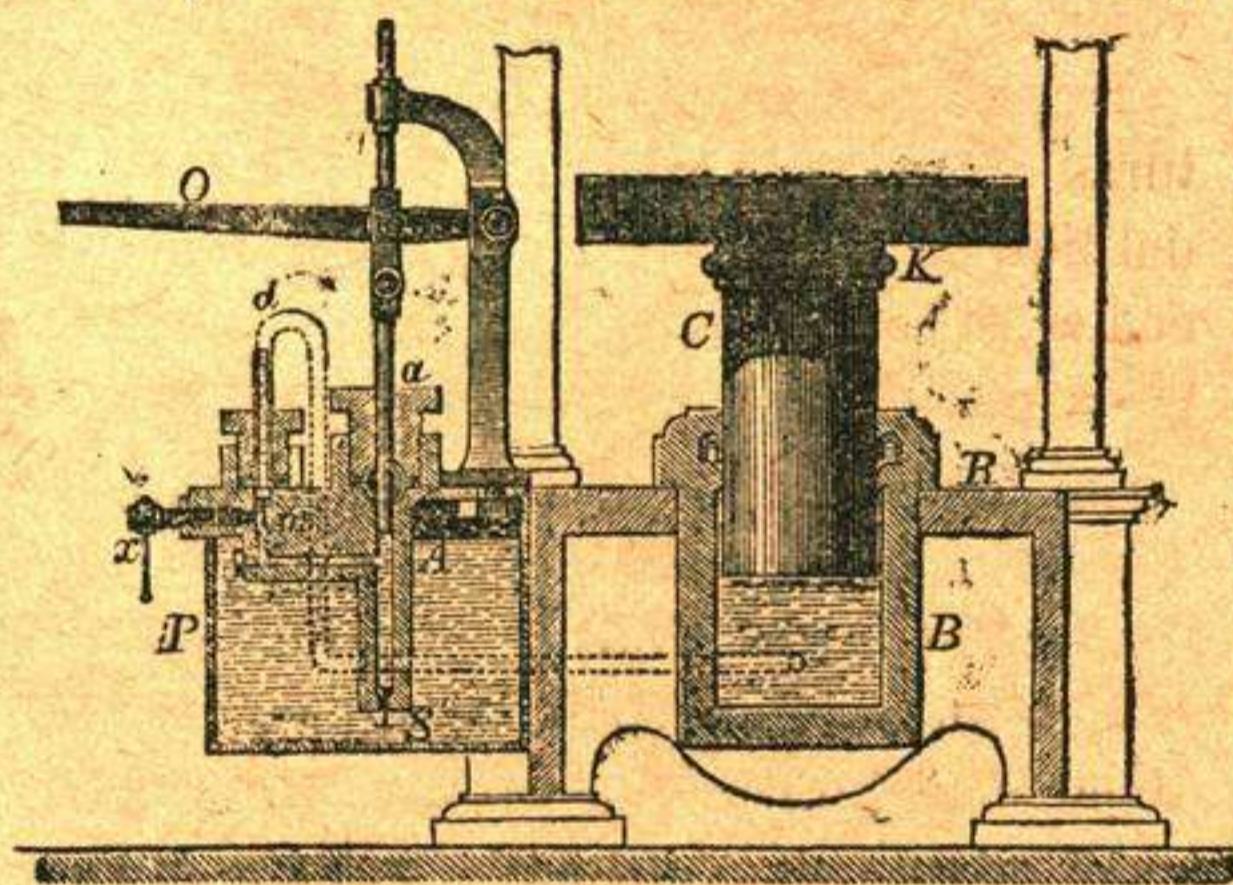


Fig. 13.

pelente (más adelante se describirá), la cual ejerce la presión sobre el agua; y del cilindro de la prensa B, en cuya cavidad penetra otro macizo C, al cual rodea en su parte superior una cintura de cuero, dispuesta de modo que no pueda salir el agua. Por medio de una palanca O se levanta el pistón a; el agua del depósito A levanta la válvula S y llena el espacio que queda bajo el pistón. Cuando éste desciende, comprime el agua que cierra por esto la válvula S, y levanta la m, y al través del conducto d penetra en el cilindro de la prensa. Aquí ejerce una presión, según las leyes ya expuestas, contra las paredes y la base del cilindro macizo C, el cual se levanta junto con la plataforma K que sustenta, y de este modo es comprimido el cuerpo que se coloque entre esta plataforma

el agua; y del cilindro de la prensa B, en cuya cavidad penetra otro macizo C, al cual rodea en su parte superior una cintura de cuero, dispuesta de modo que no pueda salir el agua. Por medio de una palanca O se levanta el pistón a; el agua del depósito A

y la superior D (no puesta en la figura), que está invariablemente unida al aparato.

**Equilibrio de líquidos sometidos á la acción de su peso.**—La



Fig. 14.

superficie de los líquidos, en la que sólo actúa la gravedad, es horizontal, porque si consideramos dividida la masa del líquido en porción de columnas verticales que se comunican, precisamente para su equilibrio han de tener la misma altura. Así, por ejemplo, (fig. 14) la superficie superior de un líquido no puede tener la forma representada en esta figura, porque sería imposible que las columnas CD y AB (que entre las demás de la masa se han señalado) pudiesen mantenerse en equilibrio, pues ejercen presiones des-

iguales sobre elementos iguales de superficie, preciso es que baje la AB y suba la CD hasta que alcancen igual altura.

Si aplicamos esto á una gran masa de agua, por ejemplo, á la superficie del mar en tranquilidad y obrando sólo la fuerza de gravedad que actúa, como atrayendo todas las partículas al centro de la tierra, sólo puede haber equilibrio cuando éstas disten lo mismo de este centro. Esto no sería posible si la superficie no fuese la de una esfera.

**Presión de los líquidos sobre el fondo de las vasijas que los contienen.**—Los líquidos en equilibrio ejercen presiones en todos sentidos, tanto sobre las paredes laterales como sobre el fondo de las vasijas que los contienen; esta última es independiente de la forma del vaso y sólo depende de su distancia á la superficie libre del líquido.

Para probar esto experimentalmente, se usa de un aparato debido á Pascal, que consiste (fig. 15) en una especie de balanza de brazos iguales, en la cual uno de los platillos es el fondo movable de las vasijas de diferentes formas que pueden atornillarse en una pieza á propósito M, la cual es cilíndrica en su interior, y por su borde inferior bien plano se adapta al platillo  $S_1$ . Además, lleva el aparato un índice fijo N para marcar la altura del agua en las vasijas, y está construido á propósito para apretar el platillo S contra el borde de M y recoger el agua que se vierta. Para comprobar el principio, se ponen 50 gs. en el platillo  $S_2$ , y después de bien ajustado  $S_1$  y de atornillar la vasija cilíndrica, se echan en ésta 50 gramos de agua sin derramar ninguna; para comprobar que la presión contra el fondo es de 50 gs., se señala en el índice hasta donde llegaran los 50 gs. de agua y se vierte alguna más dentro de la vasija,

y se verá que se derrama por entre el platillo y el anillo del borde inferior de M. Comprobado esto, se atornilla la vasija A, que es más estrecha por arriba que la cilíndrica; se vuelve el índice para

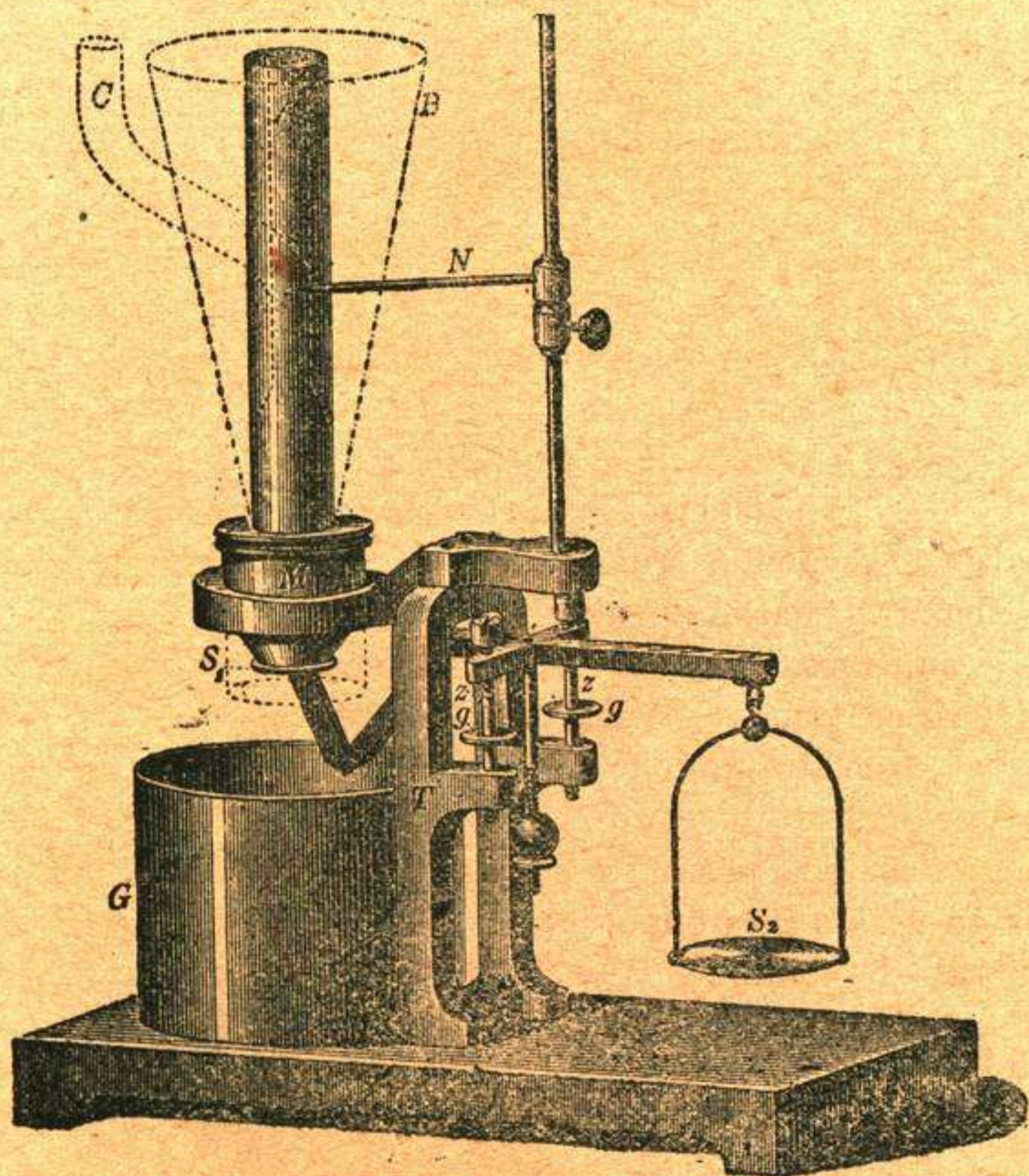


Fig. 15.

marcar la altura, y se ve que con menos de 50 gs. de agua se llega á este nivel; entonces hay, sin embargo, 50 gs. de presión contra el fondo, porque si se echa más agua en la vasija, se derrama entre M, y S<sub>1</sub>. Por el contrario, si se atornilla la vasija B, mucho más ancha por arriba, se necesitan muchos más de 50 gs. de agua para que alcance el nivel, el que marca el índice N. Sin embargo, hasta ese punto no se derrama agua; lo cual prueba que, á pesar de haber en la vasija muchos más de 50 gs., la presión contra el fondo es la misma, porque no se derrama el agua, y si se echa alguna más sí se derrama. Queda, pues, comprobado el principio, y lo mismo si se pone una vasija encorvada C.

En este principio se funda á su vez la igualdad de nivel en vasos

comunicantes cuando los tubos no son verticales, cuya ley es general, cualquiera que sea la forma de los vasos. En efecto (fig. 16), la

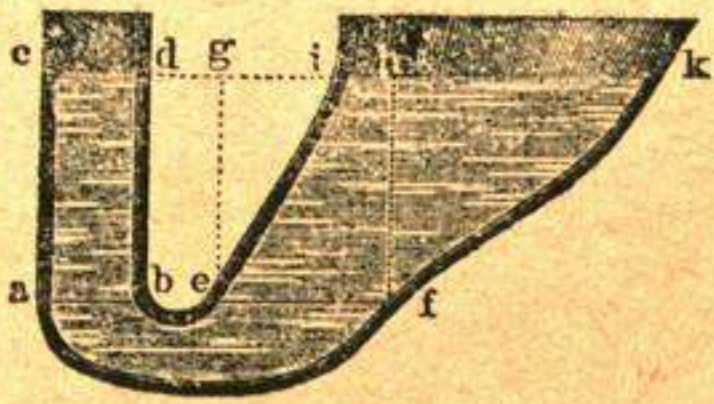


Fig. 16.

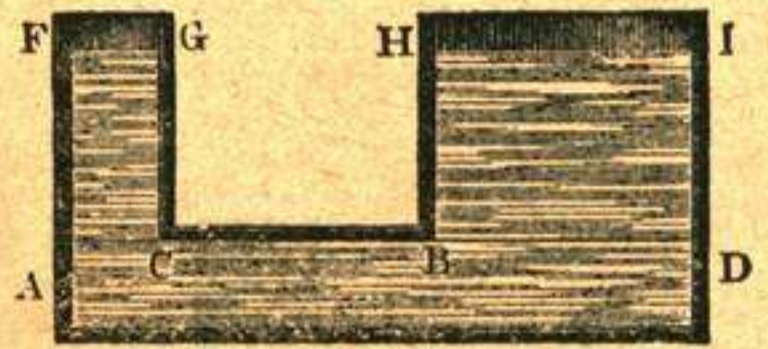


Fig. 17.

presión de la columna *abcd* se equilibra cuando en la otra rama de sección *ef* tenga una presión igual á la del peso de la columna *efhg*. Pero justamente ésta es la que ejerce el líquido contenido en la vasija irregular *efhk*, cuando el nivel llega á *hk* sobre la *ef*, que se puede considerar como su fondo.

Si los tubos fuesen de paredes verticales (fig. 17), y sobre la abertura *AC* se ejerce una presión, el equilibrio no tiene lugar si en la abertura *BD* que se supone *n* veces mayor que la *AC*, no se ejerce una presión *n* veces mayor que en la *AC*. Si, pues, sobre *AC* actúa el peso de una columna de agua, cuya base es *AC* y su altura *AF*, para contrarrestar su esfuerzo por una columna cuya base sea *BD*, es preciso que pese *n* veces la anterior, y para ello, como la base es *n* veces mayor, es necesario y suficiente que tenga la misma altura.

Si los líquidos son de distinto peso específico, las columnas en los vasos comunicantes no pueden llegar á un mismo nivel, pues no se equilibrarían. Las alturas á que llegan son inversamente proporcionales á sus pesos específicos.

Si los líquidos de distinta densidad están en un mismo frasco y son de tal naturaleza que no se mezclan, se colocan por su orden de densidad, estando siempre el más bajo el más pesado. Así puestos en un mismo frasco, mercurio, agua y aceite, por más que al agitarlo se entremezclen, al poco tiempo de dejarlos en reposo se pone debajo el mercurio inmediatamente, encima el agua y sobre ella el aceite.

**Niveles.**—En el principio de igualdad de nivel de un mismo líquido en las ramas de tubos comunicantes, se funda el nivel de agua empleado para dirigir visuales horizontales (fig. 18), cuya descripción y uso está explicado en todas las nociones de Topografía.

En los tubos muy estrechos parece que la ley anterior cae en defecto, como más adelante veremos.

**Nivel de burbuja de aire.**—Consiste este nivel en un tubo de

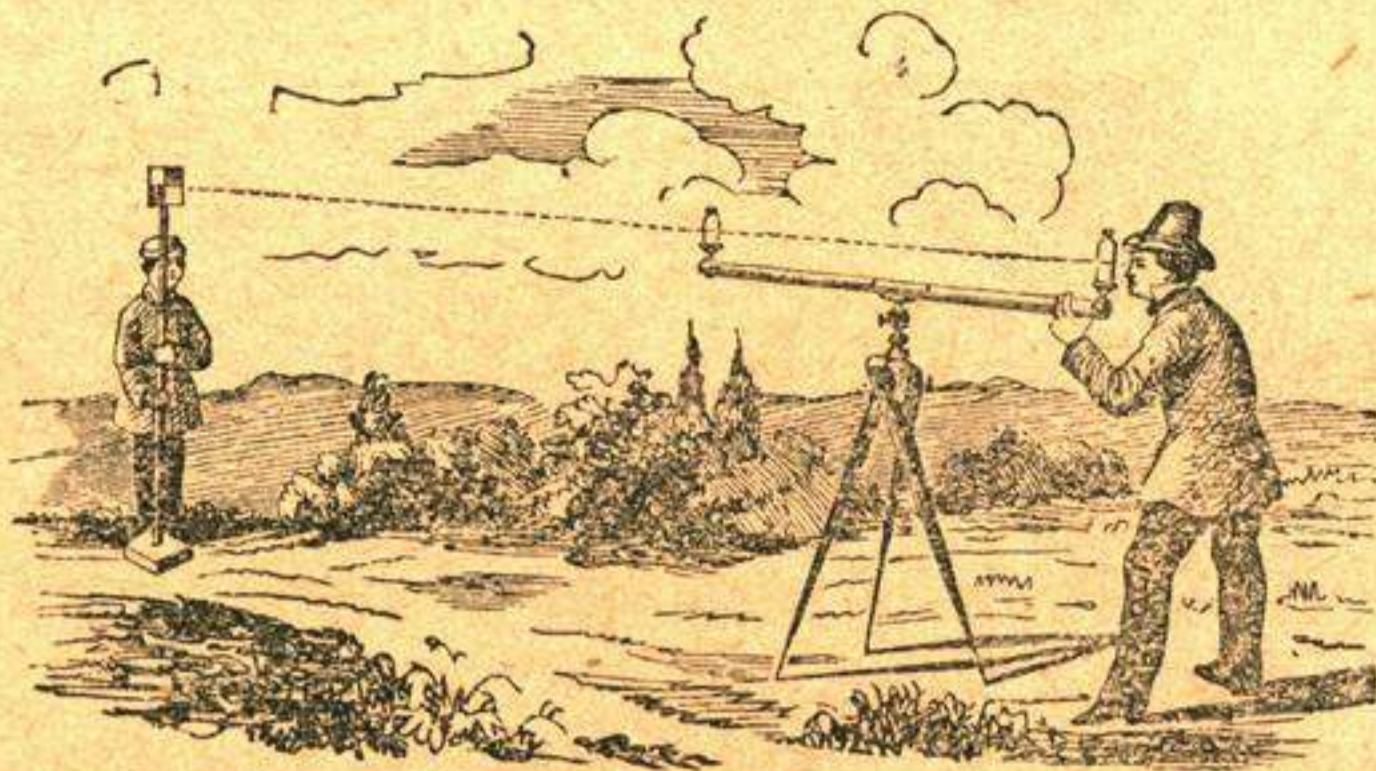


Fig. 18.

vidrio AB (fig. 19) ligeramente encorvado, lleno de agua, pero de-

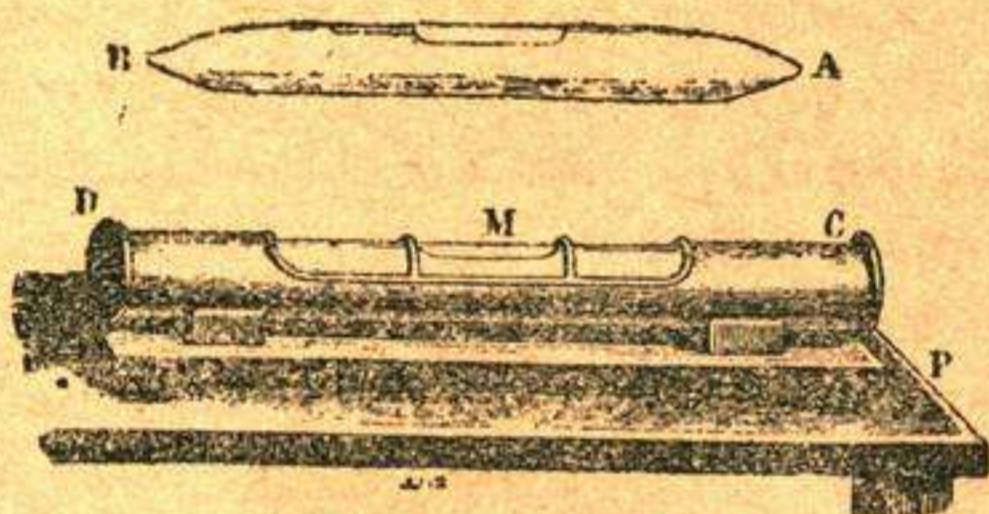


Fig. 19.

jando dentro una burbuja de aire, la cual tiende á ocupar siempre la parte más alta del tubo: éste se suelda por sus extremidades y se meto en un estuche de latón CD, el cual se fija á un soporte metálico cuya base sea todo lo más plana posible, de manera

que si éste se ajusta á una superficie P que esté horizontal, la burbuja de aire venga á ocupar la parte más elevada del tubo, que según la montura está en el centro M de la parte descubierta, y entre dos fajitas de latón que se han colocado á tal distancia entre sí, que marquen la longitud de la burbuja cuando la base de su montura está horizontal.

**Pozos ordinarios y artesianos.**—Si una masa de agua A (fig. 20

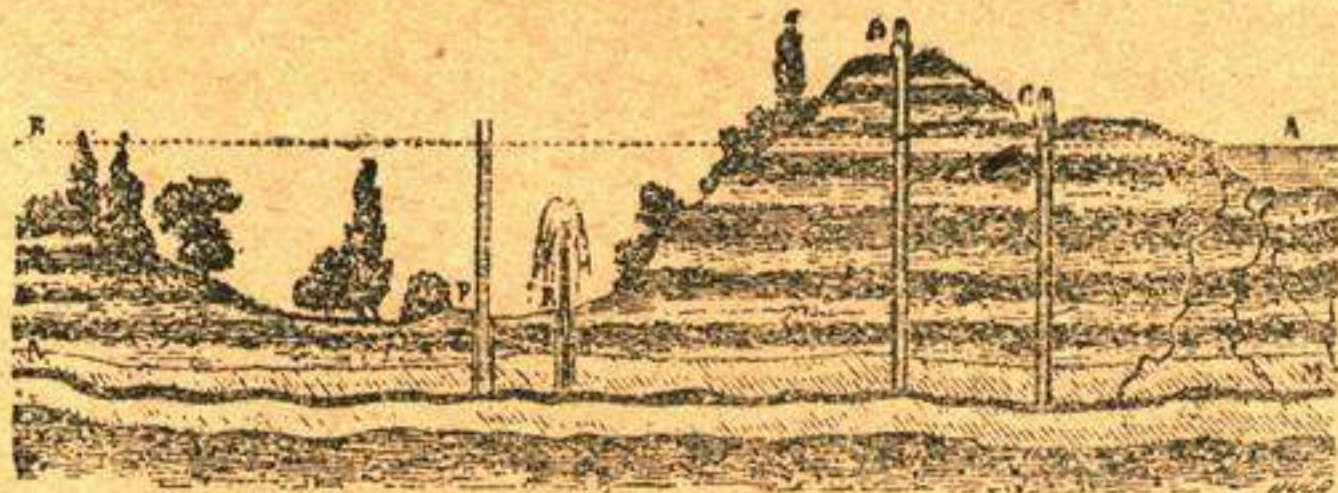


Fig. 20.

de cierta consideración puede filtrarse por el suelo de su fondo y

paredes del recinto en que está, y llega á penetrar en el intervalo permeable entre dos capas impermeables (más ó menos), corre por este intervalo y forma una especie de depósito ú hoja de agua MN. Si se abren pozos en los puntos C y D, que están más altos que el nivel de A, y se llega en la perforación del suelo hasta la capa MN, el agua subirá por el taladro hasta el nivel del plano horizontal que marca la superficie libre de A: tales son los pozos ordinarios.

Si las perforaciones del suelo se hiciesen en puntos tales como los E y F que están más bajos que el nivel de A, entonces el agua subiría (por igualdad de nivel en vasos comunicantes) hasta la altura de A, si se pone un tubo en el taladro; ó en forma de un saltador, si como en E se dejase libre y al nivel del suelo su salida. Estos son los llamados pozos artesianos, por haberse ensayado primeramente con éxito en el Artois de Francia este modo de alumbrar aguas.

**Presión lateral de los líquidos.**—Sufriendo todos los puntos de un plano horizontal de un líquido una presión igual, y cuya magnitud está ya determinada, claro es que el punto del plano que coincida con la pared de la vasija sufre esta presión, y por tanto el punto de la pared. Luego la presión lateral que un líquido ejerce sobre cada punto de las paredes del vaso que lo contiene, es igual al peso de una columna del fluido, cuya base sea el punto dado y su altura la distancia vertical á la superficie libre; la presión que soporta toda una pared, ó parte de ella, es la suma de las presiones sobre sus diversos puntos; luego si se designa una parte de su superficie por  $s$ , la distancia del centro de gravedad de la figura de  $s$ , á la superficie del líquido por  $h$  y por  $d$  el peso específico del líquido, la presión  $P = s \cdot h \cdot d$ .

Así, en un depósito de  $10^m$  de altura lleno de agua, cada centímetro cuadrado de la pared á  $1^m$  de altura sufre una presión de  $1^{cmc} \times 100 \cdot 1$ , ó sea  $100^{gs}$ , y á los  $10^m$ , ó sea en el fondo, cada centímetro cuadrado soporta  $1000^{gs}$  de presión.

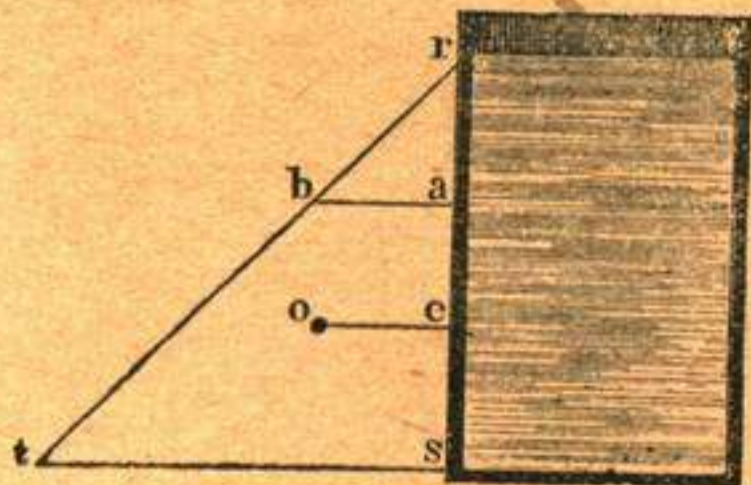


Fig. 21.

*El centro de presión* de la pared de una vasija se investiga del modo siguiente: Cada punto de la pared (figura 21), tal como el  $a$ , por ejemplo, sufre una presión que puede representarse por una recta  $ab$ , perpendicular á la pared, y de longitud igual á la profundidad del líquido hasta  $a$ . Lo mismo se puede determinar para

cualquier otro punto, y por tanto, para el  $s$ , inmediato al fondo cuya presión será la línea  $ts=sr$ . Como en  $r$  está representada por el mismo punto  $r$ , toda la serie de líneas horizontales que representan las presiones tendrán sus extremos en la recta  $rt$ . Con esto, el triángulo rectángulo  $rst$  representa la suma de las presiones ejercidas por el líquido sobre la línea vertical  $rs$ .

El centro de gravedad de este triángulo se encuentra, según se ha visto, en un punto  $o$ , á los dos tercios de la mediana, contando desde  $r$ . Si, pues, por  $o$  se traza una horizontal  $oc$  hasta la pared vertical, el punto  $c$ , donde la encuentra, será su centro de presión, y se será  $\frac{1}{3}$  de  $rs$ , porque la relación de  $\frac{rs}{sc}$  es la misma que la de toda la mediana á la de su parte desde el centro  $o$ , hasta el punto medio del lado  $st$ .

**Presión en el interior de los líquidos: empuje de abajo arriba.**—Cualquier capa líquida que se considere en el interior de un depósito lleno, sufre dos presiones opuestas é iguales. Si la capa es horizontal, por ejemplo, sufre una presión de arriba abajo, representada por el peso de una columna del líquido, cuya base es el área de la capa considerada, y la altura, la profundidad á que ésta se halla. También sufre una presión de *abajo arriba* representada por el peso de una columna análoga, ejercida por la demás masa fluida que la rodea, como se indicó al hablar de los vasos comunicantes. La capa, como se ve, está en equilibrio de presión, y por eso existe éste en la masa fluida.

Este principio se demuestra también experimentalmente de un modo sencillo por medio de un tubo abierto por ambos extremos (fig. 22), y un obturador  $ab$  sujeto por un hilo; si se hunde verticalmente el tubo en una vasija llena de agua, habiéndole puesto antes el obturador, éste se mantiene unido al tubo, aun cuando no se sujete por el hilo (fig. 23), y esto prueba la presión que se ejerce sobre él de abajo arriba. Para medir esta presión se va echando dentro del tubo líquido, del que llena la vasija, y el obturador cae cuando el nivel del



Fig. 22.

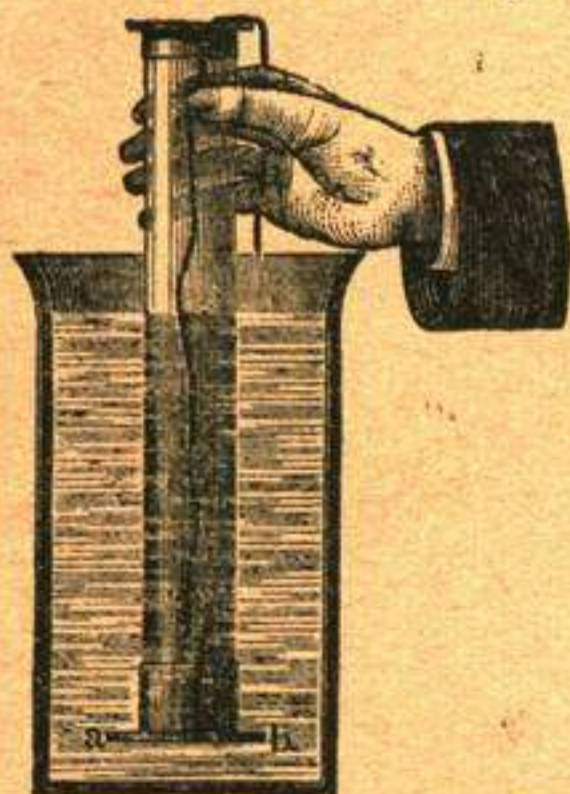


Fig. 23.

líquido en el interior del tubo es el mismo que en el exterior.

## LECCIÓN 7.<sup>a</sup>

**Principio de Arquímedes.**—Un cuerpo sumergido en un líquido sufre una presión de abajo arriba, ó es soportado por éste, ó pierde de su peso tanta parte como pesa el volumen del líquido que desaloja. De las presiones ya estudiadas que ejercen los líquidos en su interior se deduce la verdad de este principio.

En efecto; sea un prisma recto (fig. 24) de un cuerpo sólido cualquiera el que se ha sumergido en una vasija llena de líquido y de modo que tenga su posición vertical. Es claro que, respecto de su peso, ó sea en la dirección de la gravedad, está sometido á dos presiones ejercidas sobre sus dos bases: una de arriba abajo, representada por la columna de líquido, cuya base es la superior del prisma  $b$  y su altura  $h$ , ó sea la distancia á la superficie libre; la otra presión es de abajo arriba, opuesta á la anterior y representada



Fig. 24.

por la columna de líquido, cuya base es la inferior del prisma  $b$  y su altura la distancia  $h'$  de ésta á la superficie libre: luego, en suma, la presión que sufre está representada por la diferencia entre  $b \cdot h \cdot d$  (llamando  $d$  el peso específico del líquido, si no es agua) y  $b \cdot h' \cdot d$ , la cual es  $b \cdot h' \cdot d - b \cdot h \cdot d = b (h' - h) d$ , ó sea que la presión ó empuje de abajo arriba es el peso de una columna de líquido, cuya base es  $b$  y su altura  $h' - h$ , ó sea la del prisma.

En cuanto á las presiones laterales, se compensan por ser iguales y en contraria dirección.

Como todo cuerpo se puede considerar compuesto de una infinidad de prismas verticales, el principio es general, cualquiera que sea la figura del cuerpo sumergido.

Este principio que, junto con el de igualdad de presión ó de Pascal, es el fundamento de toda la hidrostática, puede demostrarse por la experiencia mediante la balanza llamada *hidrostática*



(fig. 25), que no es más que una balanza ordinaria de brazos iguales,

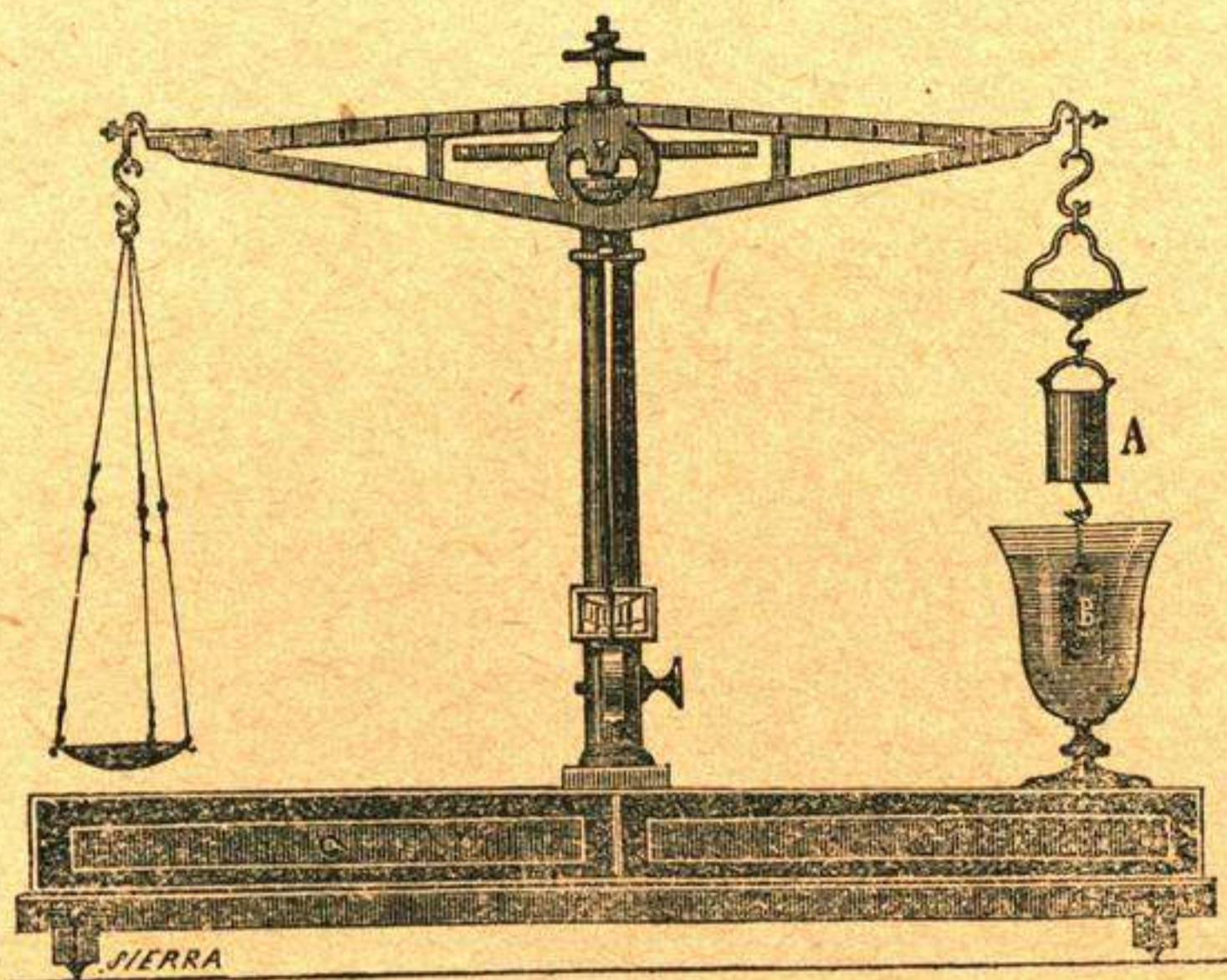


Fig. 25.

y que en lugar de ser ambos platillos idénticos, uno de ellos está más cerca del gancho donde se suspenden, y lleva en su parte inferior otro gancho de donde se cuelga un cilindro hueco donde encaja perfectamente otro sólido (fig. 26), y todo este sistema se equilibra por pesas en el otro platillo de la forma común.

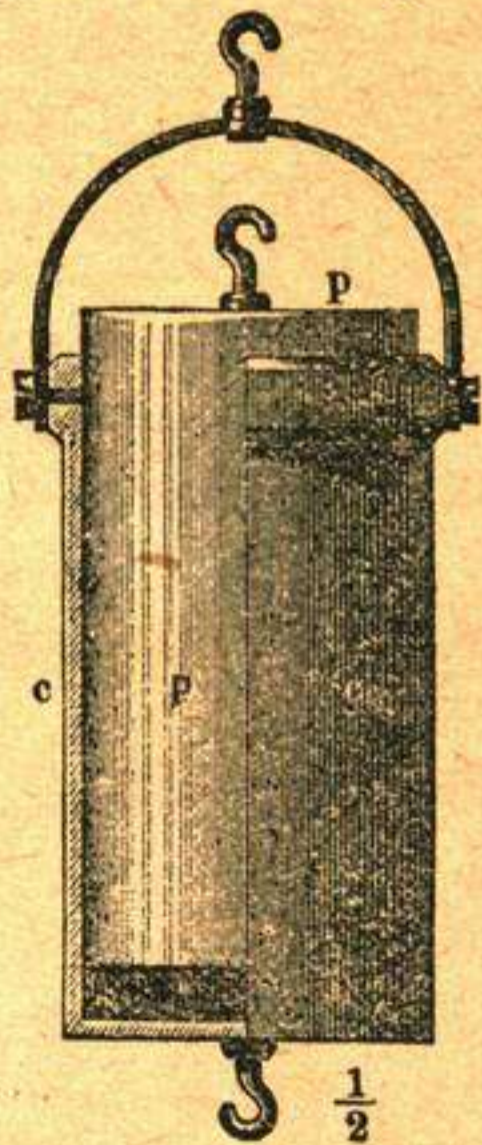


Fig. 26.

Para hacer la experiencia se cuelga el cilindro sólido de un gancho que lleva en su exterior el fondo del hueco; y como la balanza tiene altura á propósito para ello, se sumerge el cilindro sólido en una vasija llena de líquido, é inmediatamente se ve alterado el equilibrio de la balanza, el cual se restablece si el cilindro hueco se llena con el líquido de la vasija.

El principio de Arquímedes indica la relación de peso en que ha de estar un volumen de un cuerpo y otro igual de un líquido para que el primero *flote*, se *hund*a ó quede en *equilibrio* en cualquier lugar de la masa del fluido. En efecto, si  $G$  es el peso del cuerpo,  $V$  el de un volumen igual del líquido, y por

P se representa la fuerza que tiende á hundir el cuerpo, se tiene  $P = G - V$ . Según que  $V > =$  ó  $< G$ , así la presión de arriba abajo será negativa, cero ó positiva; es decir, flotará, quedará en equilibrio en cualquier posición ó se hundirá el cuerpo. (Véase el apéndice de esta sección sobre la estabilidad de los cuerpos flotantes.)

**Investigación del peso específico de los sólidos y líquidos.**—

El medio general aplicable á sólidos y líquidos para investigar su peso específico se funda en el principio de Arquímedes. En efecto, para calcular el peso específico de los sólidos basta conocer su peso en el aire y el de un volumen igual de agua. En la mayoría de los casos, ó no se puede determinar de un modo exacto el volumen de los cuerpos, ó á lo menos ofrece mucha dificultad por la sola medida de sus dimensiones. El principio de Arquímedes proporciona con una sola experiencia el peso de una masa de agua de igual volumen que el del cuerpo que se quiere determinar, pues basta para ello apreciar la pérdida de peso que sufre el cuerpo cuando está sumergido en el agua.

Para estas investigaciones sirve la balanza hidrostática, ya descrita ú otra cualquiera, que se puede convertir en tal balanza con la simple variación de poner, en lugar de uno de los platillos, otro que mantenga el equilibrio, y cuyos cordones sean muy cortos, y además que en su cara inferior tenga un gancho del que se pueda colgar un alambre fino de platino. Así dispuesta, es claro que colocando pesos conocidos en el otro platillo, se determina el peso  $p$  del cuerpo; suspendiendo después éste del hilo de platino, colgado del platillo corto y sumergido en una vasija á propósito con agua, será preciso colocar en este platillo un peso  $a$ , para restablecer el equilibrio. Este peso  $a$  es por tanto la pérdida que ha sufrido el del cuerpo por la sumersión, y por tanto,  $\frac{p}{a}$  expresa su peso específico.

La pérdida de peso que un mismo cuerpo sufre al sumergirlo en distintos líquidos, es proporcional al peso específico de éstos. En esto se funda la llamada balanza de Mohr, dispuesta para determinar el peso específico de los líquidos, con suficiente exactitud y cómodamente. Consiste (fig. 27) en una balanza de dos brazos, que en uno de ellos, en lugar de platillo, lleva una especie de pesa hecha de un tubo de cristal A con mercurio, bien soldado y con un asa para suspenderlo de un hilo fino del gancho  $h$  de la balanza, y construído de modo que equilibra en el aire al otro platillo B. El brazo de la balanza, del cual se cuelga A, está dividido en 10 partes iguales como el de la balanza de Berzelius, y tiene unas piezas de alambre ó gan-

chos, cuya forma es la que se indica por P, que pesan justamente la

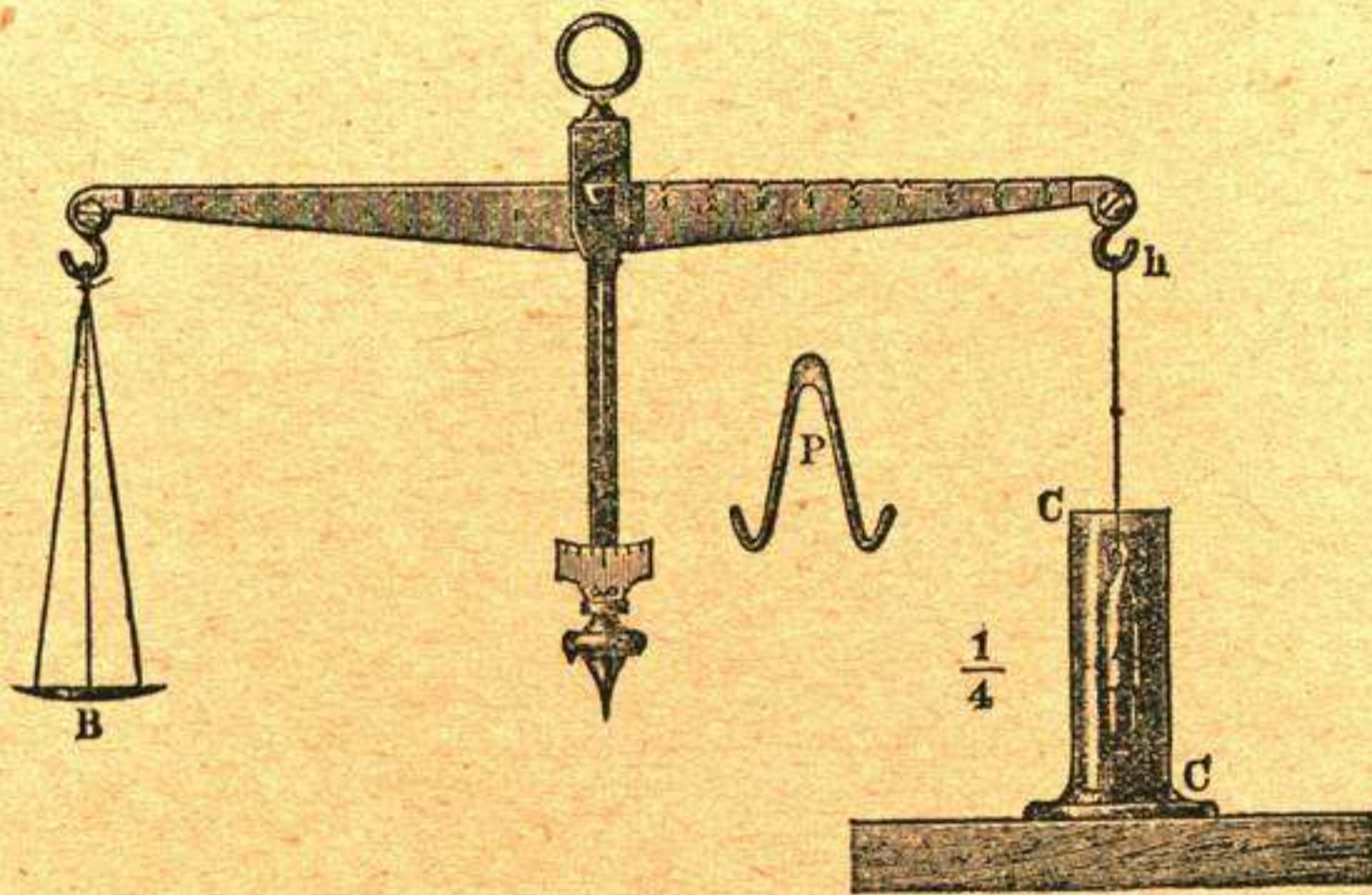


Fig. 27.

cantidad  $v$  que pierde de peso A, cuando se sumerge en agua pura; además, acompañan á la balanza otras piezas de alambre análogas, en forma á la de P, pero cuyos pesos  $p$  y  $p'$  son  $\frac{1}{10}v$  y  $\frac{1}{100}v$  respectivamente.

Supongamos que con esta balanza se quiere determinar el peso específico de un líquido cualquiera: para ello se llena la vasija C con este líquido y se sumerge en él la pesa A, restableciendo el equilibrio lo más exactamente posible, por medio de la conveniente colocación de las piezas de alambre P,  $p$  y  $p'$  en el brazo graduado de la balanza.

Supongamos que el líquido fuese éter; se tendría que poner el gancho P en la división 7, y el  $p$  en 2, y el  $p'$  en 4. El peso del volumen de éter desalojado sería  $0,7v + 0,02v + 0,004v = 0,724v$ . Por consiguiente, como  $v$  es el peso del volumen igual de agua, se tiene que el específico del éter es 0,724.

En el ácido sulfúrico de Inglaterra, se tendría que para sumergir la pesa A y restablecer el equilibrio, habría que poner un gancho P en  $h$ , otro P en la división 8, un gancho  $p$  en 4 y uno  $p'$  en 7. Con lo cual se tendría para el peso específico del ácido 1,847.

**Areómetro de Nicholson.**—Para sustituir á la balanza en la determinación del peso específico de los sólidos y líquidos, se em-

plean unos flotadores que consisten (fig. 28) en un cuerpo hueco (regularmente cilíndrico), terminado por dos conos y hecho de latón: de su parte inferior cuelga una especie de canastilla C, y por su parte superior tiene un vástago fino que sostiene un platillo, sobre el cual se pueden colocar un cuerpo pequeño y algunas pesitas. El instrumento sumergido en agua, flota en posición vertical, para lo cual se construye de modo que su centro de gravedad esté muy bajo, y además que parte del cuerpo flotante hueco B sobresalga del agua. Si se coloca el cuerpo cuyo peso específico se investiga, por ejemplo, un cristal, sobre el platillo, el instrumento se hunde un poco; y añadiendo pesas conocidas en el platillo, se puede lograr que se hunda hasta una marca ó señal O (generalmente una rayita) hecha en el vástago, la cual se llama punto de *enrase*. Conseguido esto, se quita el cristal del platillo, poniendo nuevas pesas en él

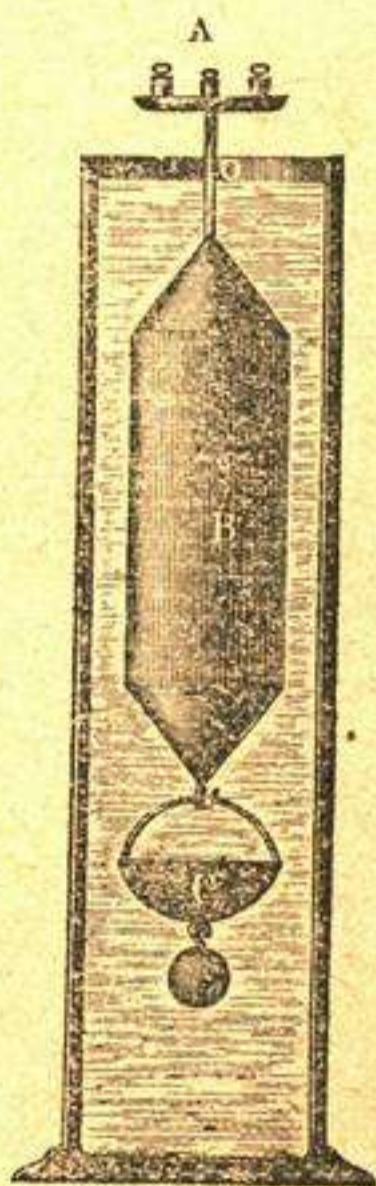


Fig. 28.

hasta conseguir un nuevo *enrase*. De este modo se tiene el peso del cuerpo en el aire. Sea éste  $n$  miligramos.

Se quitan ahora las pesas que marcan estos  $n$  miligramos y se pone el cristal en la canastilla, volviendo á poner pesas en el platillo hasta conseguir un nuevo *enrase*.

Sean  $m$  los miligramos que ha habido que poner ahora en el platillo: éstos marcarán la pérdida de peso del cuerpo por su inmersión en el agua. Con esto se tiene el peso  $n$  del cuerpo y el  $m$  de un volumen igual de agua: el específico buscado será  $\frac{n}{m}$ .

Si se tratase de líquidos, también puede emplearse el areómetro de Nicholson; si bien suele hacerse una ligera modificación, como señala la fig. 29, que consiste en lastrarlo con una esfera fija P en vez de canastilla. Su uso para los líquidos se funda en que se sumerja siempre hasta la misma línea (la de *enrase* M) en los diferentes líquidos, con lo cual el peso del igual volumen que en ellos desaloja, está dado por el del instrumento y las pesas que en cada uno se ponen en el platillo.

Supuesto conocido el peso del instrumento, sea  $n$ , y que para hun-



Fig. 29.

dirse hasta M al sumergirse en agua pura, se necesita de colocar  $a$ , se tendrá que el peso del volumen que desaloja hasta llegar el líquido á M, se expresará por  $n + a$ .

Sumergiéndolo ahora en el otro líquido que se ensaya, y suponiendo que el peso que hay que poner para que llegue al enrase sea  $b$ , se tendrá como peso de igual volumen desalojado en el nuevo líquido  $n + b$ . La relación  $\frac{n + b}{n + a}$  expresa el peso específico del líquido que se ensaya.

**Areómetro de peso.**—La mejor disposición de estos instrumentos es la dada por Tralles (fig. 30), cuya inspección ahorra describirle.

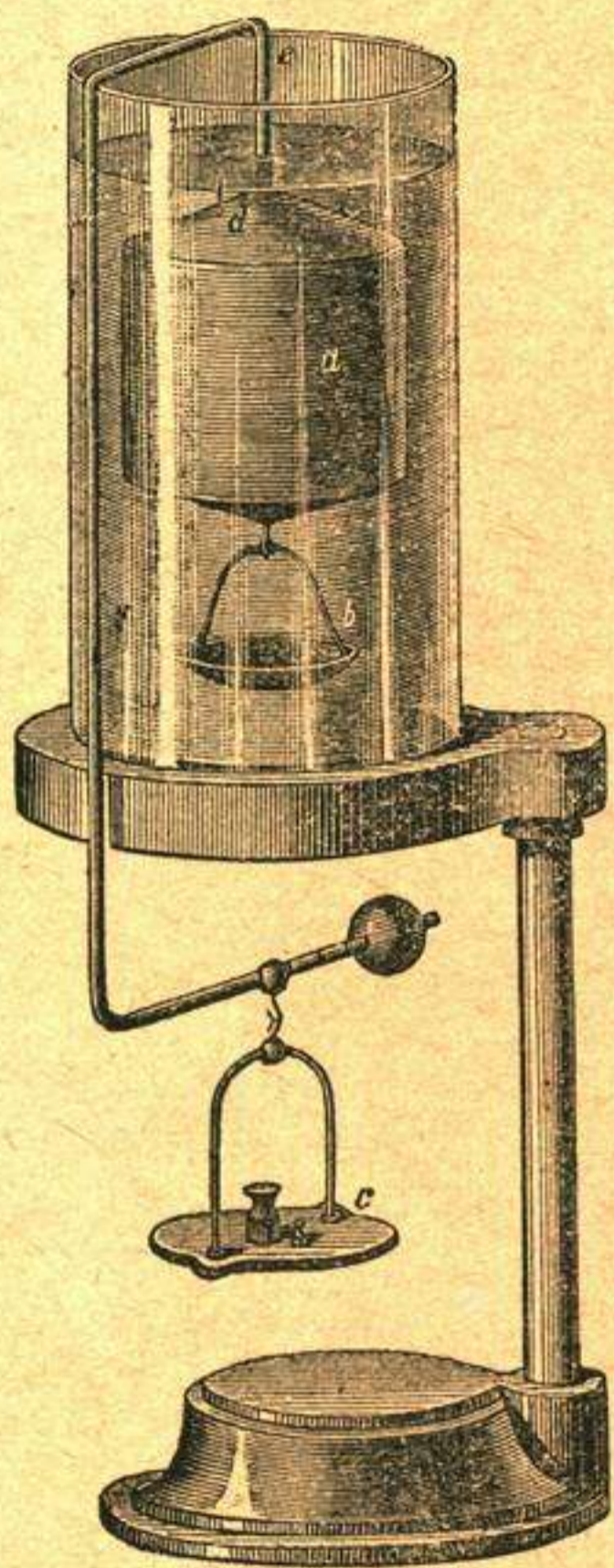


Fig. 30.

De todos modos, la determinación del peso específico de los líquidos con estos instrumentos es engorrosa, y para evitar sus inconvenientes, así como para lograrlo con prontitud y apreciar la cualidad de ciertos líquidos, se emplean los llamados *areómetros de escala ó graduados*, con los cuales se puede estimar el peso específico de ellos, con dos decimales.

El principio en que se fundan estos instrumentos graduados difiere del fundamento del areómetro de Nicholson. En éstos, el peso específico de los líquidos se deduce de la comparación de los pesos absolutos de dos *volúmenes iguales*, y en los areómetros graduados se funda en un principio que se demuestra experimentalmente, y es que «los volúmenes de un mismo cuerpo que se hunde en líquidos diferentes, están en razón inversa de los pesos específicos de éstos».

Los areómetros con escala se suelen llamar también por esto *de volumen variable y densímetros*. Sus formas son muy variadas; en general, consisten en un tubo cilíndrico de cristal, ensanchado por abajo y lastrados con mercurio, de modo que al flotar se ponen verticales.

La graduación de estos instrumentos también es muy varia. La

más sencilla es la que usó Gay-Lussac, que la fundó en lo siguiente: Consideremos marcado sobre el vástago C (fig. 31) de un areómetro



Fig. 31.

aquel trazo hasta el cual se hunde en agua pura, y á partir de este punto, dividido el vástago en una serie de partes iguales, por ejemplo, tales, que de una á otra

haya un volumen que sea  $\frac{1}{100}$  del

primitivo que se hundió en el agua pura. Así, por ejemplo, si en agua pura el volumen sumergido fué de 10 centímetros cúbicos entre trazo y trazo, han de comprender un volumen que sea  $\frac{1}{100}$  de 10 centímetros cúbicos, ó

sea 0,1 de centímetro cúbico. El punto á que llega el agua pura se marca con 100 y las divisiones siguientes se numeran desde él hacia arriba y abajo.

Si este areómetro se mete en un líquido cualquiera (fig. 32) y se ve que sólo se hunde hasta el trazo marcado 80, quiere decir que 80 partes de volumen de este líquido pesan tanto como 100 de agua pura; luego su peso específico es  $\frac{100}{80} = 1,25$ .



Fig. 32.

Si puesto el areómetro en otro líquido se hunde, por ejemplo, hasta la división 116, es claro que el peso específico deducimos que es  $\frac{100}{116} = 0,862$ .

En resumen, para hallar el peso específico de los líquidos con este areómetro, se divide el número 100 por los grados leídos.

# LECCIÓN 8.<sup>a</sup>

## Hidrodinámica ó Hidráulica

G. 27.

**Teorema de Torricelli.**—Si en un depósito lleno y descubierto se abre un orificio en las paredes ó fondo, siendo el orificio pequeño en relación al depósito, se ve en la práctica que sale el líquido tanto más apresuradamente, cuanto mayor distancia hay desde el orificio al nivel del líquido. Esta velocidad es la misma que adquiriría un cuerpo cayendo libremente desde una altura igual á la que hay desde la superficie del líquido hasta la boca del orificio.

La demostración teórica del principio de Torricelli es la siguiente

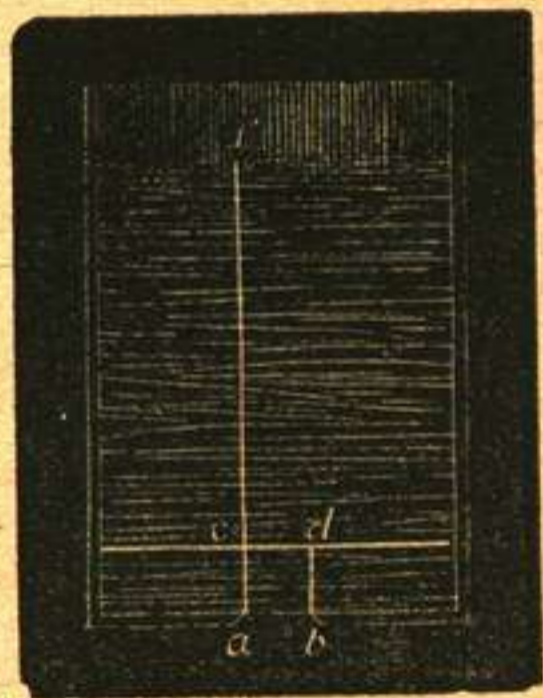


Fig. 33.

(fig. 33): Sea una vasija llena de agua hasta el nivel  $f$ , y supongamos abierto un orificio  $ab$  en su fondo: si la masa  $abcd$ , que está inmediatamente encima del orificio, y cuyas dimensiones volumétricas son las de éste, cayese libremente sin ser acelerada por el peso de la que tiene encima, su velocidad  $v$  dependería de su altura  $ac$ , que llamaremos  $h$ , y siendo  $g$  la aceleración de la gravedad, se tendrá  $v = \sqrt{2gh}$ . Pero como no obra sólo el peso de esta masa  $abcd$ , sino la presión de todo el

líquido, la aceleración  $g'$  que por esto experimenta, está con  $g$  en relación de las alturas: así  $g : g' :: h : s$ ; llamando  $s$  á la altura total  $af$ .

De aquí  $g' = \frac{g}{h} s$ .

Por otra parte, la velocidad  $v'$  de esta capa, considerada cuando la aceleración sea  $g'$ , tendrá por fórmula  $v' = \sqrt{2g'h}$ , y poniendo aquí el valor  $g'$ , será  $v' = \sqrt{2gs}$ , cuya expresión es justamente la de la velocidad alcanzada por la caída de un cuerpo desde la altura  $s$ .

De esta ley se deducen dos consecuencias:

1.<sup>a</sup> La velocidad de salida de un líquido es independiente de su peso específico.

2.<sup>a</sup> Las velocidades de salida están en la relación de las raíces cuadradas de las distancias de los orificios, á la superficie libre del líquido.

La primera de estas consecuencias se demuestra prácticamente llenando un embudo de cristal de 6 á 8 centímetros de diámetro por su parte ancha, y de 1 milímetro por la estrecha, una vez de agua y otra de mercurio, y observando que el tiempo que tarda en vaciarse en ambos casos es el mismo, á pesar de la gran diferencia de sus pesos específicos. No hay que deducir de esto que la *naturaleza* del líquido no ejerce influjo, porque si se llena el mismo embudo de aceite de oliva, á causa de su gran rozamiento interior, tarda en vaciarse mucho más tiempo que con los líquidos anteriores.

La segunda de estas consecuencias se podría experimentar abriendo dos orificios en un depósito, uno á 1 metro, ó sean 100 centímetros de distancia por bajo de la superficie libre, y el otro á 1 centímetro, y observando la velocidad de salida que será diez veces ( $\sqrt{100} = 10$ ) mayor en el más profundo.

Los medios para conservar constante el nivel de un líquido en una vasija, son varios. El más sensillo, es que penetre en ella un chorro, algo mayor que el de salida, y por un orificio abierto al nivel marcado se escape el sobrante.

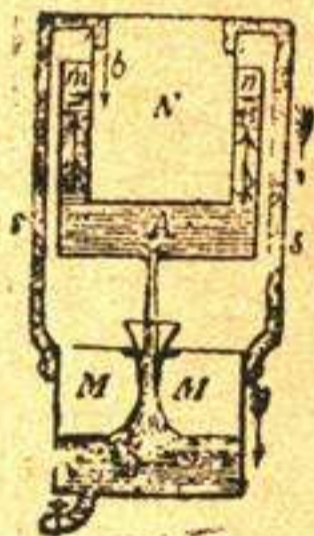


Figura 34.

Por medio de aparatos, el más sencillo es el de Prony (fig. 34), que consiste en que en la vasija A, de donde sale el líquido, éntra otra N, de la cual va suspendida por los brazos s, s, el recipiente M del líquido que sale; así el peso de M crece á medida que el líquido sale de A, y por tanto, la capacidad N se hunde más en la vasija A y hace que el

nivel *mn* del líquido suba, y justamente á la altura que antes tenía.

Para las experiencias de la velocidad de salida de los líquidos, el aparato más propio es el llamado «Frasco de Mariotte». Las paredes de éste son verticales (fig. 35), y tiene un orificio circular en su parte inferior con una pieza de metal á propósito para atornillar otra, con orificios en diferentes direcciones. Las principales de éstas, son dos: una con una salida en la prolongación de la línea recta, que pasa por el centro del orificio de la pared, como la que se representa, puesta en la figura, y otra como la dibujada aparte A, la cual lleva un prisma cuadrangular, con un orificio en su base superior, á fin de dirigir el chorro de salida, verticalmente.



La particularidad de este aparato estriba en que su boca va bien

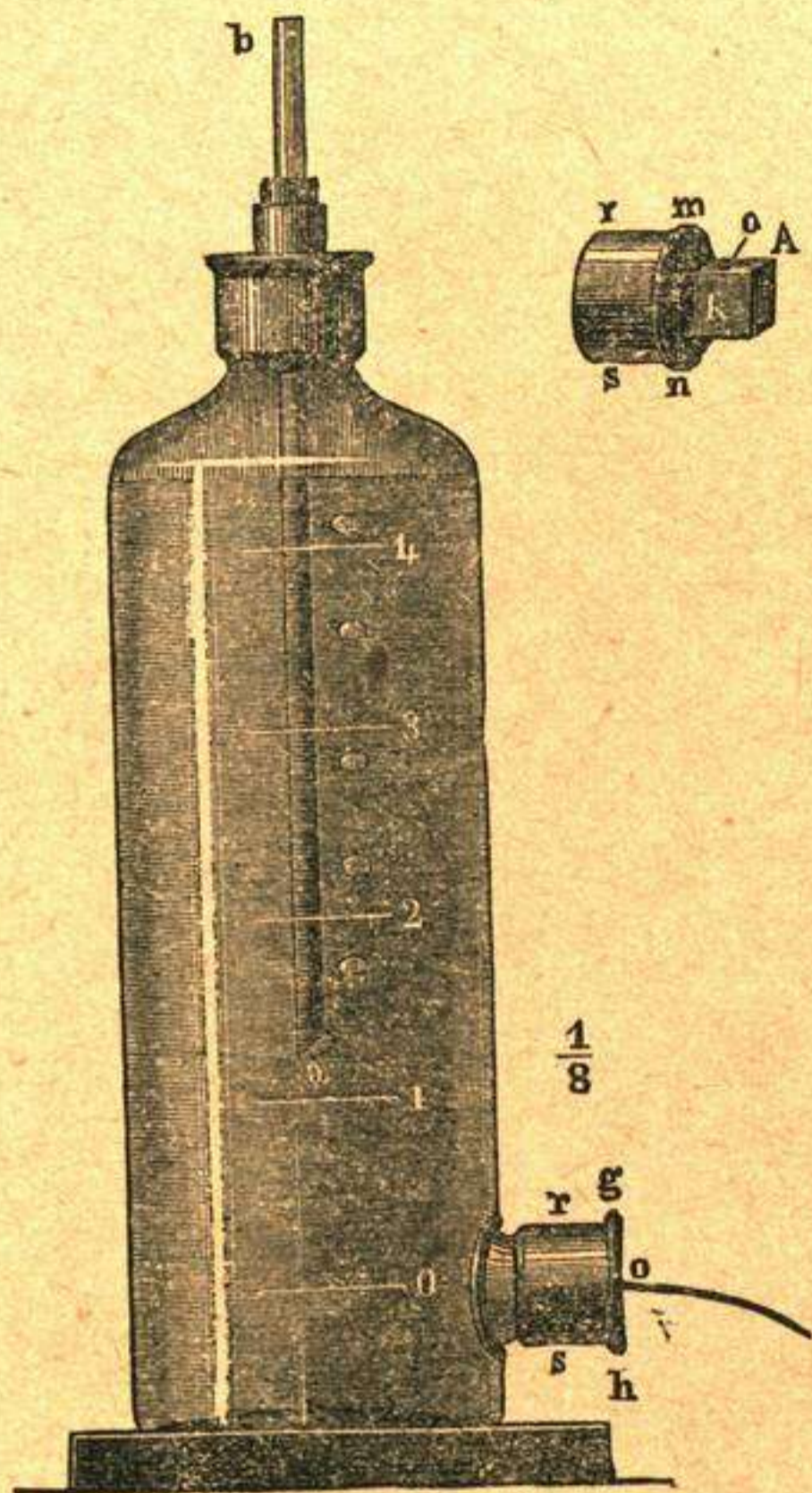


Fig. 35.

tapada con un tapón de cristal esmerilado ó corcho, por cuyo eje atraviesa un tubo de cristal *ab*, abierto por sus dos extremos, el cual puede hundirse á voluntad en el líquido del frasco, de modo que su extremo inferior *a*, fácilmente se coloca á la altura que marque la división que en su pared lleva el frasco, y sea conforme á la experiencia. Estas divisiones suelen ser en centímetros, y empiezan por cero, á la misma altura del orificio. En virtud de esto, á medida que sale el agua por el orificio, penetra el aire por el tubo, y en forma de burbujas sube á la superficie, manteniéndose así en equilibrio, por la presión del aire, toda la masa de agua que está por encima de la boca *a*, de modo que

sobre la velocidad de salida por el orificio *o*, sólo ejerce su influjo la columna líquida que hay desde él hasta la boca *a*, según esté la boca inferior del tubo á la altura de 1, 2, 3 ó 4 centímetros del orificio, así es la velocidad de la salida del líquido; es decir, como la caída de un grave desde la altura de 1, 2, 3 ó 4. Para la salida horizontal se pone en el orificio un disco *gh*, que tiene un orificio determinado, en su centro. El chorro de salida tiene la figura de una parábola.

Si en lugar del disco *gh* se pusiese el *m n* ya descrito, el chorro sería vertical, y debería subir hasta la altura que estuviese la boca *a*; pero esto no sucede, pues, por el rozamiento del agua con las paredes, por la resistencia del aire, y el peso de las partículas superiores del chorro sobre las inferiores, siempre llega á menor altura que la teórica: mayor se conseguiría en iguales circunstancias inclinando un

poco el chorro, de modo que no siguiese la vertical, pues que las partículas que ascienden no sostendrían á las que descienden.

La *cantidad de líquido vaciada* por un orificio en un tiempo dado, es claro que depende de las dimensiones de él y de la velocidad de salida. Si todas las partículas del líquido atravesasen el orificio con la velocidad que expresa el principio de Torricelli, se tendría que la cantidad vaciada en un segundo consistiría en un cilindro (supuesto que el orificio fuese circular), cuya base es de área como el orificio, y su altura igual al espacio que con la velocidad de salida recorrería una partícula del líquido en un segundo de tiempo. Pero la expresión de este espacio es justamente la de la velocidad, ó sea  $\sqrt{2gs}$ ; luego si se designa por  $A$  el área de la abertura, la expresión teórica de la cantidad vaciada en un segundo, será llamándola  $G = A\sqrt{2gs}$ .

Si, pues, el orificio  $o$  abierto en la pieza  $gh$  (fig. 35) es un círculo de 5<sup>mm</sup> de diámetro y la altura de presión es de 10 centímetros, se tiene:  $G = \pi 0,25^2 \sqrt{2 \times 9,8 \times 10} = 27,475$  centímetros cúbicos por segundo, y por tanto, 1648,5 en un minuto (á nivel constante).

Este es el gasto teórico: el práctico, es decir, el que en las experiencias se observa, es menor; lo cual demuestra que no todas las partículas del líquido atraviesan el orificio de salida con la velocidad que se calcula, según la presión.

Realmente, esta velocidad sólo la tienen las partículas que atraviesan por el centro del orificio, y disminuye en aquellas que pasan próximas á las paredes. y tanto más, cuanto más cerca pasan. De aquí que las capas del líquido que están perpendicularmente respecto del orificio, no tienen una velocidad idéntica en todas sus partes, sino que se mueven más despacio las porciones que están más lejos del centro de aquél, y precisamente ha de resultar un rompimiento de



Fig 36

la capa y de entremezclarse las partículas de unas con las de otras, colocándose con esto á un lado y otro de la fila central como si no corrieran en dirección paralela al eje del orificio, sino convergentes entre sí. Esto es lo que se quiere representar en la figura 36. De esto depende que el chorro no sea perfectamente cilíndrico, sino que á cierta distancia del orificio se estreche, á lo cual se llama *contracción de*

*la vena fluida*. Así en  $cd$  la sección del chorro es  $\frac{2}{3}$  del área del orifi-

cio, y por eso el gasto efectivo viene á ser  $\frac{2}{3}$  del teórico. De modo que si se llama  $G_1$  se tiene  $G_1 = \frac{2}{3} G = \frac{2}{3} A \sqrt{2gs}$ , ó sea  $G_1 = 0,64 A \sqrt{2gs}$ .

Las experiencias de Tresca, haciendo que los sólidos fluyan por un orificio como los líquidos, especialmente con el plomo sometido á una gran presión, han confirmado la constitución teórica de la vena líquida; el estudio de la constitución de la vena sólida (digámoslo así) ó barra de plomo que fluye por un orificio mediante la presión de una masa sólida de plomo, muestra las diversas capas transversales de que se compone, y en éstas la desviación de las moléculas. El conjunto de láminas están en su centro (allí donde corresponde el del orificio) comprimidas, afectando una forma parecida á una superficie cilíndrica de revolución, figurando á manera de una serie de tubos enchufados unos en otros, con otras particularidades que demuestran la exactitud de la constitución teórica de la vena líquida.

**Reacción y fuerza viva de las caídas de agua.**—Es evidente que si en una vasija se abre un orificio, la presión sobre la parte de pared que había se anula, en tanto que permanece la que en la cara opuesta ejerce el líquido: el equilibrio que había antes por la igualdad de presiones en todos sentidos sobre las paredes se ha roto, y si en este estado se disponen las cosas de modo que pueda manifestarse este movimiento, se tendrá de un modo visible como acontece en el aparato conocido con el nombre de rueda de agua de Seguer. Consiste (fig. 37) en una vasija cilíndrica de eje vertical, que pueda girar fácilmente alrededor de éste; en su parte inferior lleva dos tubos de salida en línea recta horizontal, que tienen un pequeño orificio en sus extremos y en lados opuestos. El aparato empieza á girar en cuanto el agua empieza á correr.

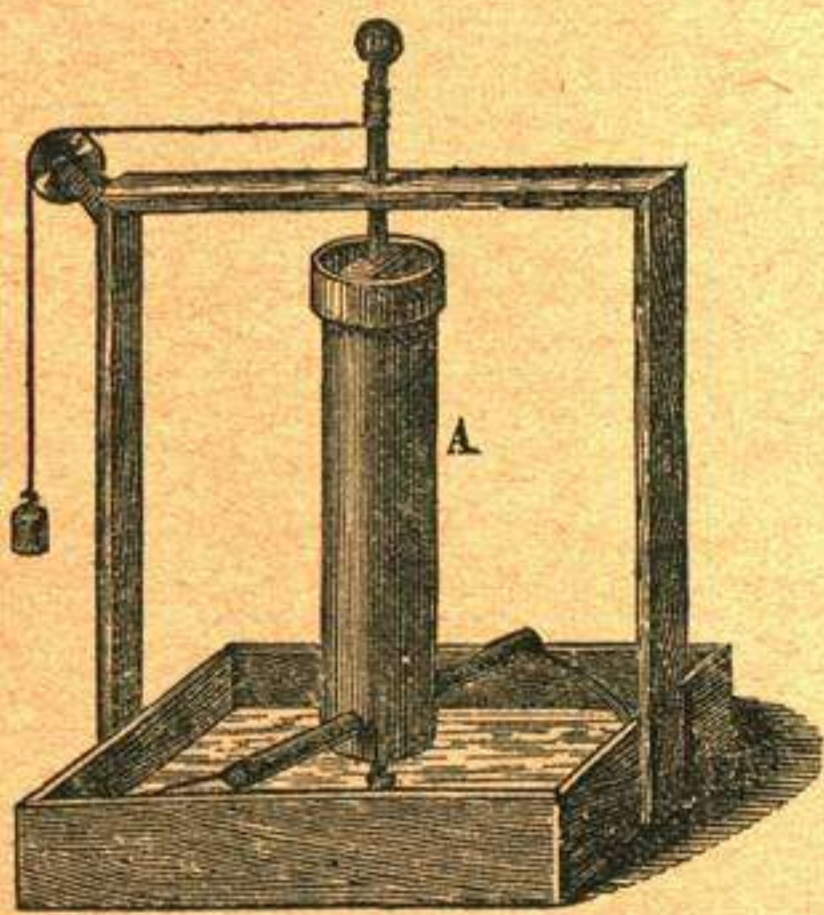


Fig. 37

**Fuerza viva de la caída del agua.**—Si se llama  $P$  el peso de la masa de agua que sale en un segundo por un orificio, y  $H$  la altura de caída, la gravedad le presta un efecto positivo  $E$ , expresado por

la igualdad  $E = P \cdot H$ , y el cual puede ser transformado en las máquinas en un trabajo útil. Este aprovechamiento puede disponerse:

1) Haciendo que el agua adquiriera su velocidad por la caída desde una altura y trasladando la fuerza viva que adquiere á otro cuerpo, con el cual se hace chocar: tal sucede, por ejemplo, en todas las llamadas ruedas hidráulicas de paletas.

2) O se aprovecha el peso del agua en su caída por la presión que ejerce sobre un cuerpo movable, de modo que no adquiere el agua toda la velocidad de su caída, sino que se deja caer poco á poco, como principalmente se hace en las máquinas de columna de agua: también pertenecen á esta clase las llamadas turbinas. En todas estas máquinas la fuerza viva de la masa de agua que cae, es, en cierto modo, empleada en el instante mismo en que se produce.

Sea cualquiera la manera de aprovecharse de la fuerza viva de una caída de agua, jamás se consigue el *efecto teórico* que expresa el producto  $P \times H$ . En primer lugar y en las máquinas de la primer especie, porque el agua no corre constantemente con una velocidad determinada; y en las de la segunda especie, porque no se puede conseguir que caiga sin aceleración alguna. Además de esto, una gran parte de la fuerza viva de la caída, se emplea en vencer rozamientos del agua en los canales, así como los de las diversas partes de la máquina: así que aun con las mejores máquinas hidráulicas, sólo se aprovecha un 70 por 100 del efecto teórico.

**Capilaridad. — Fenómenos capilares.** — A consecuencia de la

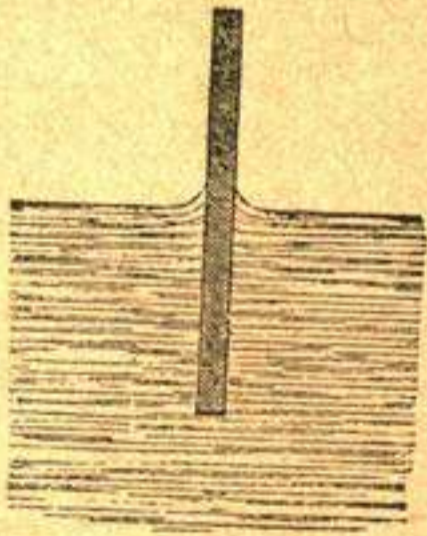


Fig. 38.

atracción que tiene lugar entre sólidos y líquidos, la superficie libre de los líquidos, que es en general horizontal, sufre una perturbación cuando se pone en contacto con aquellos. La forma que toma por esta alteración, depende de que el líquido moje ó no al sólido.



Fig. 39.

La superficie horizontal de un líquido subcontacto con el sólido si moja á éste (fig. 38), es decir, que hay una *elevación*; por el contrario, existe una *depresión* (fig. 39) si no lo moja. Estas figuras representan una lámina de vidrio introducida verticalmente en agua y mercurio.

Por esto la superficie de los líquidos en los depósitos en que están

contenidos, nunca es horizontal cerca de las paredes, sino que siempre existe elevación ó depresión.

**Dentro de un tubo capilar.**—Si un tubo ancho se sumerge en un líquido, la superficie interior está á la misma altura que la exterior, según la teoría de los vasos comunicantes, y es horizontal fuera de las partes cercanas á las paredes del tubo, en las cuales las elevaciones ó depresiones interiores y exteriores son idénticas. Pero si suponemos que el tubo va estrechándose y llega á ser suficientemente delgado, ocurre otro fenómeno; el líquido asciende ó desciende en el interior, respecto de la superficie exterior, según que el tubo sea ó no mojado.

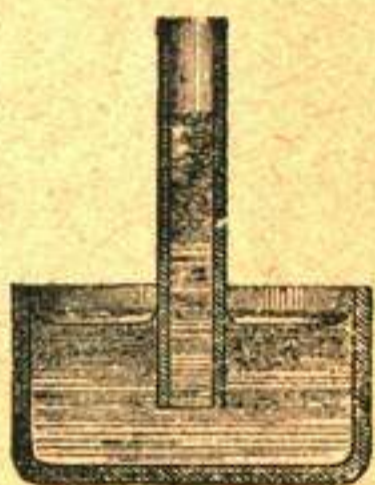


Fig. 40.

Los tubos en que esto acontece se llaman *capilares*.

Las figuras 40 y 41 representan el fenómeno: la primera es un tubo de cristal introducido en agua ó alcohol, y la segunda en mercurio.

**Meniscos.**—La superficie curva del líquido dentro del tubo se llama *menisco*.

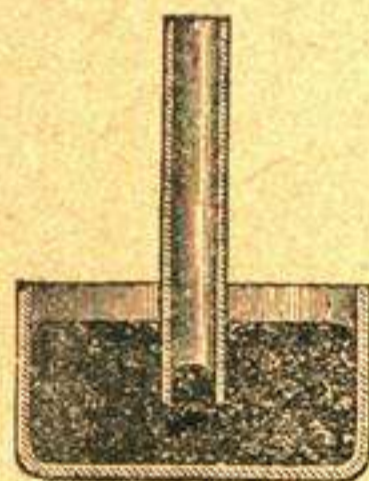


Fig. 41.

La fuerza que produce este fenómeno se llama *atracción capilar* ó simplemente *capilaridad*.

La altura á que por la capilaridad asciende un líquido en el interior de un tubo que es mojado, es independiente del grosor de las paredes y de la materia del tubo; sólo depende de la naturaleza del fluido. Esta altura es inversamente proporcional al diámetro interior del tubo.

Según esta ley, si se llama  $A$  esta altura,  $n$  un factor constante dependiente de la naturaleza del líquido y  $d$  el diámetro interior del tubo expresado en milímetros, se tiene  $A = \frac{n}{d}$ .

La fuerza que obra en estos tubos capilares es la que hace ascender los líquidos en los papeles secantes y las grasas en las bujías y lámparas, produce la esflorescencia de muchas sales, y es (entre otros muchos ejemplos que pudieran ponerse) la causa de que los jugos circulen en las plantas por sus delgadísimos tubos, desde las raicillas hasta sus tallos más elevados.

**Endósmosis y difusión.**—La mezcla de dos líquidos diferentes tienen lugar cuando la atracción de las moléculas de uno, respecto de las del otro, es mayor que la cohesión de las de este líquido entre

sí. El agua y el aceite no se mezclan: en cambio, el espíritu de vino y el agua se mezclan íntimamente. Esta penetración de un líquido en la masa de otro, formando una mezcla, se llama *difusión*.

En los líquidos susceptibles de mezclarse, si se les separa por un tabique poroso, la mezcla se realiza á través de éste, estableciéndose una corriente en uno ú otro sentido, según el líquido que más fácilmente puede mezclarse. Así, por ejemplo (fig. 42), un tubo de vidrio, tapado en su parte inferior por una membrana, se llena en parte de una disolución concentrada de cristales de sulfato de cobre (vitriolo azul), y se sumerge por el extremo tapado en una vasija con agua, se establece una doble corriente á través de la membrana; pero más activa una de ellas, que es la del agua al vitriolo azul (á consecuencia de lo cual asciende el líquido en el tubo), y la otra más débil, pero suficiente para azular el agua de la vasija.

Estas corrientes, al través de las membranas, se llaman *endósmosis*, y más propiamente *diósmosis*.

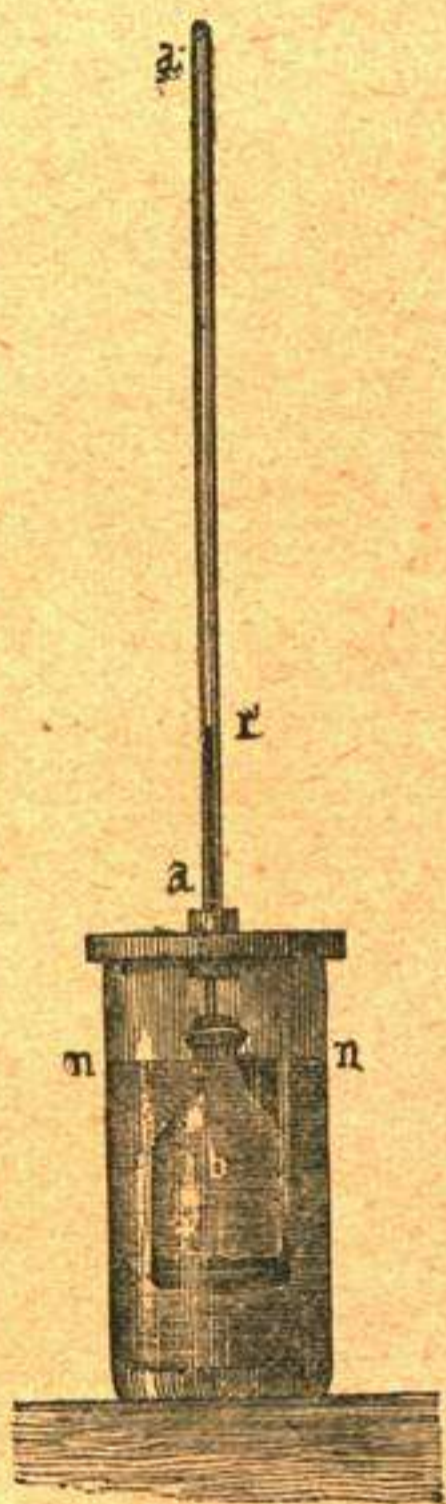


Fig. 42.

# LECCIÓN 9.<sup>a</sup>

## Cuerpos gaseosos

9.28.

**Caracteres generales.**—El segundo de los estados fluidos es el gaseoso, cuyos caracteres distintivos, y que lo separan de los líquidos, consisten en su expansibilidad y compresibilidad. Manifiéstase la primera por una presión de las partículas gaseosas, ya en el interior de la masa del gas, ya contra las paredes del recinto en que está encerrado. Esta cualidad, como se comprende, distingue bien los líquidos de los gases, porque las condiciones de equilibrio en los primeros dependen ante todo de la gravedad; lo que no ocurre en los segundos porque está contrarrestada por el calor.

**Fuerza expansiva y peso.**—La teoría atómica explica esta propiedad de los gases, admitiendo que la fuerza expansiva de la envoltura etérea de los átomos ó moléculas, es, en este estado de la materia, mucho mayor que la cohesión entre aquéllos, por lo cual no es posible que se establezca el equilibrio entre las fuerzas moleculares existentes en los gases, y de aquí la necesidad de una presión exterior que contrarrestando la fuerza expansiva, limite la dilatación ó aumento de volumen que sin ella tendría el gas.

A pesar de esta fuerza expansiva, no por eso dejan los gases de estar sujetos á la acción de la gravedad, ó de ser ponderables. La demostración es directa, y por medio de las balanzas, como en los sólidos y líquidos, y para ello se llena un matraz ó globo de vidrio de suficiente capacidad para que el volumen de gas que dentro puede contener, pese lo bastante para hacerse sensible en una buena balanza. Si se pesa el matraz lleno de aire y después se extrae éste (ya veremos las máquinas propias para ello) y se pesa vacío, se nota una diferencia en menos que manifiesta el peso del gas extraído. Esta experiencia y todas las referentes á los gases, en cuanto se trata de propiedades generales y dependientes de tal estado de la materia, y no de la naturaleza especial de cada uno, se hacen con el más abundante y que nos envuelve y cubre toda la tierra, como una

especie de mar en cuyo fondo vivimos, y cuyo gas se llama á una porción cualquiera «aire atmosférico» y á todo su conjunto «Atmósfera». Así, pues, la experiencia anterior se hace generalmente con aire atmosférico; también se suele hacer la experiencia en un orden inverso, á saber: pesando primero el matraz vacío de aire y todo gas, y después dejando entrar el aire, el resultado es el mismo.

La fácil separación de las partículas de los gases, cuya propiedad es común á los dos estados fluidos, hace que también subsistan para los gases las leyes á que obedecen los líquidos en virtud de aquella facilidad. Así el principio de Pascal tiene su aplicación á los gases formulado del modo siguiente: *Toda presión ejercida sobre una parte de un gas, se traslada por éste con igual fuerza en todas direcciones.*

**Atmósfera.**—La capa gaseosa que rodea á la tierra se llama atmósfera; este gas es una mezcla de otros dos llamados Oxígeno y Nitrógeno; ella penetra y llena todos los espacios no ocupados por los sólidos y líquidos, y aunque no sea perceptible por el sentido de la vista, no deja duda de su existencia corpórea á falta de otros hechos, por la sensación que causa y los efectos que produce puesta en movimiento, que es lo que se llama «viento».

**Determinación de la magnitud de las moléculas gaseosas.**—De la constitución de los gases, dedujo Lorchmidt que considerando un gas como formado de moléculas separadas que se mueven constantemente en línea recta hasta chocar con otra ó con las paredes del recinto, y consideradas de la forma esférica, su trayectoria es un espacio cilíndrico, igual para todas las moléculas de un mismo gas, al cual llamó la «trayectoria molecular»: del cálculo de las dimensiones de ésta y en el cual introdujo el valor del que llamó «coeficiente de condensación», encontró que el «*Diámetro de una molécula de aire atmosférico es igual á la millonésima parte de un milímetro*».

Calculó, según esto, que en un milímetro cúbico de aire hay 866 millones de moléculas, y si el aire fuese comprimido sobre un líquido habría un trillón.

**Límites teóricos.**—Los límites de la atmósfera no pueden fijarse sino teóricamente.

En Río Janeiro se han hecho observaciones sobre la influencia de las regiones del aire dilatado en los fenómenos crepusculares, y de ellas ha deducido Liais que el aire alcanza en sus últimas capas más dilatadas una altura de 305 kilómetros, y es posible que lleguen hasta 340 sobre el nivel de los mares.

Kerber, considerando á la atmósfera como un sistema óptico de



medios refractantes, cuyos puntos principales de refracción, nodales y principal se pueden determinar y servir de datos para calcular su altura, ha deducido que ésta es de 189 kilómetros.



Fig. 43.

**Barómetro.**—Multitud de experiencias fáciles de adivinar, prueban que la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la tierra, dependiente de su peso: entre todas, la más concluyente es la llamada experimento de Torricelli, que fué en esencia el siguiente: Si se toma un tubo de cristal (fig. 43) de unos 80 centímetros de largo, cerrado por un extremo y abierto por el otro, se llena con mercurio y tapa con el dedo, y hecho esto, se introduce el extremo tapado en una taza con mercurio, y se quita el dedo, se ve si se mantiene vertical el tubo, que la columna interior de mercurio desciende un poco, quedando suspendida dentro hasta unos 76 centímetros de altura, y dejando en su parte superior un espacio vacío, que es á lo que se llama *vacío de Torricelli*. Tal fenómeno es absolutamente inexplicable, según las leyes de hidrostática, sin la existencia de una presión sobre la superficie del líquido en la taza, capaz de equilibrar sobre cada parte de ella, igual en área á la sección del tubo, el peso de la columna de mercurio que tiene por base la boca del tubo y por altura la que marque en la vertical la columna suspendida; y como quiera que sobre la superficie libre del líquido, en la taza no hay más que la atmósfera, precisamente ésta ha de ser la que ejerza la presión necesaria antedicha para que el hecho se verifique. Es, pues, la superficie de la tierra, respecto del fluido, aire atmosférico, lo que el fondo de los mares respecto del agua.

Suele decirse que tal como se ha relatado ejecutó la experiencia Torricelli; pero no fué así como la verificó el discípulo de Galileo, sino del modo siguiente: llenó un tubo, cerrado por un extremo y de seis pies de alto, con mercurio, y tapando su boca con el dedo, lo sumergió verticalmente en una vasija profunda que contenía mercurio y encima agua: quitando el dedo cuando la boca del tubo estaba en la parte llena con mercurio en la vasija, vió que el del tubo caía hasta una altura de unos 76 centímetros; levantó después el tubo, de modo que su boca saliera de la parte de mercurio de la cubeta y desembocase en la que tenía

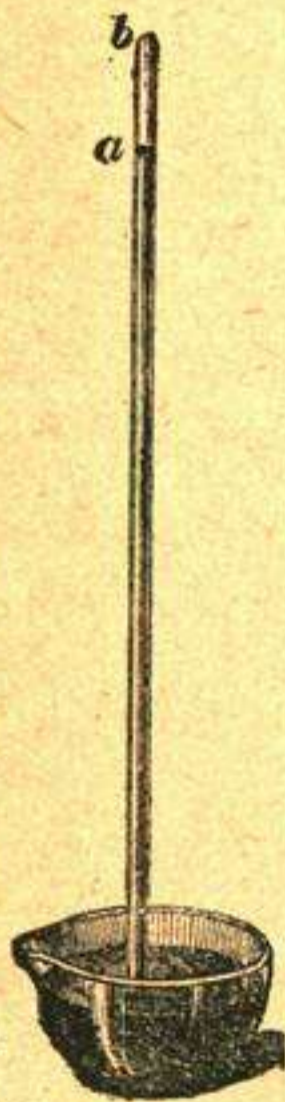


Fig. 44.

el agua, y vió que todo el mercurio del tubo cayó á la vasija é inmediatamente el agua se precipitó dentro de él, llenándolo por completo. El análisis y repetición de estas experiencias á diferentes niveles en la superficie de la tierra, y principalmente las observaciones de Pascal en lo alto de las montañas de Puy de Dome, en Francia, hicieron conocer y perfeccionar la teoría de estos fenómenos, y mostraron entre otras propiedades de mucho interés que las capas de atmósfera inferiores á la taza en que se sumerge el tubo no influyen en la altura de la columna suspendida.

El experimento referido, no sólo prueba la existencia de la presión atmosférica sobre la superficie libre del líquido de la taza, si que también da desde luego la idea de un instrumento para medirla, toda vez que teniendo que existir un perfecto equilibrio entre el peso de la columna suspendida y la presión que la atmósfera ejerce sobre el líquido de la taza ó cubeta, es evidente que al menor aumento ó disminución de esta presión, corresponderá un ascenso ó descenso dentro del tubo, de la columna, que en tal instante equilibra con su peso la presión exterior. Supuesta, pues, la ausencia de otra presión interior del tubo por un vacío perfecto de aire en su parte superior ó cámara, la disposición del experimento viene á constituir una balanza siempre en equilibrio, pues si por un lado aumenta la presión de la atmósfera, por otro aumenta también en cantidad igual el peso de la columna de mercurio, lo cual no puede realizarse sin que aumente su altura dentro del tubo: de aquí el que las variaciones de altura de esta columna pueda servir de medida de las variaciones sucesivas de la presión atmosférica.

No sólo han sido las leyes hidrostáticas las aprovechadas para exteriorizar y medir las variaciones de la presión atmosférica como pronto veremos, y se concibe también que no sólo con mercurio se pueda establecer el equilibrio en cada momento entre el peso de una columna líquida dentro de un tubo cerrado, y la presión atmosférica en la cubeta en la cual se sumergía su boca. Así que puede repetirse la experiencia de Torricelli, con agua ó glicerina, etc., con tal de dar suficiente longitud al tubo, teniendo así el mismo resultado que si fuese mercurio; pero se necesitaría de tubos muy largos (más de 10 metros para agua, y de  $8 \frac{1}{2}$  á 9 metros para glicerina), lo cual, aparte de otros inconvenientes, ofrece el de lo embarazoso de la instalación de tales aparatos y la imposibilidad de su transporte, por lo que, y siendo el mercurio el líquido más denso conocido, á la tem-

peratura ordinaria, es el que ofrece este equilibrio con un tubo más corto.

Sellaman, pues, *Barómetros*, todos los instrumentos capaces de medir la magnitud de la presión atmosférica en un lugar y en cada momento.

Los barómetros son de líquidos ó sin líquidos. Los barómetros de líquidos son aquellos en los que la presión atmosférica está equilibrada por el peso de una columna de mercurio dentro de un tubo cerrado, vacío en su parte superior, verticalmente colocados y sumergida su boca en una cubeta con mercurio de superficie libre. Es claro, que la altura de la columna que dentro del tubo equilibra la presión exterior, es la distancia que hay desde el nivel del líquido en la cubeta, hasta el punto más alto del mismo dentro del tubo.

Para medir esta altura se suele poner en el marco ó estuche en que se sujeta el tubo, una graduación en milímetros, que empieza en cero, justamente donde llega el nivel libre del mercurio en la cubeta, y se prolonga hasta los 780 ó pocos más milímetros.

**Diversas formas de barómetros de líquidos.—**

Los barómetros de mercurio que tienen valor científico son los llamados *Normales*, los cuales son propios para observatorio y que no se han de trasportar; y para ser trasportado, el de *Fortín*. Estas formas serán las que describiremos, prescindiendo de los detalles para su construcción, pues son muy minuciosos y delicados y á ningún resultado útil conduce para los que no han de construirlos. Baste saber que el mercurio ha de ser muy puro y completamente purgado de aire; con ello en la cámara barométrica existirá el vacío más completo posible y necesario para la exactitud de las indicaciones del instrumento.

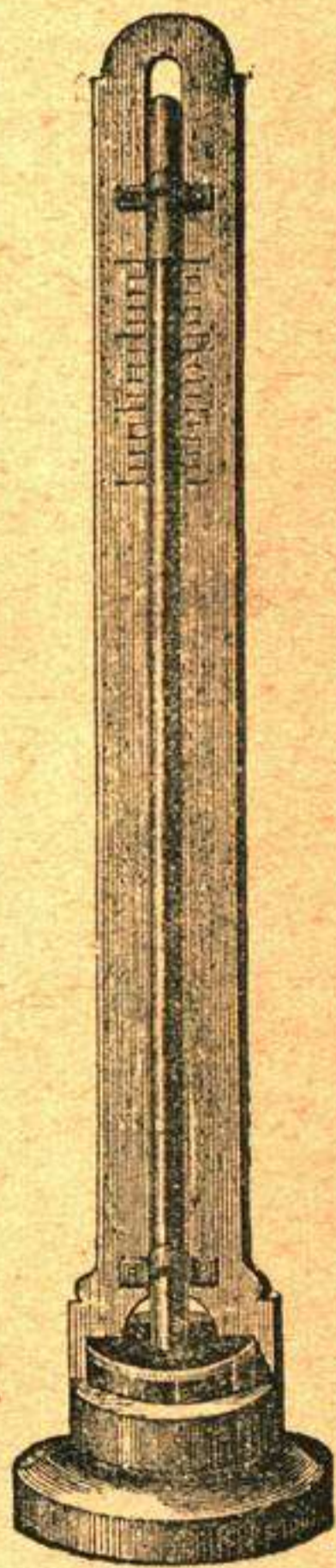


Fig. 45.

**Barómetro Normal.**—Consiste este barómetro (fig. 45) en un tubo de cristal lo mejor calibrado posible y de un diámetro interior á lo menos de 1 centímetro, el cual se sumerge en una cubeta ancha con bastante mercurio y se halla sostenido por un marco unido á la peana y todo dispuesto para situar el tubo lo más verticalmente posible. Regularmente

no llevan escalas graduadas y se mide la altura de la columna en cada momento por medio de un «Catetómetro».

En otros barómetros, llamados también normales, suele haber una escala con un nonius, pero ésta es movable en la vertical, ó si es fija, es movable el fondo de la cubeta, de manera que en cada momento se puede conocer dónde está el cero para la escala.

En general, el nombre de «Normal» se da á aquellos barómetros de mercurio de mucho diámetro su tubo y en los que el cuidado y esmero de su construcción evitan ó aminoran las causas de error. Tienen el grave inconveniente los instrumentos, como el primera-

mente descrito, de que no son trasportables.

**Barómetro de Fortín.**—La mejor disposición dada á los barómetros de mercurio para ser trasportados, es la debida á Fortín, cuyo nombre llevan los que obedecen á su sistema. Consiste su particularidad en poder colocar para cada observación, á un nivel constante dado, la superficie del mercurio en la cubeta, para lo cual (fig. 46) el fondo de ésta *l, l*, es de goma (y aun mejor de caoutchout no vulcanizado, y por fuera de cuero) y el cual puede subir ó bajar por un tornillo *s* que lo empuja. Para marcar el nivel á que debe llegar el líquido en la cubeta, lleva ésta en su tapa una punta de marfil *r*, cuya imagen se ve en el mercurio: por medio del tornillo se consigue que la punta toque á la de su imagen, y entonces esa punta es el *Cero de la escala*. El tubo, así como la cubeta, (menos la banda superior de ella que se deja sin cubrir para arreglar el nivel) van cubiertos por una envuelta de latón con una funda por cada lado y donde próximamente ha de llegar la columna. Los bordes de la envuelta se

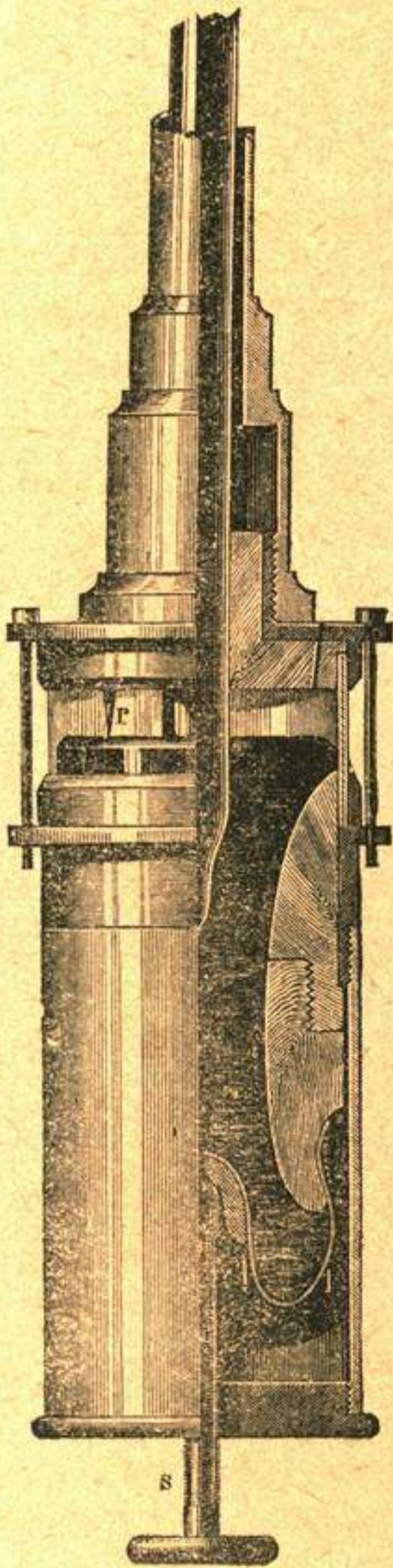


Fig. 46.

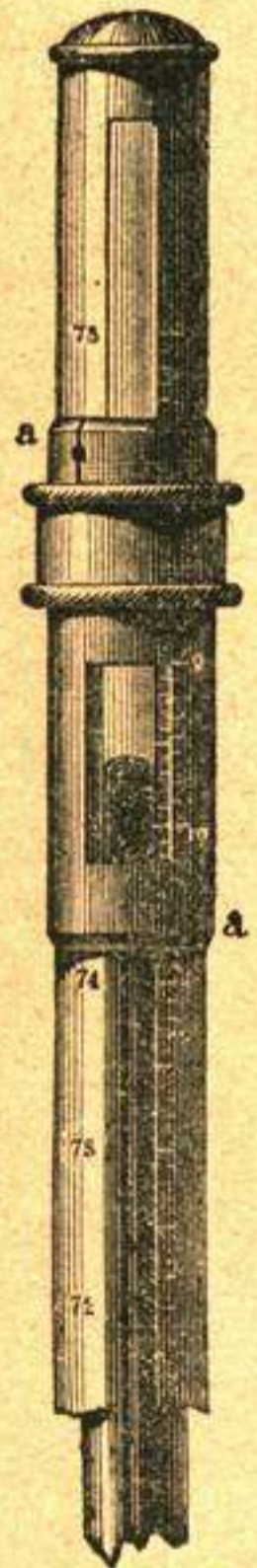


Fig. 47.

dividen en milímetros y sobre ella corre un pasador *aa* (fig. 47) que

tiene dos fendas que corresponde á las de la envuelta y son un poco más anchas que éstas, y á través de las cuales se puede ver hasta donde llega el vértice de la columna en el tubo y la graduación que marca en los bordes de la envuelta. Para apreciar con más exactitud la altura, uno de los bordes de la fenda del pasador *a a*, va dividido de modo que sirva de nonius para la graduación de la escala.

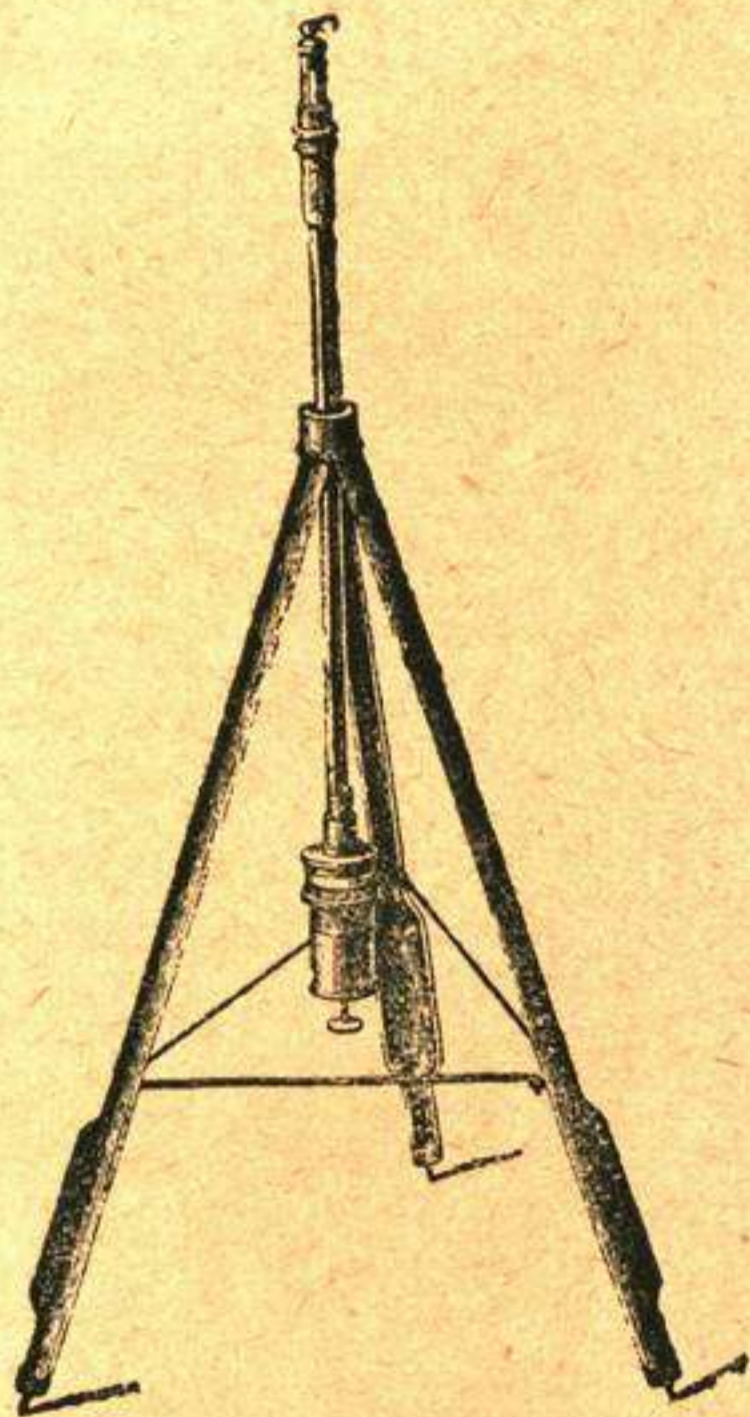


Fig. 48.

La disposición movable del fondo de la cubeta hace muy trasportable este barómetro, pues está calculada su capacidad de modo que subiendo el tornillo *s*, se llena de mercurio todo el tubo, con lo cual se evita el martilleo del líquido contra el fondo de la cámara, cuando se lleva de una parte á otra, pues queda como una barra sólida la columna del tubo y el mercurio de la cubeta.

Llegado al lugar de observación, se restablece el nivel de la cubeta como se deja dicho, y regularmente se monta el instrumento sobre un trípode (fig. 48) que lleva en su vértice la suspensión llamada de Cardano, ó de los dos aros concéntricos articulados por los extremos de dos diámetros perpendiculares; con lo cual, al dejar de oscilar, queda vertical. En este momento se hace la observación.

Para más facilidades en el transporte, el trípode cerrado constituye la envuelta exterior ó estuche del barómetro.

## LECCIÓN 10

Lectura y correcciones de la altura de la columna barométrica: su valor meteorológico: otras aplicaciones y modelos de los Barómetros.

L. 29.

No es tan fácil, como á primera vista parece, hacer una exacta lectura de la altura de la columna de un barómetro, y aun supuesto que se aprecie, hay que hacer en ellas ciertas correcciones, por la influencia que sobre esta altura tienen otras causas extrañas á la mera presión atmosférica. Por último, y si las lecturas de los barómetros hechas en distintos lugares se han de comparar, preciso es reducirlas á condiciones de homogeneidad, de altitud de los lugares de observación, refiriéndose á uno que sirva de tipo ó referencia general, y también á una misma temperatura. De todas estas precauciones, correcciones y reducciones, vamos á tratar brevemente.

Suponemos, ante todo, un instrumento bien construído, es decir, perfectamente calibrado el tubo, puro y purgado de aire el mercurio, vacía la cámara barométrica y cuidadosamente graduada la escala: además, suponemos también vertical el tubo, y sacudido con un ligero golpe en el momento de la observación para facilitar el movimiento de la columna dentro, si es que hay alguna adherencia entre el vértice de ella y las paredes del cristal: la parte de mercurio en contacto con el aire exterior se suele oxidar, y para evitar la adherencia de la superficie oxidada con las paredes, suelen algunos observadores tener los barómetros inclinados  $20^{\circ}$  ó  $30^{\circ}$  con la horizontal, y sólo los ponen verticales al observarlos.

Esto supuesto, la primera circunstancia que se opone á una exacta lectura es la apreciación de cuál sea el principio y el fin de la columna. El principio sabemos que es el nivel del líquido en la cubeta, y ahí está el cero de la escala. En los barómetros normales que se mide por el catetómetro, basta dirigir la primer visual que pasa por la cruz filar del anteojo, de modo que sea tangente á la parte más alta de la superficie del líquido en la cubeta, y se tiene el punto más bajo de la

distancia que se mide: en los de fondo movable de la cubeta, la tangencia de la punta de marfil señala el cero de la escala. Supuesto determinado el cero, hay que fijar el otro extremo de la columna: éste es en lo alto ó vértice de la superficie convexa ó menisco en que se dispone el mercurio, dentro del tubo barométrico. Aquí hay una precaución que tomar, y es que la visual del observador ha de ser tangente al vértice de este menisco, y el punto de la escala en que el plano horizontal que pasase por esta visual cortase á la escala, esa será la altura. Compréndese, pues, que el observador se ha de colocar de modo que su visual á lo alto del menisco sea horizontal. Varias disposiciones se han dado á los tubos barométricos para conseguir esto: la mejor es la de Weber, y consiste (fig. 49) en poner delante



Fig. 49.

del tubo barométrico una banda de cristal, la cual está de arriba abajo dividida en dos partes, una trasparente y la otra estañada como un espejo: esta parte lleva los trazos de la escala. Puesto el observador delante de esta lámina de cristal, la imagen del ojo, reflejada en la parte del espejo, hace conocer si está ó no á la misma altura que el medio menisco que deja ver la banda trasparente. Como la lectura se hace en los trazos que se ven por reflexión en el espejo, hay entre la magnitud verdadera de la separación de éstos y su imagen una variación que se aprovecha como nonius y que exige una habilidad y estudio especial en el observador.

Supuesto que verdaderamente la lectura hecha sea exacta, es decir, la verdadera distancia desde el nivel libre en la cubeta hasta el vértice del menisco en la cámara, hay que corregir el número leído por dos razones.

La primera es por el *error de capilaridad*, ó sea porque no mojan-do el mercurio al cristal, no sube hasta donde debería de subir, sin esa circunstancia, en virtud de la presión atmosférica: este inconveniente crece á medida que el tubo es más estrecho, de aquí el que en los barómetros normales (ó sea más exactos) los tubos sean anchos; de aquí también el que en los barómetros de sifón en que la lectura se hace, tanto en la rama cerrada como en la abierta, este error se compense, pues rige para ambas en el mismo sentido de deprimir las alturas dentro de ellas, y sus lecturas se han de restar.

De todas maneras, y en los barómetros como los de Fortín, hay

que hacer la corrección, cuyo *cuánto* se indica en tablas á propósito que contienen por un lado los milímetros del diámetro de los tubos, y por otro los milímetros correspondientes que hay que *sumar* á la lectura hecha para corregir en cada instrumento el error debido á esta causa.

La segunda corrección que hay que hacer en la buena lectura de un barómetro, es la de *temperatura*. Sabido es que un aumento de calor dilata á los sólidos y líquidos; así, pues, hay que contar que las partes sólidas y líquidas de los barómetros se dilatan con los incrementos de temperatura, y por tanto, que hay que tener en cuenta para corregirla esta causa que influye en la altura de la columna. También para esto hay construídas tablas, en las que para dimensiones y temperaturas dadas del barómetro, indican los milímetros que hay que *restar* de la altura leída si son grados sobre cero, ó *sumar* si son bajo cero los del termómetro. Para esto, á todo buen barómetro le acompañan uno ó dos termómetros.

Verificadas las correcciones, y para comparar las lecturas en diferentes lugares, hay que *reducirlas*. Reducir lecturas barométricas es referir las indicaciones del barómetro en un lugar, á lo que serían si se hubiese colocado en condiciones determinadas de altitud y temperatura. La altitud tomada como tipo es «la del nivel medio de los mares», la temperatura tomada como tipo es la de 0° C. Así, pues, reducir una lectura es hallar lo que sería la presión observada si se estuviese al nivel del mar y 0° C.

Para esto hay fórmulas especiales y tablas generales ó especiales de cada instrumento, y cuyo detalle omitimos, refiriéndonos á las monografías particulares de esta materia.

Como muestra de las tablas de todas estas correcciones, pueden verse las incluídas en el Apéndice.

Para la reducción de las lecturas al nivel del mar, ó sea la corrección de altitud, se deben de tener presentes los siguientes datos: 1.º, un conocimiento exacto de la altura sobre el nivel del mar del punto de estación del barómetro observado; 2.º, de la temperatura del momento de observación; 3.º, de la presión ó altura de la columna en el punto de estación y en el mismo momento. Supuesto conocidos estos datos, se han construído tablas que dan para cada lectura del barómetro y temperatura observada, los milímetros que se deben de agregar por los metros de diferencia de nivel entre el del mar y el punto de observación. Hay que tener presente, sin embargo, que tales números no son próximamente exactos más que para cortas diferencias



de nivel, pues para las muy grandes no existe un ascenso constante de nivel, por un descenso constante en la columna barométrica.

Así, por ejemplo, á 0° del termómetro C° y 760<sup>mm</sup> de presión al nivel del mar, el barómetro señalaría 759<sup>mm</sup>, si ascendiera verticalmente 10<sup>m</sup>,52. Pero no hay que deducir de aquí que en todos los lugares suceda lo mismo, aun constante la temperatura, porque esta ley varía con la altura del lugar.

Así que en las tablas (como la puesta en el Apéndice como muestra) se indica lo que es necesario que ascienda el lugar de estación á cada temperatura, para que ocasione el descenso de 1<sup>mm</sup> en la columna barométrica.

Suele llamarse *presión normal* lo que hace que al nivel del mar y 0° C la altura corregida del barómetro sea de 760 milímetros. La presión de la atmósfera sobre una superficie dada se puede traducir en peso calculando el de la columna de mercurio, cuya base fuese equivalente en área á la de la superficie dada, y su altura la del barómetro en un momento dado. El cálculo de este peso es fácil, pues se conoce el específico del mercurio.

**Variaciones atmosféricas y barométricas.** — El barómetro es considerado como un profeta del tiempo; pero en realidad nada de esto tiene. Este instrumento no señala más que la presión estática de la atmósfera que se halla sobre él, esta presión debe de haber variado en cuanto varía de altura la columna; siendo, por otra parte, la temperatura constante. Si se supone que cada viento imprime un carácter particular al tiempo, el primer paso para las observaciones sobre éste, serán las referentes á la *dirección y fuerza de aquellos*. El viento es un estado de movimiento del aire, que se acostumbra á juzgar de conformidad con las sensaciones que produce, y es muy importante conocer al mismo tiempo su estado estático, el cual lo muestra el barómetro. Se debe medir, no sólo el movimiento horizontal del aire, si que también su medida vertical; con estos dos datos se conjeturan mejor que con uno solo de ellos las variaciones que han de ocurrir en el tiempo. Sin embargo, es más común ligar las variaciones en el viento y tiempo con el estado del barómetro, y sobre ello se han dado numerosas reglas para hacer de él un profeta, y se le añadió á la escala una serie de predicciones que ningún valor científico tienen. Alguno podría dársele, si siquiera fuesen para los lugares en que sus pronósticos se hubiesen establecido mediante las relaciones observadas entre el estado del tiempo y el estático del aire, y además

que se fueran á usar en el mismo punto donde tales observaciones se han hecho.

A pesar de esto, meteorólogos ilustres como James Glaisher, admiten alguna significación á las alteraciones barométricas, pues observan que, cualquiera que sea el estado del barómetro, su repentino y rápido descenso es una señal segura de mal tiempo, y cuanto más repentina y más rápidamente baja, tanto más próxima es la variación.

También se han querido establecer relaciones precisas entre los descensos de la columna barométrica y la velocidad del viento; pero los números que se deducen no hay que tomarlos como relaciones normales entre el peso variable de la atmósfera y la velocidad horizontal de su movimiento, sino más bien como una exposición del hecho de que cuando la presión baja, el movimiento del viento crece. «El barómetro, dice Glaisher, debe considerarse por los marinos como de indicaciones *probables*, mientras que su altura es la normal; pero en cuanto baja de este punto debe de servirles de advertencia, que nunca deben de despreciar; si la depresión es repentina, es señal segura é infalible de próxima tormenta». De aquí se deduce la utilidad de conocer la altura media barométrica de los diferentes lugares de la tierra.

Jhon Ross asegura que «en las altas latitudes australes una altura de 734<sup>m</sup>,66 en la columna barométrica es señal de buen tiempo, mientras que en Inglaterra, por ejemplo, tal depresión indica todo lo contrario». Y el capitán Maury dice: «Si el marino observa su barómetro y ve que señala 742<sup>m</sup>,26 y está entonces en los 56° de latitud Norte, debe de considerarse bajo una racha; si, por el contrario, se halla bajo el grado 56 de latitud Sur, esta es la media barométrica, y le indica lo mismo que la de 757<sup>mm</sup> en los 56° de latitud Norte.

**Variaciones diarias.**—Las observaciones barométricas diarias generalmente presentan dos máximas y dos mínimas: las mayores y con más regularidad, ocurren en las regiones tropicales; disminuyen con el crecimiento de la latitud y también con la altura sobre el nivel del mar. Su duración varía con los lugares y las estaciones. En las regiones polares desaparecen casi por completo. En las tropicales, y muy templadas las horas de las máximas y mínimas, son próximas á las nueve de la mañana y de la tarde, y á las tres de la madrugada y de la tarde.

**Métodos para comparar las observaciones barométricas de distintos lugares.**—Las observaciones barométricas, hechas en pun-

tos distintos, se pueden comparar con una de dos condiciones, ó se hacen todas á las mismas horas (tal es el método sincrónico), ó deben de hacerse las observaciones, regularmente en cada estación, á horas dadas y derivar de ellas el valor mensual empleando la corrección necesaria en las observaciones.

El método sincrónico es el mejor para las observaciones meteorológicas.

**Isobaras.**—Llámanse así á las líneas trazadas sobre los mapas *que unen todos los puntos que en un momento dado tienen igual presión.*

**Relación de la dirección del viento con la de la isobara.**—Se ve, observando esta curva, que el viento sopla casi á lo largo de su trayecto, y que siempre tiene la más baja presión á la izquierda, siendo tanto mayor la fuerza del viento cuanto más se acerca el punto ó centro de depresión á la curva.

**Medida de alturas por medio del barómetro,** ó sea el barómetro como instrumento para la medición de la diferencia de altura entre dos lugares de observación.

El primero que experimentó que la presión atmosférica disminuía con la altura sobre el nivel medio del mar, fué Pascal, y fácilmente se le ocurrió que podría emplearse el barómetro como instrumento de medición de alturas. No fué tan fácil descubrir la ley del decrecimiento de la presión con el aumento de altura, y formularla, si bien el principio de Boyle ó Mariotte, que lleva el nombre de estos físicos, sirvió de punto de apoyo para las investigaciones; pero á medida que se han ido estudiando más escrupulosamente las condiciones de nuestra atmósfera y las causas que pueden influir en la mayor ó menor elevación de la columna barométrica, se han ido sucediendo las fórmulas y las correcciones y aumentando las dudas sobre las observaciones hechas, de tal modo, que son muchas las fórmulas dadas y los tratados sobre este asunto, y muchos también los naturalistas que conceden escaso valor á las medidas de alturas practicadas con el barómetro.

Sin embargo, como no son menos tachables de faltas de exactitud las observaciones en que se fundan los cálculos trigonométricos para estas mediciones de alturas, comparadas con el rigorismo con que pueden verificarse las en que se apoyan los referentes á medidas horizontales, se tiene que, aun á pesar de los errores inevitables en las observaciones barométricas, cuando á medir coordenadas verticales de dos puntos dados se aplican, conserva este instrumento un valor real para tales operaciones.

Ante todo, es preciso advertir en lo que se va á exponer, que sólo trataremos de dar una idea del empleo del barómetro con este objeto, pues ni la extensión de estas nociones de Física, ni los conocimientos hasta aquí adquiridos en la ciencia del cálculo, permiten el desarrollo de su deducción, ni menos el minucioso detalle de la serie de precauciones en el modo de operar, épocas más favorables, tablas de reducción de cálculo y demás que pueden verse en las monografías especiales (véase el Apéndice). Por tanto, no bastan estas indicaciones para coger los barómetros y hacer una medición, sino que ellas indican las generalidades de la cuestión y las fuentes á que se puede acudir para, después de un detenido estudio, poder comenzar el aprendizaje de la práctica.

Como generalidades más importantes se pueden indicar las siguientes:

La operación de medir alturas con el barómetro, estriba en conocer bien la situación de un primer lugar de estación y observar escrupulosamente en él, el estado barométrico, termométrico y psicrométrico de la atmósfera en un momento dado. Después (y si se puede por ser dos las expediciones que hacen las medidas) fijar los mismos estados en el mismo momento, en el segundo lugar cuya altura se desconoce; estos datos sustituidos en las fórmulas dan la diferencia de altura buscada.

La práctica aconseja (si la medición no tiene tiempo limitado) que se repitan las observaciones en las épocas y horas más á propósito en cada mes, cada día y cada latitud geográfica. Además, y en todo caso, que no se lleven muchos instrumentos, sino un solo barómetro y psicrómetro, bien comparados y conocidos para cada estación, y que para las lecturas se use de todas las precauciones de verticalidad del barómetro y medios micrométricos más exactos, así como la reducción de las lecturas á 0° C y nivel medio del mar, y correcciones conocidas y resguardo de las perturbaciones exteriores, principalmente de la radiación.

Se sobreentiende que los barómetros han de ser de mercurio y los Nonius micrométricos que les acompañan deben de apreciar hasta 0,05 milímetros, así como los termómetros han de tener escalas que lleguen á  $\frac{1}{5}$  de grado.

Observadas todas estas precauciones, se pueden usar dos fórmulas:

1.<sup>a</sup> Si sólo se quiere tener un conocimiento aproximado de la diferencia de alturas entre los dos lugares de observación y que están

á menos de 1000 metros de altura, basta la fórmula de Babinet, que es la siguiente:

$$h^{\text{metros}} = 16000 \frac{b' - b''}{b' + b''} \left( 1 + 2 \cdot \frac{t' + t''}{1000} \right)$$

en la cual  $b'$  y  $b''$  son los estados barométricos observados en la 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup> estación,  $t'$  y  $t''$  las temperaturas en las mismas al leer los barómetros.

Si se quieren resultados más exactos y para estaciones con más de 1000 metros de diferencia de altura, se usa de la fórmula

$$h^{\text{metros}} = 18400,2 \left( 1,00157 + 0,003675 \frac{t' + t''}{2} \right) \left( 1 + 0,378 \frac{\frac{\beta'}{b'} + \frac{\beta''}{b''}}{2} \right) \\ (1 + 0,002623 \cos 2\varphi) \left( 1 + \frac{2z + h}{6378150} \right) \log \frac{b'}{b''}$$

en la cual  $t'$  y  $t''$  son las temperaturas del aire;  $b'$  y  $b''$ , los estados barométricos;  $\beta'$  y  $\beta''$ , la tensión del vapor de agua en la estación inferior y superior;  $\varphi$  la media aritmética de las latitudes de ambas, y  $z$  la altura de la estación inferior sobre el nivel medio del mar.

**Barómetros sin líquidos.**—La presión atmosférica y sus variaciones pueden hacerse sensibles por otros instrumentos que los barómetros de líquido, como se ha conseguido por las variaciones de forma que se ocasionan en unos recintos metálicos cerrados de paredes delgadas y elásticas, que encierran aire más dilatado que el general atmosférico. Estos instrumentos, que también se llaman «barómetros de Caja» ó «Aneroides» son de muy distintas formas en sus partes constituyentes, si bien obedecen todos al mismo principio. Los principales sistemas son dos:

1.º Los aneroides contruidos por Bourdon.

2.º Los del sistema Vidi ú Holosteric.

Los del sistema Bourdon (figura 50) consisten en un tubo de latón  $aMd$  encorvado en circunferencia, de paredes delgadas, hecho el vacío dentro y herméticamente cerra-

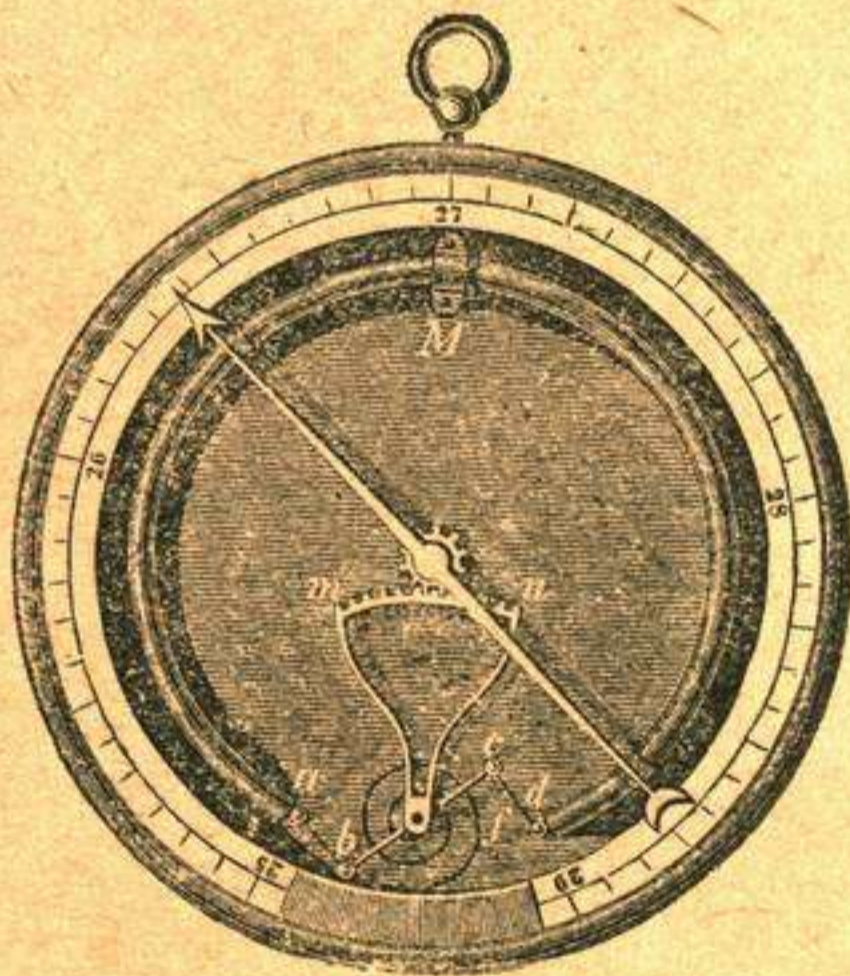


Fig. 50

do; este tubo se asegura por su parte media *M* al fondo de una caja metálica, de forma cilíndrica, cuya cara anterior es un cristal. Los dos extremos *a* y *d* del tubo quedan libres. Es claro que si la presión atmosférica aumenta ó disminuye, estos extremos se aproximarán ó separarán; la medida de este acercamiento ó separación se hace sensible por el movimiento de una aguja centrada con el círculo de la cara de cristal de la caja, y la cual se mueve por una rueda dentada unida á su eje, que engrana con un sector dentado *mn*, el cual oscila por la acción que sobre los extremos de una palanca *bc* de dos brazos, unida á su eje, ejercen los tiradores *ab* y *cd* ligados á los extremos del tubo hueco.

Este instrumento se gradúa por comparación con un barómetro normal; para ello el eje de la aguja lleva una espiga que atraviesa el fondo de la caja y aparece al otro lado como una cabeza de tornillo; dando vuelta á este tornillo, se coloca la aguja en la posición que ha de tener para la presión normal, señalada por el barómetro.

**Barómetro aneroide de Vidi y Holosteric.**—Vidi, (fig. 51) puso

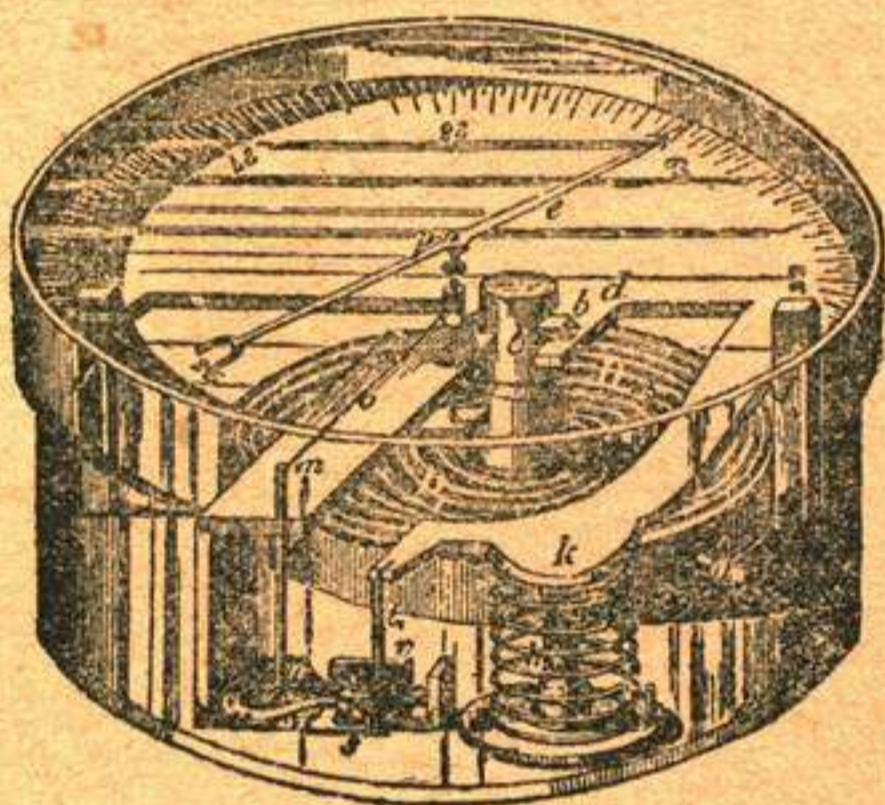


Fig. 51.

en sus aneroides, en vez del tubo de latón, una caja metálica *DD* cilíndrica de muy poca altura y paredes muy delgadas, cuyas tapas, en vez de ser planas son onduladas (para aumentar su superficie). Muy rarificado su aire interior y cerrada herméticamente, si la presión atmosférica varía, las dos tapas son más ó menos comprimidas y se acercan ó alejan, y este movimiento es el que por un

mecanismo de palancas convenientes, se trasmite y aumenta (unas 800 veces), de modo que se hace visible por un índice ó aguja que gira bajo la cubierta de cristal, la cual se gradúa en su circunferencia por comparación con un barómetro normal.

A los «Aneroides» suele acompañar un termómetro, y la colocación de este segundo instrumento en el recinto donde va la caja, indicando así su temperatura, es la variación introducida en el sistema de Holosteric; además de algunas otras para hacer más sensible el instrumento, pero que no varían su principio.

En general, los barómetros «Aneroides» son muy sensibles á las

menores alteraciones de densidad y presión del aire que los rodea; tanto, que se ve variar la aguja con la diferencia de presión en las capas muy próximas; de aquí, el que sus indicaciones pueden ser producidas por variaciones pasajeras y locales y reducidas á cortos recintos. Sin embargo, se emplean por la comodidad de su transporte para todos los usos de los barómetros de líquidos y aun para medir alturas, como se ha dicho.

Pero donde tiene una aplicación exclusiva el principio de estos instrumentos, es en los Barometrógrafos, ó sea aparatos destinados á dejar trazada sobre un papel la marcha sucesiva de la presión atmosférica durante un intervalo de tiempo dado. En estos aparatos las cajas de paredes elásticas y vacío interior, son mayores que en los aneroides de aguja, pues han de mover un estilete que, comprimido contra un papel cuadriculado, marca en él gráficamente la marcha de la presión.

Por último, por las observaciones de Klinkerfues se ha construído en Hamburgo una especie de Barómetro aneroide que llama «Compás del tiempo», en el que combinando la presión en un momento dado con el estado higrométrico de la atmósfera, el índice del instrumento marca el tiempo probable sobre el disco móvil que forma la cara anterior de él.

# LECCIÓN 11

## Compresión de los gases y aparatos para su medida

4.30. **Ley de la compresión y dilatación de los gases, llamada Ley de Boile ó Mariotte.**—«Los volúmenes de una masa dada de un gas, están en razón inversa de las presiones que sufre.»

Es decir, que á dos, tres, cuatro veces *mayor* presión que una dada ó inicial, el volumen de una masa determinada de un gas, es dos, tres, cuatro veces menor que el que tiene á la presión inicial y viceversa.

Para reducir esta cuestión á números y ver si se verifica la ley, se toma como gas para las experiencias el aire, y como volumen inicial el que tenga una masa de él á la presión de una atmósfera. Esta presión es la misma que el peso de la columna de mercurio que marque el barómetro; por tanto, si el volumen dado se somete á la presión de una columna de mercurio de altura múltiple de la del barómetro, la presión será de tantas atmósferas como indique el múltiplo.

*Aparato para las presiones de más de una atmósfera*, (fig. 52). Consiste en dos tubos verticales de cristal, introducidos por sus extremos inferiores en una caja de hierro *r* que tiene una canal horizontal que une las bocas de ambos tubos; uno de éstos, el más corto, que se llama tubo «manométrico», tiene unos 40<sup>cm</sup> de largo, y está cerrado en su parte superior por una llave cuya sección se representa en la (fig. 53). El otro, es de dos metros de largo y está abierto por su parte superior; ambos tubos y la pieza que los une, están bien sujetos á una tabla que lleva una escala dividida en centímetros y cuyo «cero» en ambos tubos está sobre una horizontal que pasa algo más alta que la pieza de fundición que los une. La experiencia se ejecuta abriendo la llave del tubo corto manométrico, y echando mercurio por la rama larga hasta que llega en ambas el nivel al trazo marcado con «cero», ó sea al principio de ambas escalas, entonces se cierra la llave. Queda, por tanto, encerrada en el tubo manométrico una masa determinada de aire, cuya altura se expresa por las divisiones de su



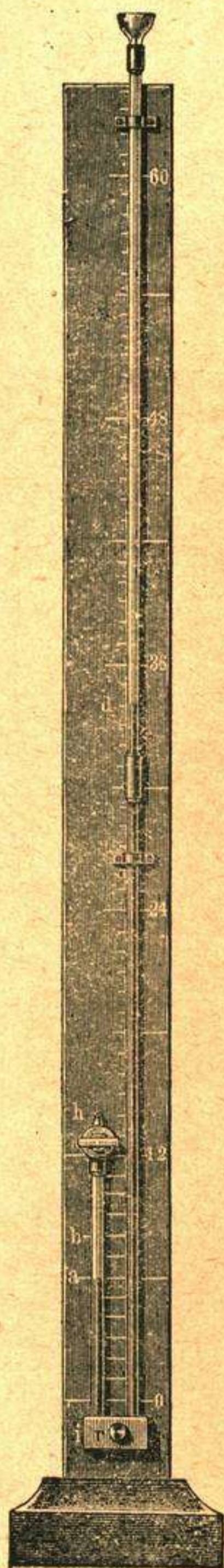


Fig. 52.

escala y sometida á una presión que evidentemente es la de la atmósfera en el momento de la experiencia.

Para reducir esta columna á  $\frac{1}{2}$  ó  $\frac{1}{3}$  de su volumen se necesita echar en la rama larga suficiente mercurio para que su nivel en ésta, á partir del cero, sea el de la columna barométrica, ó dos columnas barométricas, según se

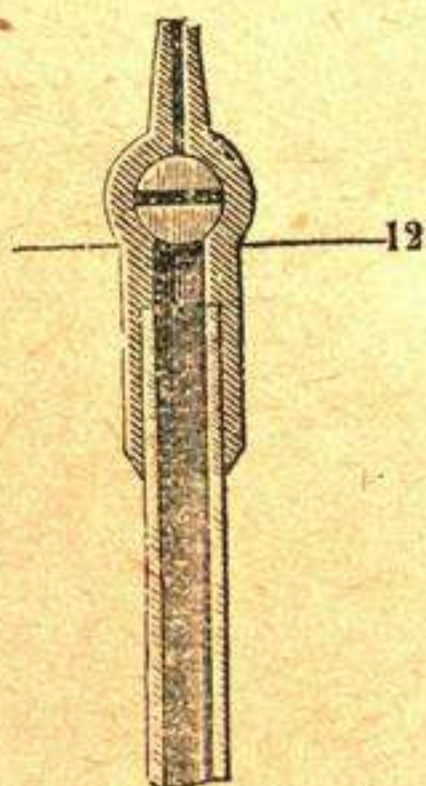


Fig. 53.

quiera reducir el volumen de aire á  $\frac{1}{2}$  ó  $\frac{1}{3}$ . Y así sucesivamente para mayores reducciones.

Se ve, pues, que para presiones de 2, 3, 4,... atmósferas, el volumen de la columna de aire se reduce á  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ .... del inicial á 1 atmósfera. Esta ley no sufre alteración hasta llegar á la presión de 27 atmósferas, en cuyo caso, según experimentaron Dulong y Arago, la ley no se verifica como hasta allí.

*Aparato para presiones menores de una atmósfera.*—Consta de un tubo de fundición *r* (fig. 54) de 2 á 2½ centímetros de diámetro, terminado en su parte superior por una taza *ab* y cerrado por abajo, el cual se coloca sobre un trípode, de manera que se mantenga vertical y se llena de mercurio, hasta que el nivel de éste en la taza llegue á su mitad *mn*; después se toma un tubo barométrico y se le echa mercurio, pero dejando sin llenar de unos 5 á 8 centímetros, se tapa con el dedo su boca, y se invierte de modo que la columna de aire que estaba en la parte por llenar, pase á lo que sería cámara barométrica en otro caso. Si ahora se sumerge la boca tapada con el dedo en la taza *ab* y se quita el dedo, la columna de mercurio cae dentro del tubo hasta cierto punto; en efecto, el menisco no queda á tal

altura del nivel  $nn$ , como quedaría en la experiencia de Torricelli, en la que no tiene aire encima.

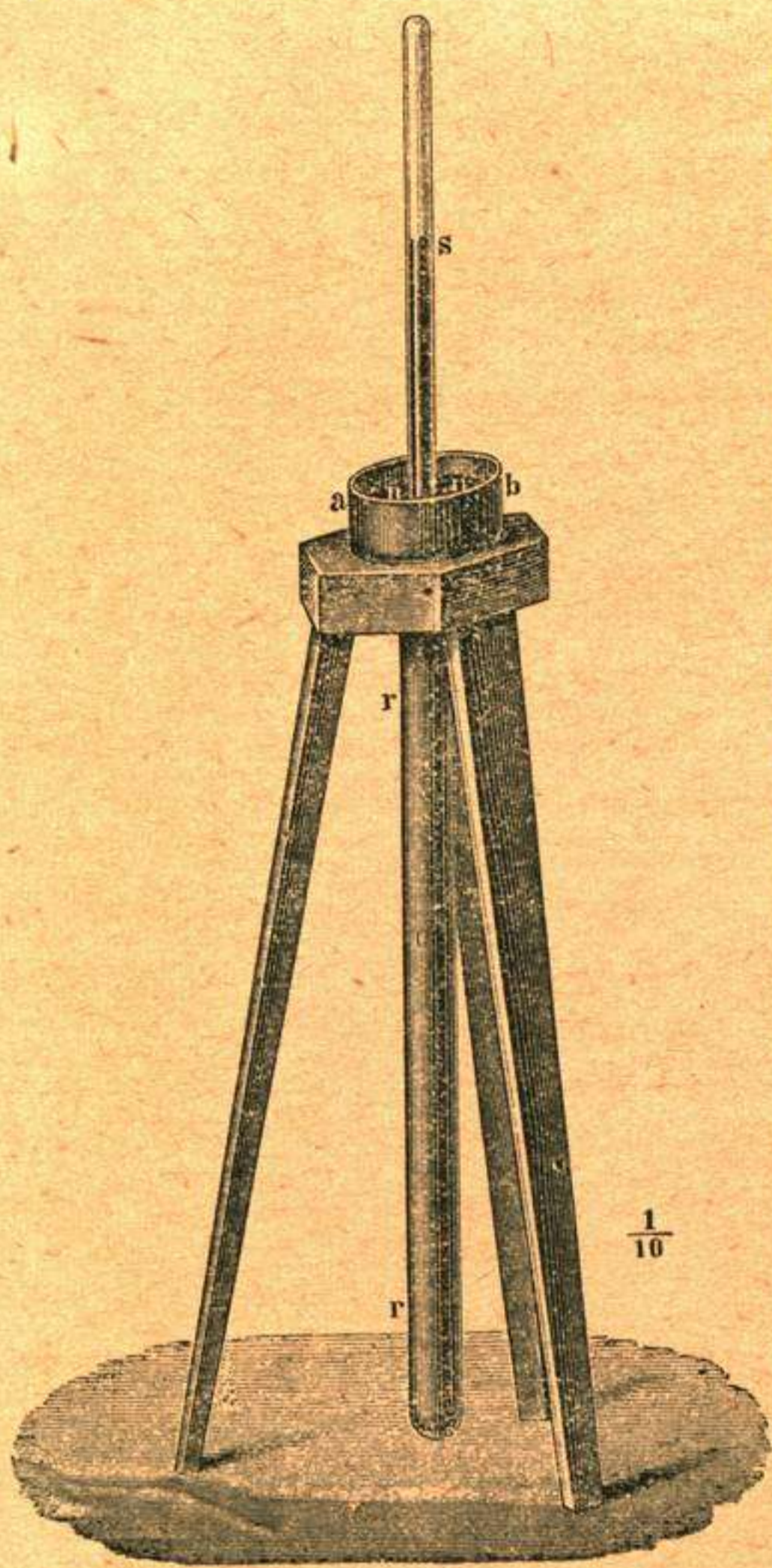


Fig. 51.

volumen de la masa de aire confinado es el doble que el que tiene cuando la presión es de una atmósfera, es decir, que si entonces era de  $5^{\text{cm}}$ , ahora es de  $10^{\text{cm}}$ . Se ve, pues, que á la mitad de la presión toma la masa de aire doble volumen. Si la altura del mercurio en el tubo se hace que llegue á los  $\frac{2}{3}$  de la altura barométrica, el volumen del aire encerrado será tres veces el primitivo á una atmósfera. La ley, pues, se verifica para presiones menores que una atmósfera.

La proporción que traduce esta ley es (llamando  $V$  el volumen

Si se hunde el tubo en el mercurio cuanto permita la profundidad de  $rr$ , el volumen de la columna de aire confinado en su parte superior, es cada vez más pequeño: si se hunde hasta que el nivel del mercurio en el interior coincida con el  $nn$  de la taza, «la columna de aire confinado estará justamente á la presión de una atmósfera». Si se mide su altura á esta presión, se tendrán los 5 centímetros que se dejaron por llenar de mercurio.

Si ahora se levanta el tubo, el volumen de aire aumenta, y al mismo tiempo se eleva el nivel del mercurio dentro del tubo, más alto que en la taza  $nn$ . Si la elevación del tubo es tal que el nivel  $s$  del mercurio en él dista del  $n$ , justamente la mitad de la altura de la columna barométrica, en el momento de la experiencia, se ve que el

inicial á una presión  $P$ , y  $v$  el volumen que toma el gas á la presión  $p$ )  $V: v = p: P$  ó sea  $v.p = V.P$ . Si  $P$  es la presión normal, se tiene  $= 760$  milímetros, y los valores deducidos de las igualdades anteriores para

$V$  á una presión dada  $p$ , se llaman «reducciones de volúmenes de aire á la presión normal».

El segundo de los aparatos descritos se suele llamar «barómetro de cubeta profunda».

**Manómetros.**—Llámanse así los aparatos destinados á medir la presión que ejercen los gases contra las paredes de los recintos en que se hallan confinados.

Cuando las presiones son débiles, se usan los llamados manómetros abiertos, que consisten en tubos doblemente encorvados con agua (fig. 55). El extremo  $a$  se introduce en la



Fig. 55.

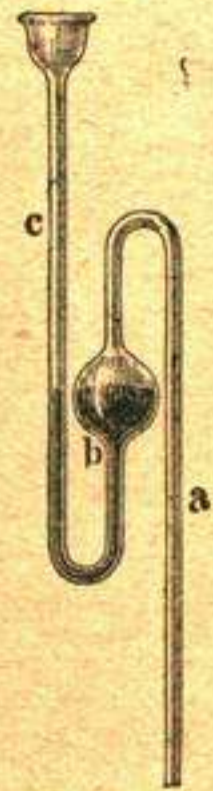


Fig. 56.

vasija donde se halla el gas, ya atravesando por un tapón de corcho puesto en su boca, ya por medio de una pieza de metal que se atornilla y que sustituye al tapón.

Si la presión del gas sobre la superficie del agua en la rama  $ab$  es igual á la de la atmósfera en la otra rama  $co$ , en las dos estará el agua á la misma altura; la diferencia de altura del nivel de agua en estas ramas, acusa, por tanto, de qué lado hay más presión, la cual será del gas si sube en la rama exterior  $co$ , ó de la atmósfera si sube en la  $cb$ .

**Tubos de seguridad.**—

Si las presiones han de ser un poco más fuertes, ó se pone el agua en tubos cerrados, ó se sustituye por mercurio. La fig. 56 muestra una forma dada á estos tubos, que son los

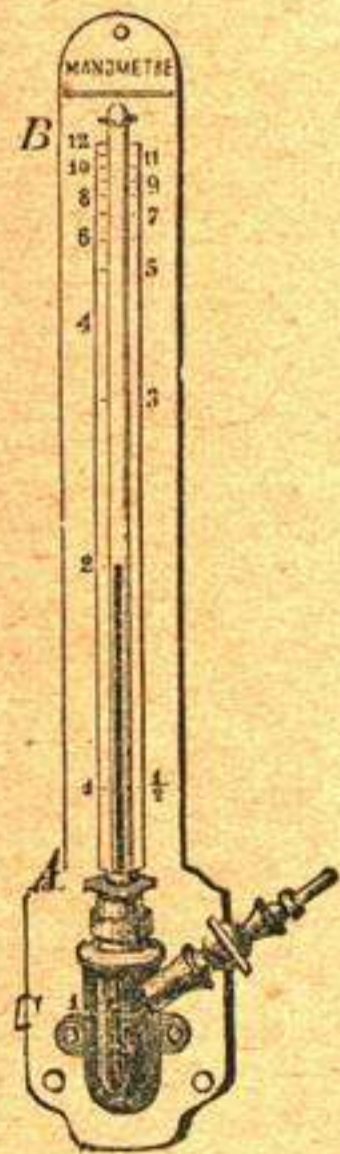


Fig. 58.

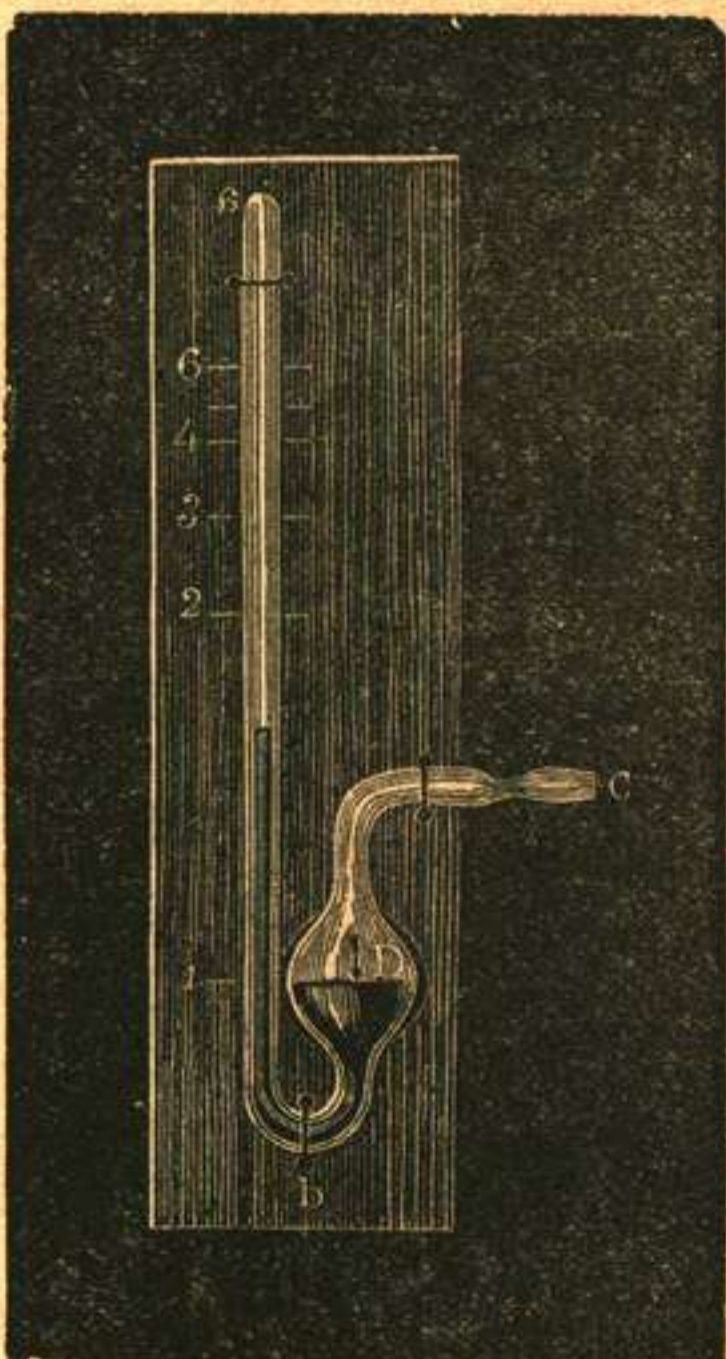


Fig. 57.

de *seguridad*, usados en las manipulaciones químicas.

**Manómetro de aire comprimido.**—Si las presiones han de

ser aún más fuertes, es decir, de 3, 4 ó más atmósferas, se usa del manómetro de aire comprimido, que consiste (figs. 57 y 58) en

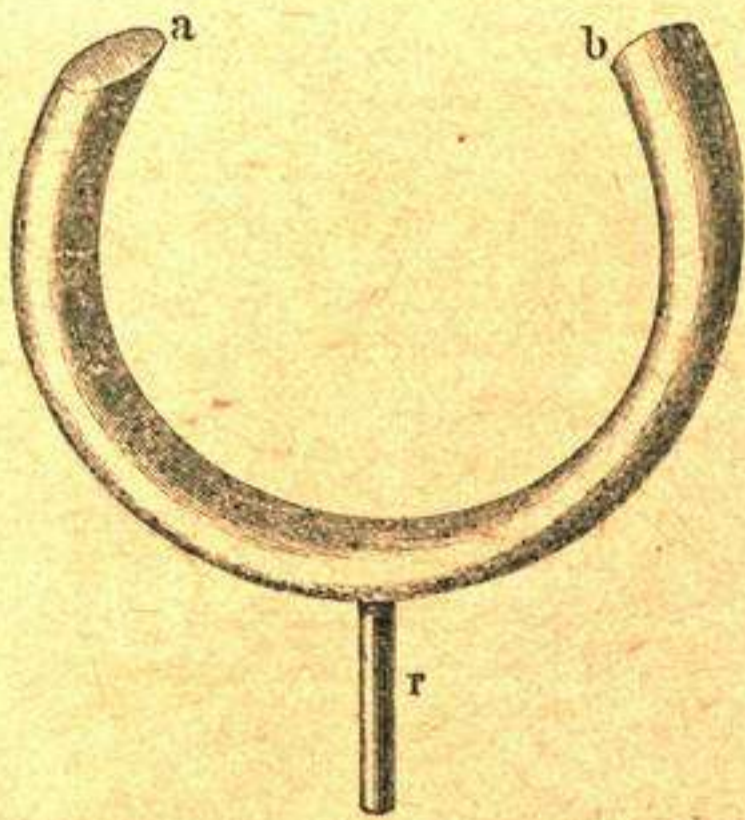


Fig. 59.

medir la presión del gas por la que ejerce sobre el mercurio que se halla en un tubo y se trasmite á una columna de aire confinado en el extremo cerrado de éste. Este tubo es de cristal, y comunica por C con el recinto donde se halla el gas; éste penetra en el tubo y comprime el mercurio encerrado en la esfera D, obligándole á subir por la rama *ba*, donde hay cierta masa de aire á la cual comprime, y según los volúmenes á que va reduciendo ésta, se marcan en una escala señalada en el tubo ó

en una tabla adjunta las atmósferas de presión.

**Manómetro metálico de Bourdon.**—Todos los manómetros descritos, ó no son fácilmente transportables, ó son muy frágiles; así que para fuertes presiones y en las máquinas de vapor, locomotoras, locomóviles ó fijas, se usa del llamado metálico (figs. 59 y 60), fundados en el principio de que si un tubo metálico de paredes delgadas lleno de aire, terminado por secciones planas y encorvado, se pone en comunicación con un gas cualquiera, sólo por un tubo *r*, su curvatura será mayor cuando el gas encerrado tenga menos presión que el exterior, y por el contrario, tenderá á rectificarse si fuera mayor: esto se experimenta poniendo á *r* en comunicación con el aspirador de la máquina Pneumática y en cuanto se empiece á hacer el vacío las puntas *a* y *b* se aproximan; si, por el contrario, se comprimiese el aire, las puntas se separarían. Esto, supuesto, el manómetro me-

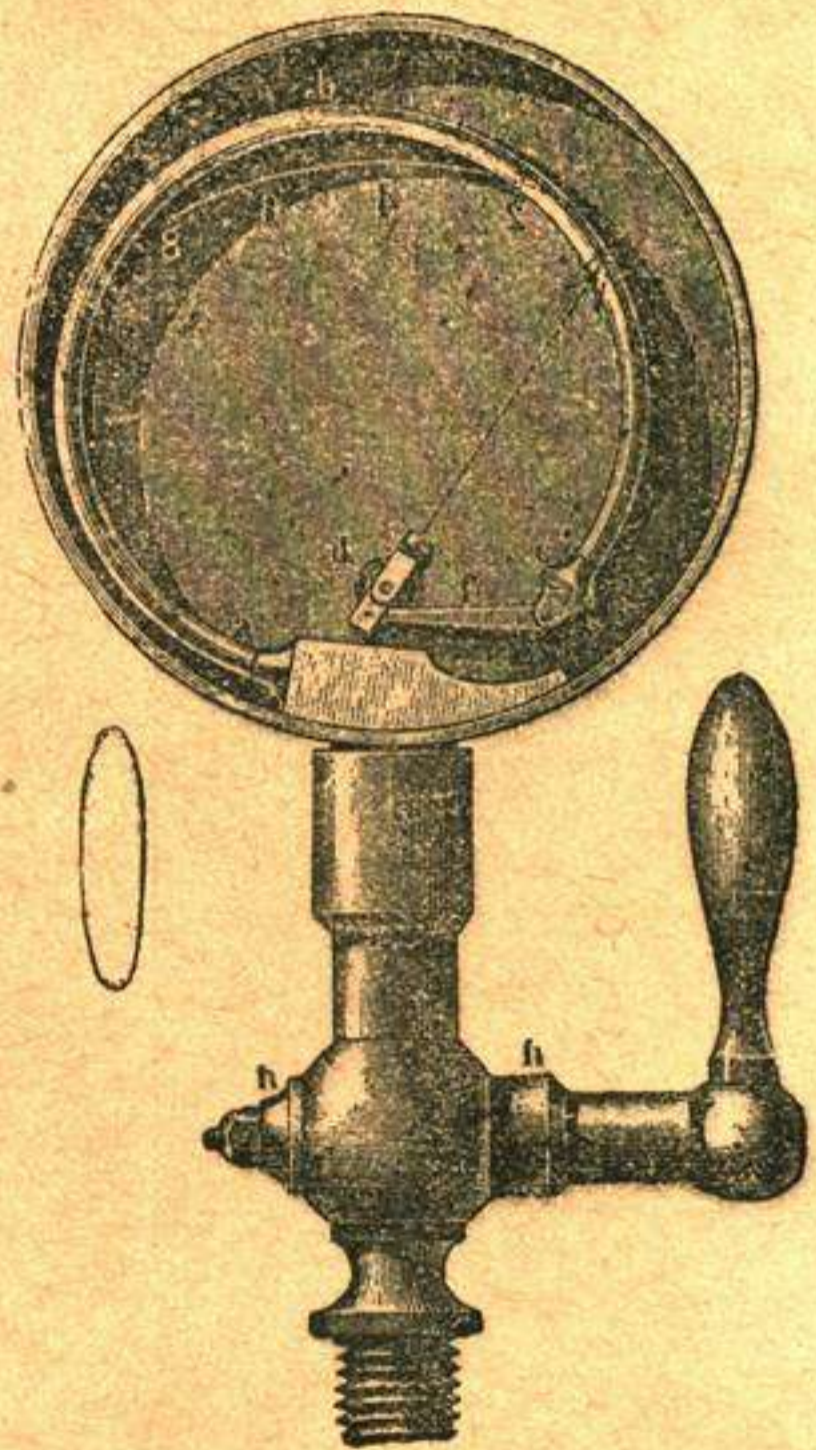


Fig. 60.

tálico (fig. 60) consta de un tubo encorvado de paredes delgadas, *abc*, de sección elíptica; su eje mayor de unos 11<sup>mm</sup> y el menor de 4. Este tubo se coloca en una caja con fondo de palastro, y si se usa, como generalmente sucede, para las máquinas de vapor, se pone en comunicación, por medio de una llave *h*, con la caldera. Empujado por el vapor el extremo *c*, que está libre, tiende á separarse á la derecha, y por medio de una barra *f* tira de uno de los brazos de una palanca giratoria en *d*, cuyo otro brazo más largo tiene la forma de una aguja que marca en una escala, que va en la cara anterior del aparato, la tensión del vapor en medida de atmósferas, cuya escala se ha trazado de un modo empírico.

**Válvula de seguridad.**—Entre los manómetros deben figurar también las válvulas de seguridad, las cuales sirven para precaver las roturas de las vasijas en que se encierran los gases, cuando la fuerza de expansión de éstos excede de ciertos límites. Consisten (fig. 61)

en un tubo *R* de comunicación con el recinto donde se halla el gas, y cuya abertura *ab* está tapada por una válvula ó tapón; sobre este tapón hay una palanca de un solo lado, que tiene su punto de apoyo *F* muy cerca de la válvula, y el punto de aplicación de la re-

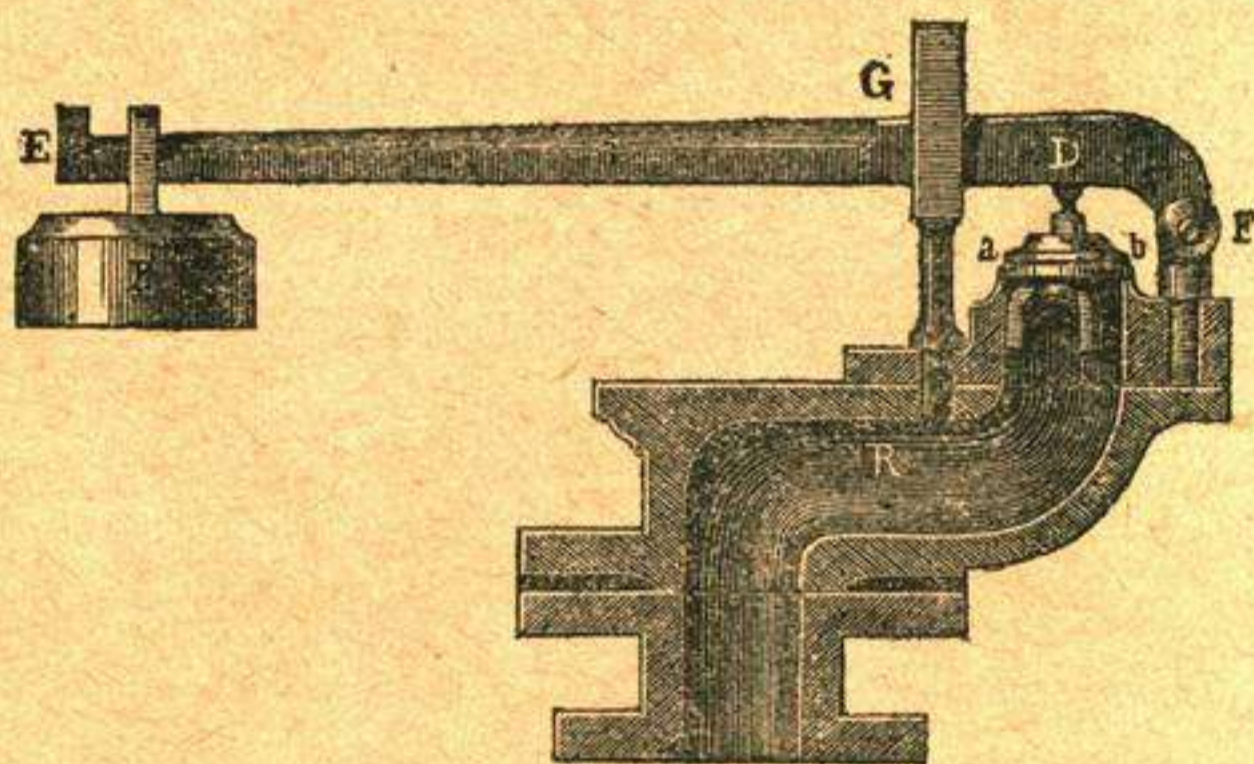


Fig. 61.

sistencia *E*, de donde se cuelga un peso, está más lejos; por tanto, la potencia para levantar el tapón ó válvula tiene que ser grande; esta potencia está calculada en cada caso y se regula por la situación del peso *P* en la palanca; la válvula es levantada por el gas cuando su fuerza excede del peso que obra sobre ella. Estos aparatos, con algunos detalles de construcción que no son del caso, se usan principalmente para los recintos en que hay vapor de agua.

## LECCIÓN 12

### Aparatos para dilatar y comprimir los gases

Se han construído ciertos aparatos destinados á introducir ó sacar, de un recinto limitado donde se confina un gas, cantidades de él, suficientes para que llegue á un estado de dilatación ó compresión determinado.

Los destinados á dilatar ó enrarecer los gases se llaman *máquinas Pneumáticas*, y los que tratan de comprimirlos *Bombas de compresión*.

Como las máquinas Pneumáticas son el instrumento más indispensable para el estudio de los gases, los modelos de ellas han ido perfeccionándose de manera que desde la primera de mercurio de «Otto de Guericke» hasta la de Geissler, también de mercurio, ó la de un solo cuerpo de bomba y doble efecto de «Bianchi» ha habido una gran serie de disposiciones, cuya descripción sólo tiene hoy un interés histórico.

En general, las máquinas Pneumáticas se dividen en dos secciones: unas las llamadas de mercurio, y cuyo fundamento es que la vasija ó recinto en el que se va á enrarecer el gas, y principalmente el aire que lo llena, venga á comunicarse con una cámara barométrica, que sucesivamente se puede ir repitiendo su constitución, con lo cual, y cada vez que esto acontece, el gas que llena el recinto se reparte entre éste y la cámara, para lo cual precisamente ha de dilatarse. Se concibe, pues, que aislando ahora el recinto de la cámara, expulsando de ésta por la entrada del mercurio el gas dilatado que la llenó, y repitiendo otra vez la constitución de la cámara vacía y su comunicación con el recinto, se puede llegar á dilatar éste al mayor grado. Y efectivamente, así sucede siendo estos los aparatos de dilatación, por cuyo medio se consigue llegar casi hasta el vacío barométrico en el recinto de que se trata, y por esto también son los empleados cuando de tan grandes dilataciones se necesita. Pero la complicación y delicadeza de sus

piezas hacen su manejo muy difícil, por lo cual y por no necesitarse en la generalidad de los casos de una dilatación tan grande en los gases, se inventaron otras de más fortaleza en sus partes, y de más fácil manejo, y cuyo fundamento análogo al de las de mercurio se separan de las del sistema Otto de Guericke en que el vacío en estos recintos (que se llaman cuerpos de bomba), se hace por medio de un sólido que en ellos penetra bien ajustado á sus paredes (pistones) y de varias tapaderas (válvulas) construídas con tal artificio, que se abren automáticamente en sentidos y tiempos determinados.

En su esencia constan las máquinas Pneumáticas de tres partes principales, que son: 1.º Cuerpos de Bomba, 2.º Platina, y 3.º Probeta.

La *platina* es un plano de cristal deslustrado, sobre el que se ajustan las campanas, que limitan el recinto donde se va á hacer el vacío.

La disposición de la probeta (fig. 62) consiste en un barómetro de sifón, cuya rama cerrada es más corta que en los ordinarios (por lo cual se dice truncado), y la abierta más larga de modo que iguale casi en longitud á la cerrada: ambas van montadas en una chapa de metal, sobre la que se traza la graduación, y metido todo en una campana de cristal con su armadura metálica, que se atornilla sobre la canal de comunicación entre la platina y los cuerpos de bomba.

La graduación de la escala en que va montado el barómetro truncado, se hace de modo que señale con *cero* aquel trazo que se marca por los dos meniscos de ambas ramas cuando están á idéntica altura; y en efecto, calculada la longitud de las ramas de modo que cuando este caso llegue, exista cámara barométrica en la rama cerrada, como la abierta está en comunicación con la platina, quiere decir que en el recinto cuyo aire se dilata existe la misma presión que en la cámara barométrica, es decir, *cero presión*.



Fig. 62.

**Máquina pneumática de Bianchi de un solo cuerpo de bomba de doble efecto.**—Las máquinas de cuerpo de bomba y pistón que hasta ahora parecen más perfectas son las debidas al constructor Bianchi, llamadas también de doble efecto. El conjunto de ellas se representa en la fig. 63 y difiere de todas las anteriormente inventadas en la disposición del cuerpo de bomba: éste no es más que uno,

y su pistón se mueve de arriba abajo por medio de un manubrio aplicado á un volante *v* y unas ruedas dentadas *R* y una manivela *m*.

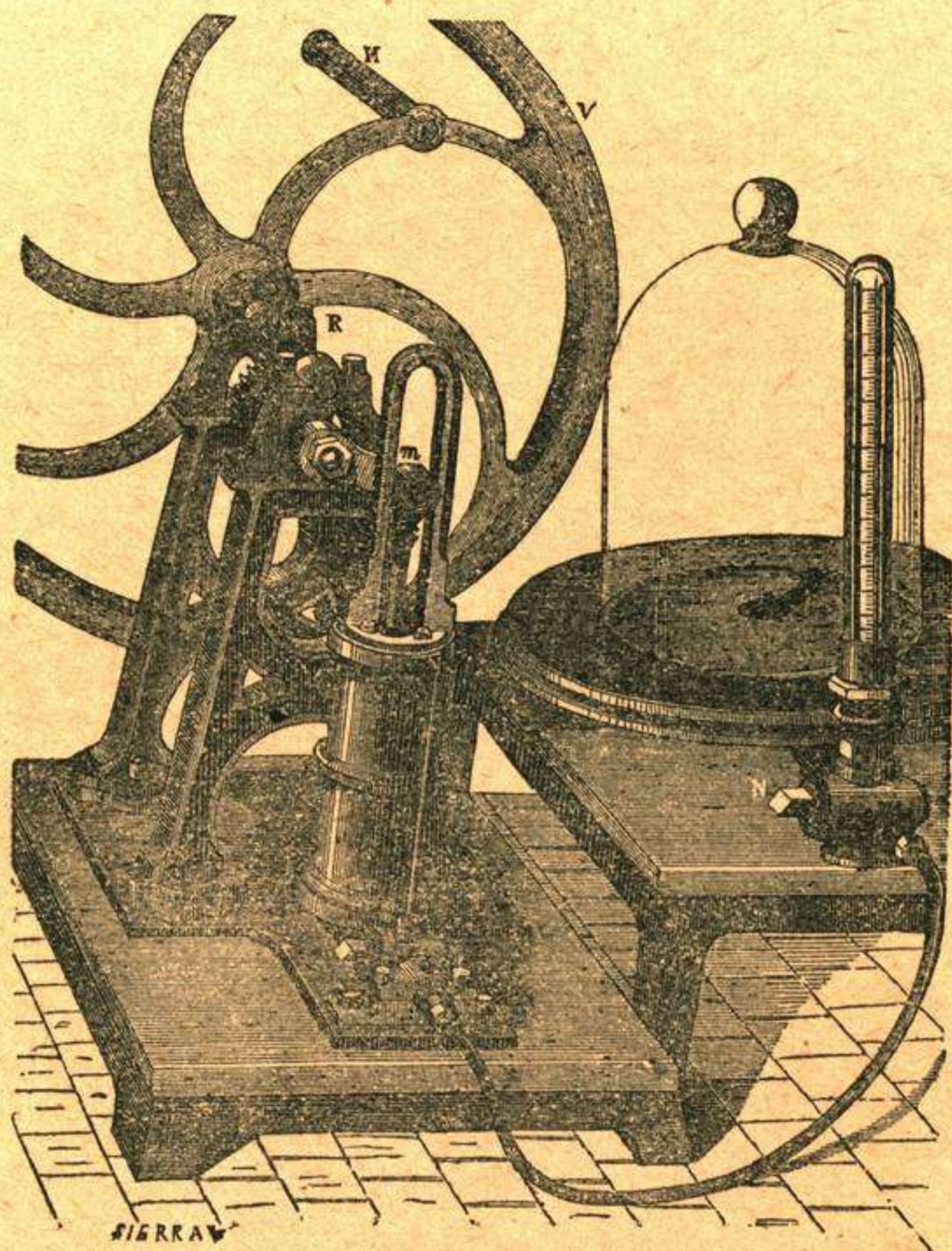


Fig. 63.

El émbolo (fig. 64) va atravesado á rozamiento duro por una varilla de metal *ss'*, cuyos extremos son conos truncados que se alojan en las bocas de un conducto, que por la parte superior é inferior del cilindro comunica con la platina. Además, lleva el émbolo en su centro y cara inferior un conducto con una válvula *b*, que se abre de abajo arriba, y este conducto se prolonga hasta el exterior por dentro de la vara del émbolo, que es hueca. Por último, en la base superior del cilindro hay otra válvula que se abre también de abajo arriba.

El conducto del cuerpo de bomba se hace comunicar con la platina por un tubo de caoutchout (fig. 63) bien grueso para resistir sin aplastarse la presión exterior. Para más seguridad, dentro de estos tubos



se pone una espiral de alambre de acero; en las partes de metal del tubo de comunicación lleva llaves de tres vías que pueden hacer comunicar la platina y el cuerpo de bomba uno con otro ó con el exterior ó aislarlos.

El modo de funcionar el cuerpo de bomba es bien sencillo. En su elevación, el émbolo arrastra la varilla *ss'* y cierra la abertura *s*, abriendo la *s'*, por donde, en virtud de su expansión, el aire de la platina y tubo de aspiración penetra en el espacio vacío que va dejando bajo de sí el émbolo: al mismo tiempo, el aire que estaba en el cuerpo de bomba encima del émbolo, se comprime y levanta la válvula *a*, marchando al exterior. Al descender el émbolo se repiten los mismos fenómenos: *s'* se tapa por la varilla; el aire que á la subida penetró debajo del émbolo es comprimido y adquiere suficiente fuerza para levantar la válvula *b* y marchar por el interior de la varilla al exterior. De modo que con este sistema, tanto al subir como al bajar el émbolo, extrae aire del recipiente; por eso se llama de doble efecto. En *R* está la llave de tres vías ó de Babinet.

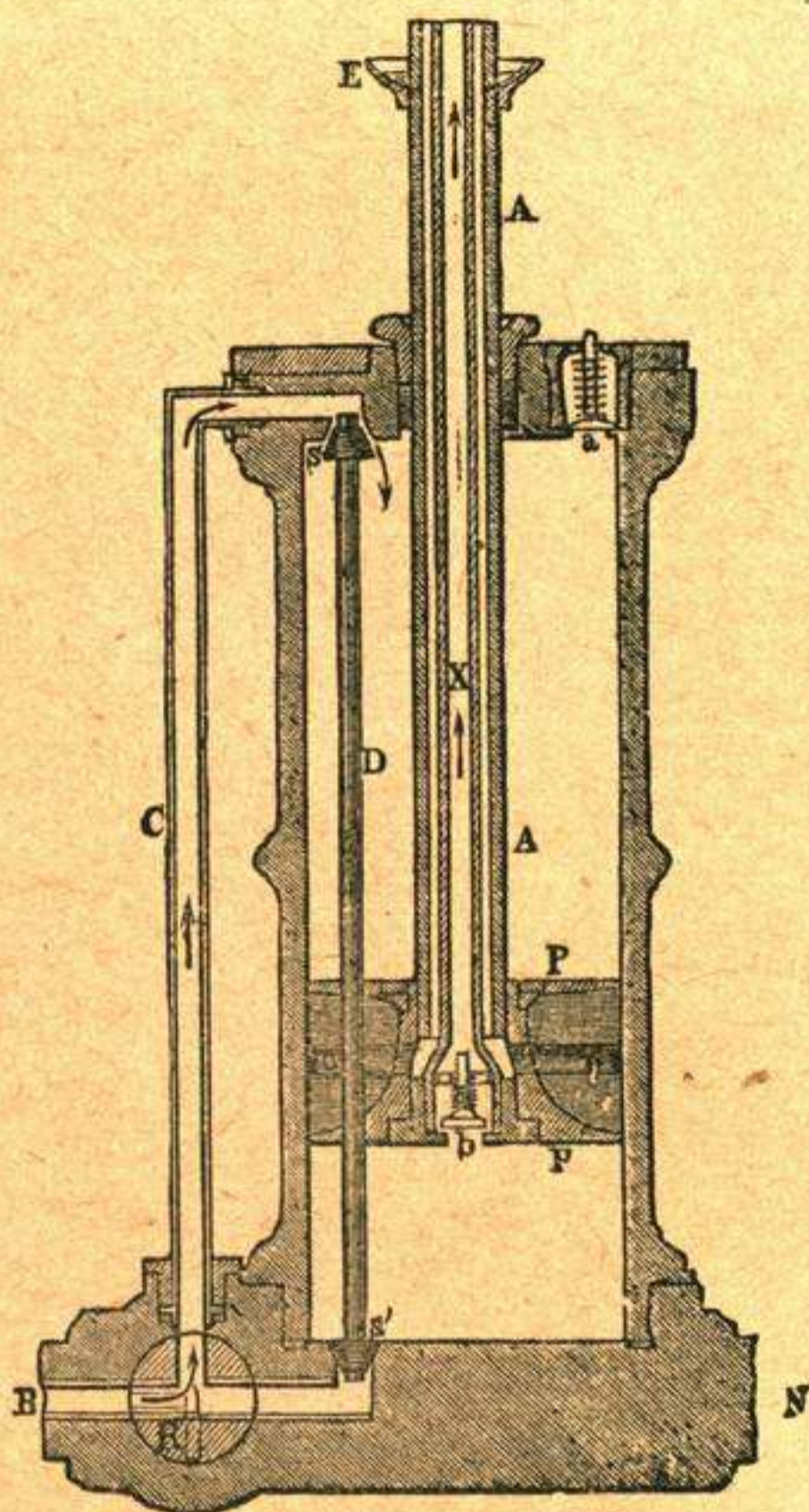


Fig. 61.

**Máquinas ó bombas de compresión.**—Llámanse así aquellos aparatos destinados á comprimir en un recipiente el aire ú otros gases á mayor presión que la atmosférica, y á pasar gases de uno á otro recipiente.

Para obtener que un recipiente se llene de aire á más presión que la atmosférica, se pueden usar las máquinas neumáticas con sólo poner las llaves en direcciones opuestas á como se disponen para el efecto contrario, esto es, que cuando en un cuerpo de bomba sube el émbolo, debe estar la parte baja en comunicación con el exterior; y cuando baja el émbolo, debe de comunicar con el recipiente.

Los recintos, en los cuales se ha de comprimir el aire con las máquinas neumáticas usadas como se ha dicho, se atornillan en el tubo de aspiración sobre la platina; estos recintos van provistos de una llave en su cuello que cierra su comunicación con el exterior.

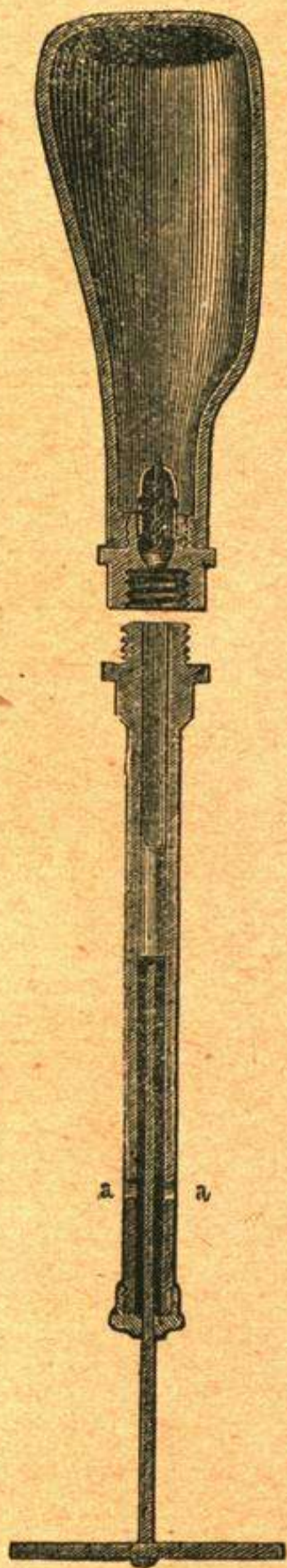


Fig. 65.

Las válvulas que han de usarse en los aparatos de compresión, han de abrirse en sentido opuesto que las empleadas en la máquina neumática para dilatar los gases.

Entre las diversas disposiciones que se le han dado á tales aparatos, la más sencilla consiste en lo siguiente: usada entre otras aplicaciones para cargar el depósito de las escopetas de viento. El recipiente donde se va á comprimir el aire tiene un orificio con una válvula que se abre hacia dentro, por lo que permite que entre el aire comprimido, pero no que salga; para cargarlo se atornilla á este orificio un tubo cilíndrico, en el cual puede moverse perfectamente ajustado un pistón; cuando éste se encuentra en la parte superior del tubo, como se comprende por la fig. 65, el aire puede penetrar en él por dos ventanas laterales *a, a*. Este aire comprimido por la bajada del pistón, abre la válvula y penetra en el recipiente; al volver á subir el pistón, este aire no puede salir por impedirlo la disposición de la válvula, y al pasar el pistón de las ventanas *a*, entra por éstas nuevo aire en el tubo que es comprimido á su vez cuando baja aquél.

La disposición más sencilla de las empleadas para hacer pasar un gas de un recinto á otro por medio de una bomba de compresión se representa en la fig. 66. El recinto que se ha de vaciar del gas, se atornilla en *a* y aquel á donde se va á hacer pasar se pone en *d*; en el cuerpo de bomba se mueve un émbolo macizo que al levantarse ocasiona que por la presión del gas, se abre la válvula *b* llenando éste todo el cuerpo de bomba; al bajar el émbolo comprime este

gas, se cierra la válvula *b* y se abre la *c*, y el gas penetra á través del tubo *d* en el recipiente.

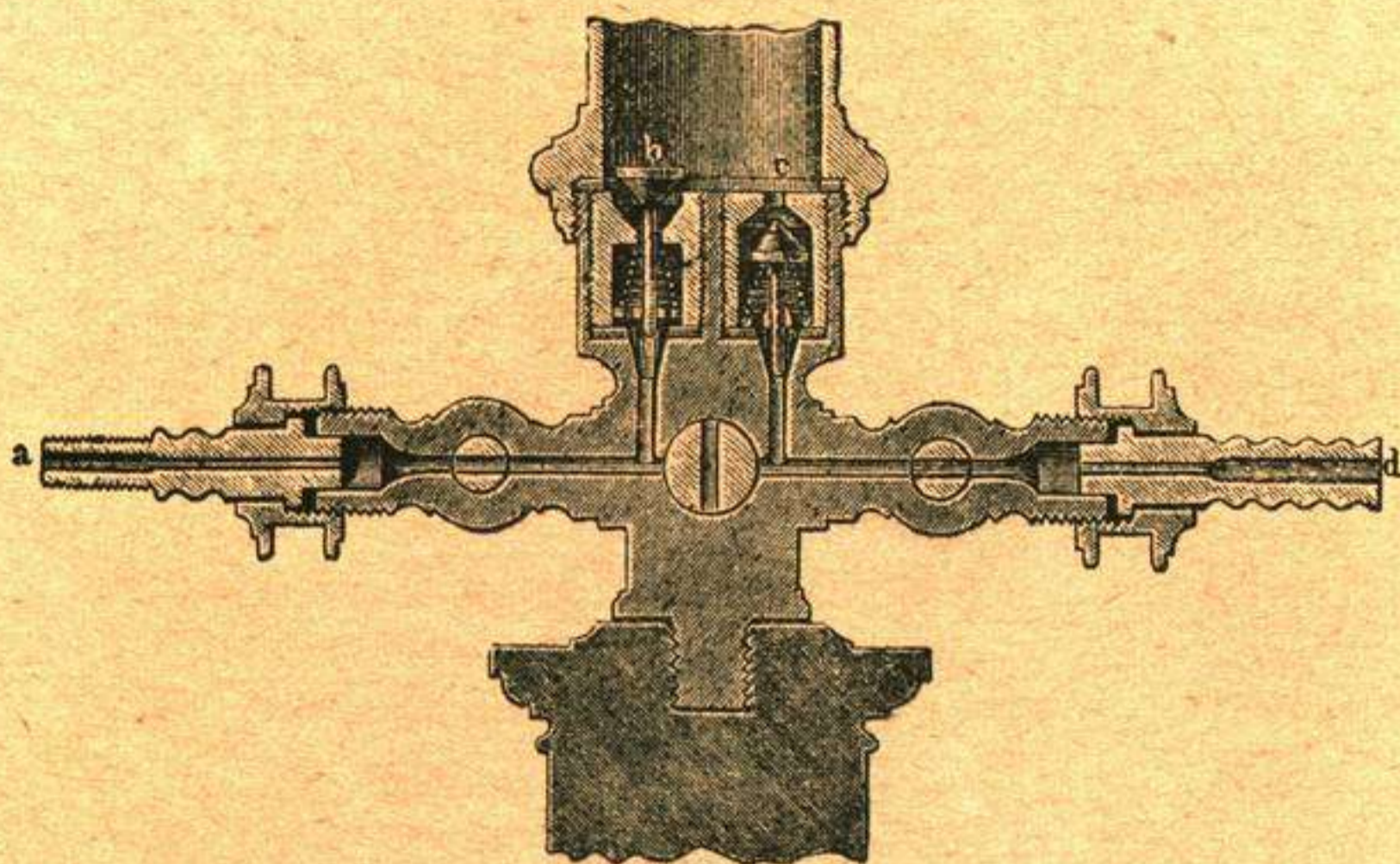


Fig. 66.

L. 32.

**Bombas hidráulicas, aspirante.**—La presión atmosférica ha sido aprovechada para la construcción de unos aparatos destinados á la elevación de los líquidos, especialmente del agua. Estos se llaman *bombas*. La más sencilla, llamada *aspirante*, consiste en lo siguiente (fig. 67):

Un tubo *a* llamado de aspiración, se introduce á una cierta profundidad en el agua del pozo ó depósito B, de que se quiere elevar; este tubo va abierto por debajo ó lateralmente y con una rejilla en la abertura, que impide la introducción de cuerpos extraños de cierta magnitud en el tubo de aspiración. Sobre este tubo que, según las circunstancias, es más ó menos largo (nunca puede exceder de la altura de la columna de agua que equilibra la presión de la atmósfera), se ajusta un cilindro de metal *bb* de 30 á 40 centímetros de alto, dentro del cual puede moverse de arriba abajo un émbolo que ajusta perfectamente en el hueco del cilindro. Sobre el tubo de aspiración y en la base inferior del cilindro, hay una válvula que se abre de dentro á fuera, y el émbolo va en su centro atravesado por un espacio cilíndrico hueco, tapado en su parte superior por otra válvula que también se abre de dentro á fuera. El émbolo lleva una varilla sujeta al extremo del brazo menor de una palanca de dos lados, que permite subirlo y bajarlo cómodamente.

La manera de funcionar este aparato es muy sencilla: supongamos

que el émbolo está en la parte inferior de su carrera y que asciende;

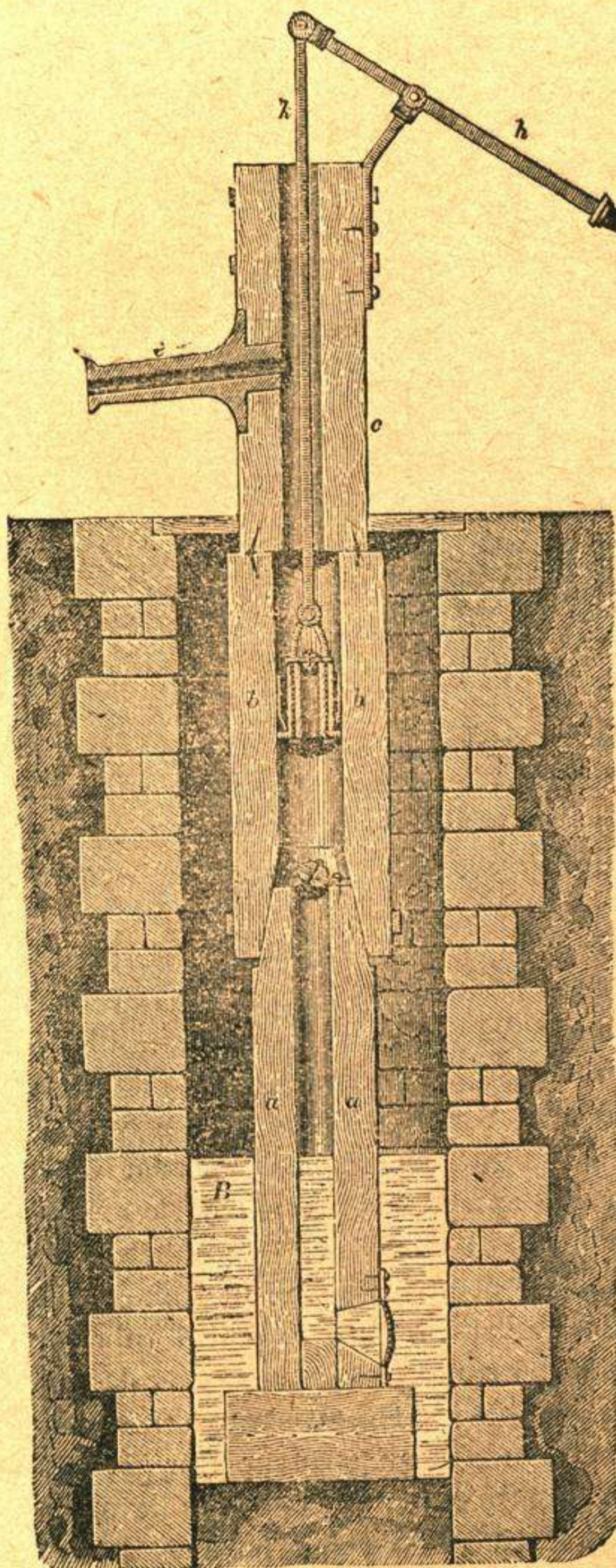


Fig. 67.

huevo que lleva el émbolo en su eje, vence la resistencia de la

como ajusta, por medio de unas zapatillas de cuero, con las paredes del cilindro *bb*, deja debajo de sí un espacio vacío, la válvula inferior se abre por la presión que de dentro á fuera ejerce el aire del tubo de aspiración al dilatarse, y después que se ha extraído éste, el agua que asciende por la presión exterior sobre la superficie del depósito, llena todo el espacio que queda debajo del émbolo en el cilindro. En este movimiento la válvula del émbolo permanece cerrada por su peso y la presión atmosférica. Lleno ya el cilindro de agua, si desciende el émbolo ejecuta una presión de fuera á dentro en ella, que se transmite sobre la válvula del fondo y la cierra; el agua, cada vez más comprimida, penetra por el

válvula que lo tapa y pasa á la parte superior del émbolo llenando el cilindro. Por tanto, en esta bajada del émbolo, lo que se ha conseguido es que el agua que estaba debajo de él, pase encima. Vuelve el émbolo á emprender su carrera hacia arriba; la presión de la atmósfera, la del agua y su peso cierran la válvula que está en la parte superior, y el agua se eleva con el émbolo, y rebosaría por encima del cilindro si no llevase una abertura lateral *r*, por la cual corre al depósito á que se quiere elevar.

La altura del tubo de aspiración no puede ser mayor (y por ciertas

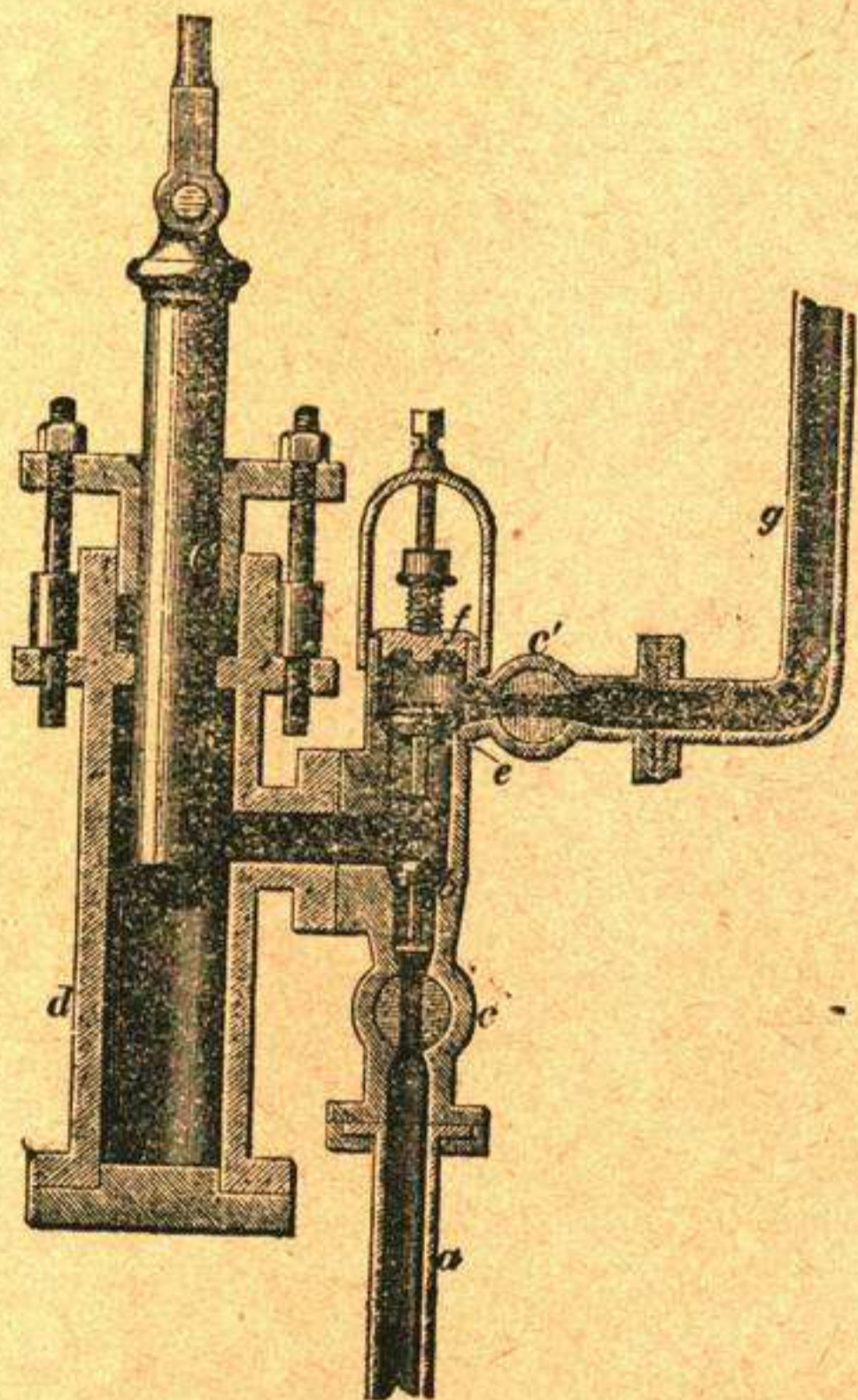


Fig. 68.

pérdidas y faltas de ajuste, ni aun igual) á la altura total de la columna, que equilibraría en el lugar en que se establece la bomba, la presión atmosférica; siempre se le da una altura dos ó tres metros menor.

**Impelente.**—Si el agua tiene que ser elevada á mayor altura que á la que puede subir por la bomba aspirante, se usa de una cierta modificación en el aparato, que entonces toma el nombre de bomba impelente.

La figura 68 representa una de estas bombas en la que *a* es el tubo de aspiración, *d* el cilindro donde se mueve el émbolo y *g* el tubo de elevación.

Las modificaciones con-

sisten en que el émbolo *C* es un pistón macizo y pasa perfectamente ajustado por la tapa del cilindro. La válvula *b* del tubo de aspiración se abre á la subida del pistón, permaneciendo cerrada la *e* del de compresión; el agua asciende y penetra á través de *b*, y llena todo el recinto del cilindro *d*. A la bajada del pistón se cierra *b* y se abre *e*, y entra el agua en el tubo de elevación *g*. En *c* y en *c'* hay llaves que cortan la comunicación de ambos tubos con las válvulas, cuando el aparato no funciona.

El tornillo *f*, que puede penetrar más ó menos, regula la elevación de la válvula *e*, elevándose para presiones más fuertes. Claro es que mientras haya fuerza suficiente para hacer descender el pistón y resistencia en las paredes del aparato, el agua se elevará más y más á cada golpe, por el tubo *g* de elevación.

**Bomba de incendios.**—Entre las muchas aplicaciones útiles que recibe el esfuerzo del aire comprimido, á más del ejemplo que nos ha servido para explicar el medio de conseguirlo, se tiene el de *las bombas para incendios* (fig. 69). Consisten éstas en dos cuerpos de bombas

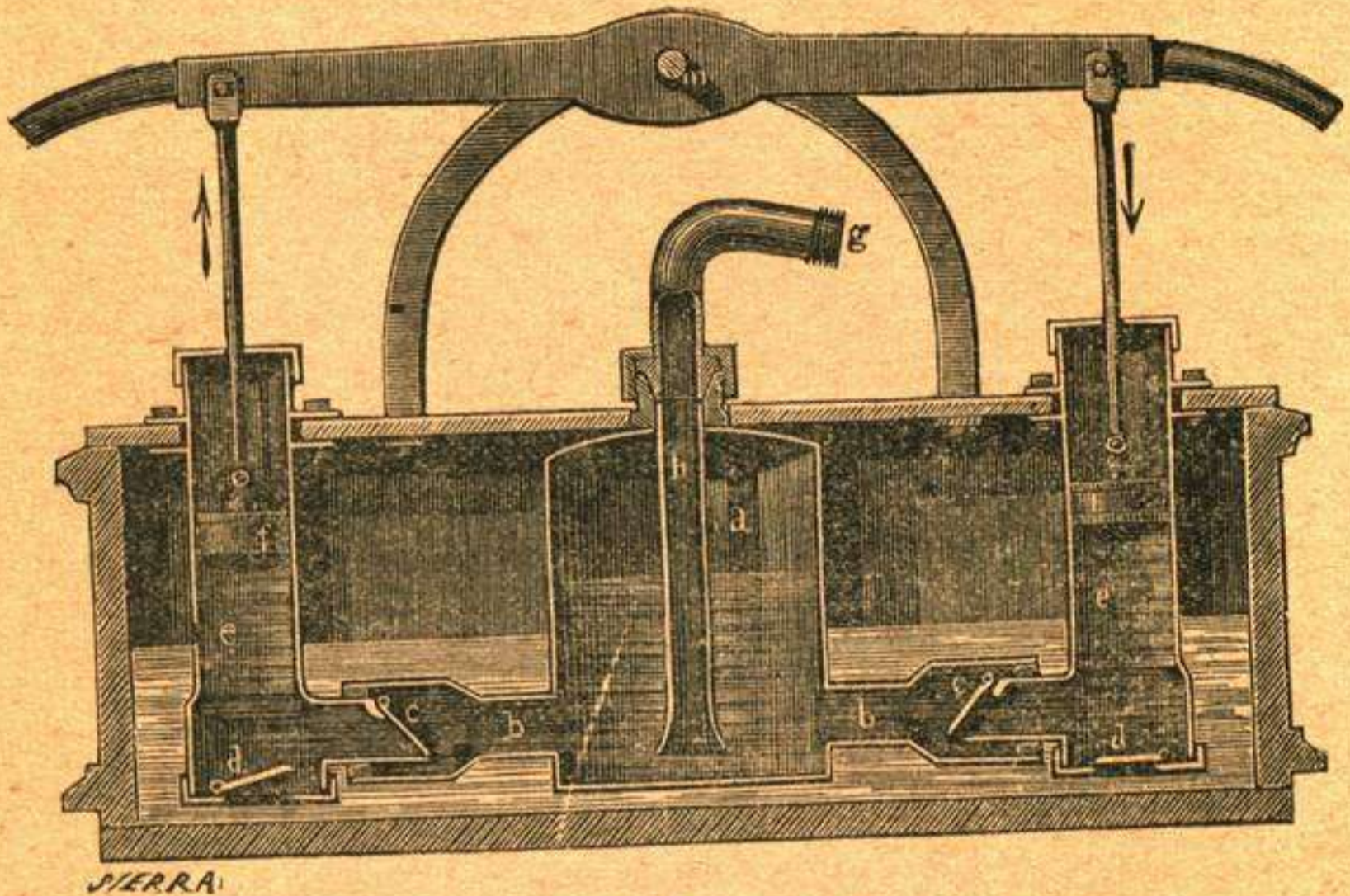


Fig. 69.

aspirantes, impelentes ó de compresión (ligeramente modificada respecto de la descrita), los cuales van colocados en una caja depósito lleno de agua. Cuando el pistón *f* se levanta, se abre la válvula *d* y el agua penetra en el cuerpo de bomba; cuando baja el pistón, se cierra la válvula *d* y se abre la *c*, y el agua es empujada á través del conducto *b* á la caja de aire *a*. Esta caja tiene en su bóveda una abertura por la que pasa un tubo *h* que llega hasta cerca de su fondo. En esta caja llena de aire, al empezar á funcionar el mecanismo por la introducción del agua que tapa la boca inferior del tubo, se comprime aquél en su parte superior *a*, cada vez más y más, hasta que llega á un grado que la presión que ejerce sobre la superficie del agua la obliga á salir por el tubo *h*, á cuya boca exterior *g* puede atornillarse una manga y dirigir el chorro donde se quiera. La salida es continua por la presión del aire, que por el juego de los dos cuerpos de bomba que alimentan de agua la caja está mantenido á suficiente compre-

sión. Para mover los émbolos hay una palanca de dos lados que gira en *m*, y que por su disposición hace que cuando uno de los émbolos sube, el otro baje. Pudiera también obtenerse un chorro continuo con un solo cuerpo de bomba, porque la acción del aire comprimido da lugar á que vuelva á bajar el émbolo y se alimente de agua la caja, sólo se notará una pequeña variación de fuerza en el chorro cuando el émbolo suba.

Este aparato se monta en un carruaje á propósito para ser conducido donde sea necesario.

**Pipetas y sifones.**—Las pipetas son unos tubos de corto diámetro, por sus dos extremos abiertos, y ensanchados por su parte media en diferentes formas (fig. 70 *a, b, c, d*) destinados á sacar cortas cantidades de líquido de un depósito y trasportarlo fácilmente sin que se vierta. El uso de una pipeta es muy sencillo: se introduce verticalmente con sus dos extremos abier-



Fig. 70 *a*.



Fig. 70 *b*.



Fig. 70 *c*.



Fig. 70 *d*.

tos dentro del líquido, y cuando ya se ha llenado, se tapa con el dedo la abertura superior y se saca del depósito; el líquido no se vierte por la presión que de abajo arriba ejerce la atmósfera.

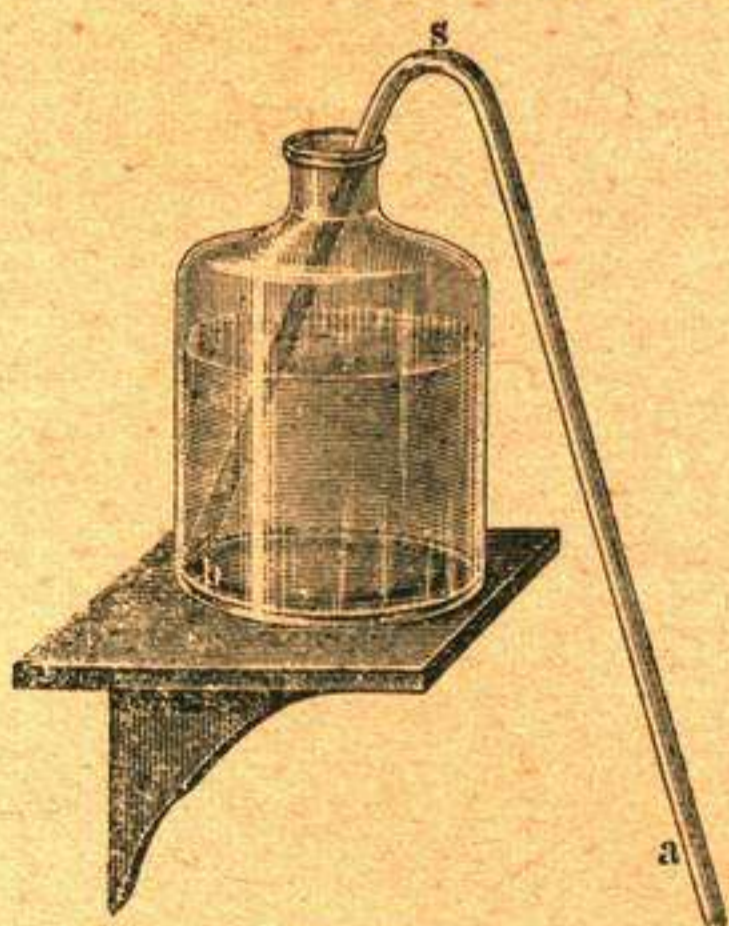


Fig. 70 *e*.

Para vaciarla basta levantar el dedo que tapa la abertura superior, y ejerciéndose entonces también por ese lado la presión de la atmósfera de arriba abajo, equilibra la de abajo arriba y el líquido descende por su peso. Las hay graduadas para dejar caer una cantidad corta y determinada (fig. 70 *d*.)

**Sifón.**—Es un tubo encorvado *b s a* de latón ó cristal (fig. 70 *e*), cuyas ramas son generalmente desiguales. Si la rama corta se sumerge en un líquido y por medio de una succión hecha en *a* se llena todo el sifón, corre el líquido por *a* en tanto que esta boca

esté más baja que el nivel  $n$  del líquido en la vasija, de la cual se extrae.

La explicación de esto es bien sencilla: en una rama hay la columna de agua  $a s$ , y en la otra la  $s b$ ; ambas por su gravedad tienden á caer, venciendo la presión de la atmósfera, que en la una se ejerce en  $a$  y en la otra sobre la superficie del líquido en la vasija, y la cual impide que se haga el vacío en el centro del sifón, si ambas cayeran á la vez; luego, mientras la presión de la atmósfera sea idéntica en ambos lados, habrá equilibrio, y esto sucede siempre que la boca  $a$  está á la misma altura que el nivel  $n$  de la vasija. Pero si la boca  $a$  se pone más baja que este nivel, la columna de agua  $s a$  es más pesada que la  $s b$ , rompe por este exceso de peso el equilibrio, y corre por la boca  $a$ ; el vacío que tiende á hacer detrás de sí es inmediatamente llenado por el agua que la presión de la atmósfera en  $n$  hace subir, y así continúa corriendo hasta que la vasija se vacía ó llega su nivel á la altura de la boca  $a$ .

Todos los líquidos no pueden ascender á la misma altura en un tubo por la presión atmosférica: esto *depende de su peso específico*. Así, para el agua el punto más alto del sifón no debe de estar á más de  $10^m$ ; si un sifón de más de  $10^m$  de altura se llenase por cualquier medio (pues por succión no podría ser) y se pusiera la boca de la rama de entrada en un depósito con agua y la de salida más baja en otro, no por eso funcionaría el sifón; las columnas de agua de ambas ramas caerían cada una á su lado, quedando á la altura de  $10^m$  dentro de ellas, como indica la (fig. 70 *f*).

Según esto, un sifón para mercurio ha de tener menos altura que la columna que equilibra la presión atmosférica, ó sea, por lo general, menos de 76 centímetros, al nivel del mar.

Fácil es con una tabla de pesos específicos de líquidos y consultando el barómetro, averiguar el límite de altura de un sifón para un líquido determinado.

Los sifones son de muy distintas formas, dentro todas del principio en que se fundan. Una muy usada es la llamada á la Francesa, que consiste en lo siguiente: si un sifón de ramas *iguales*, que esté funcionando, se va levantando la rama de desagüe de tal modo que las dos bocas se pongan en la misma altura, se puede lograr que quede lleno y en equilibrio. Pero tan pronto como se incline algo hacia



Fig. 70 *f*.



una de las ramas (fig. 70 *g* A) empieza á correr, porque la presión en *a* es menor que en *b*. Para que sea posible el uso de un sifón de esta clase, se dispone del modo que representa la fig. 70 *g* B y para usarlo se sumerge una de ellas, *a*, en el líquido, y se inclina hacia la otra; un sifón de esta clase se puede

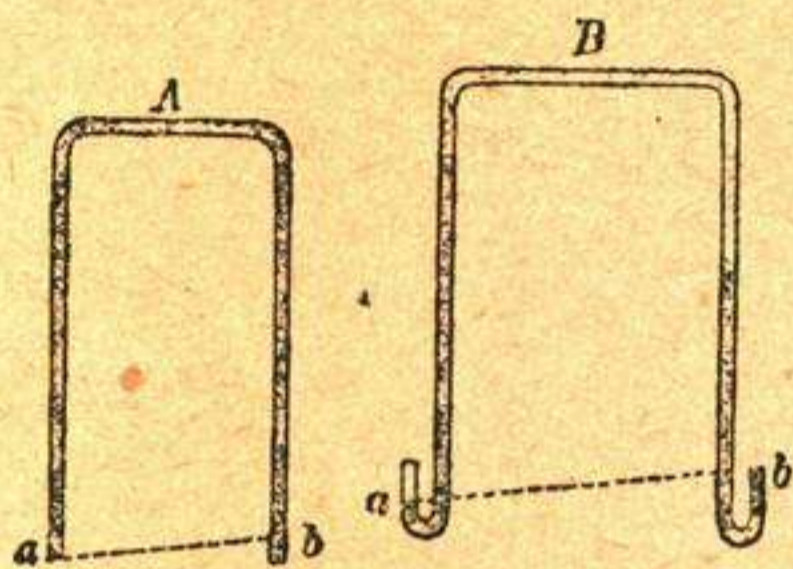


Fig. 70 *g*.

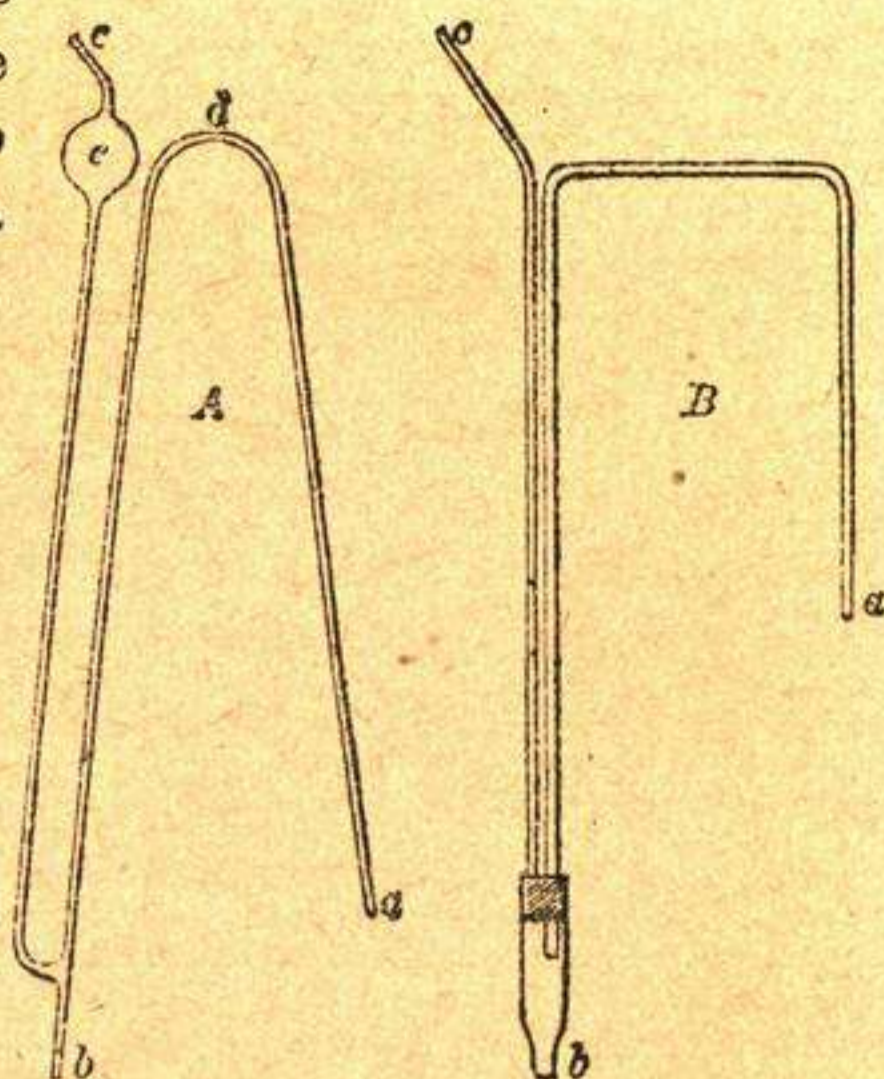


Fig. 70 *h*.

llevar cargado y dispuesto á funcionar fácilmente. Las figs. 70 *h*, A y B indican las precauciones que se toman para cargar un sifón que ha de servir para líquidos corrosivos, que no se deben de hacer llegar á la boca.

2.33.

# LECCIÓN 13

## Principio de Arquímedes aplicado á los gases y aparatos fundados en el mismo

**Principio de Arquímedes en los gases.**—El principio de Arquímedes, formulado y demostrado para los sólidos sumergidos en los líquidos, subsiste para estos otros fluidos llamados gases. A saber: *Todo cuerpo sumergido en un gas, sufre una presión de abajo arriba, ó pierde de su peso una cantidad igual al peso del volumen de gas que desaloja.*

La demostración experimental de este hecho, se hace por medio de un aparatito llamado *Baróscopo ó Dasímetro*, que consiste en una especie de balanza montada sobre un pie (fig. 71); pero en cuyos

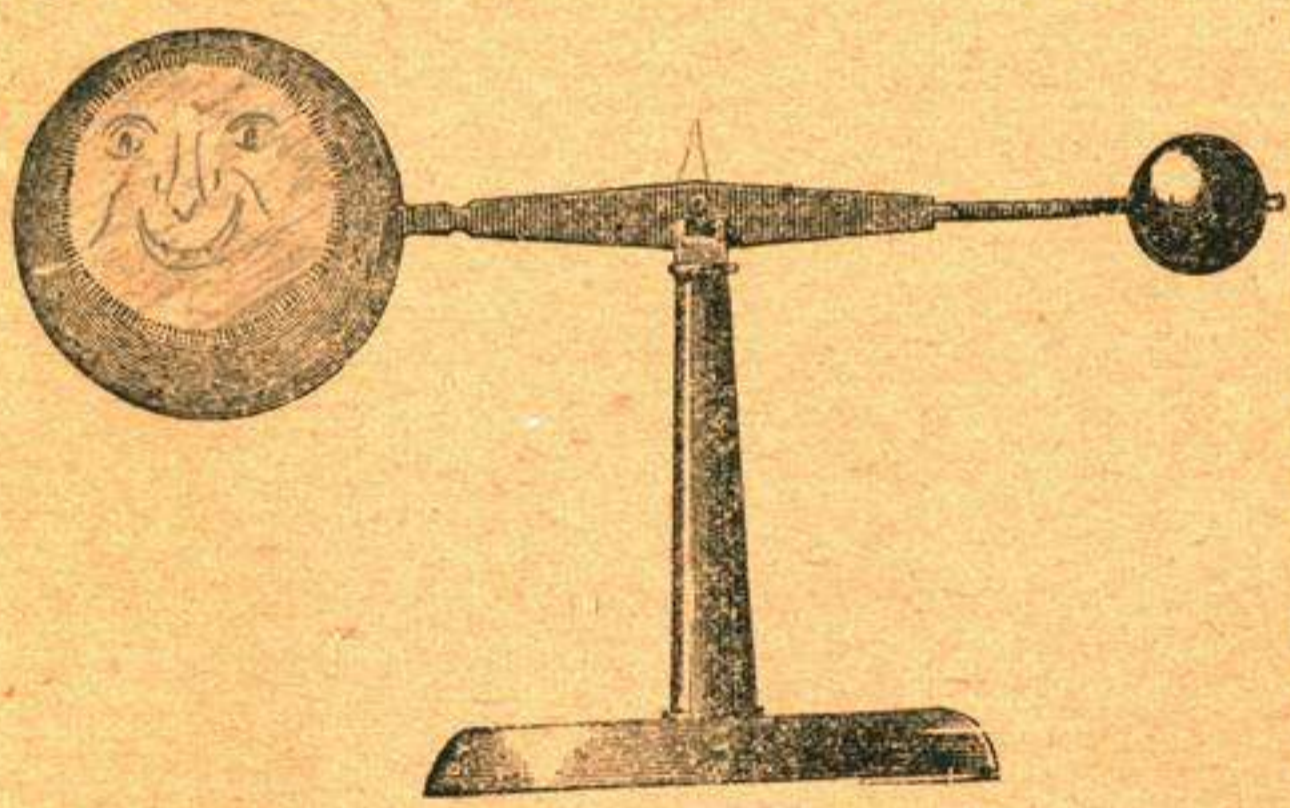


Fig. 71.

brazos se ponen, en vez de platillos, en el uno una esfera hueca metálica de paredes delgadas, de manera que tenga mucho volumen relativamente á su peso; en el otro brazo hay una especie de pesón ó bola maciza pesada que

puede correr á rosca por este brazo que termina en tornillo. La experiencia se dispone equilibrando en el aire libre, la esfera y el pesón, de modo que los brazos del baróscopo están horizontales; si ahora se pone sobre la platina de la máquina pneumática y se tapa con una campana, á los pocos golpes de émbolo se inclina la balanza del lado de la esfera hueca, lo cual manifiesta que en el aire atmosférico una parte del peso de la bola hueca no está equilibrado por la maciza, y como la gravedad no ha variado, sólo puede depender de que por su sumersión en el gas aire, pierden los

cuerpos algo de su peso (ó mejor dicho, una parte de la gravedad está contrarrestada por las presiones de aquél), y pierde más el que tiene más volumen.

La experiencia puede invertirse haciendo que en el aire se incline la balanza del lado del pesón macizo, lo que en el vacío se inclinó del de la esfera hueca, y viendo que después en el vacío se equilibran.

La medida de la pérdida de peso se comprueba calculando la diferencia de peso de los volúmenes de aire desalojado por ambas esferas hueca y maciza, y viendo que si se agrega al brazo de la maciza se equilibran en el vacío.

**Globos aerostáticos.**—Subsistiendo el principio de Arquímedes para los sólidos sumergidos en los gases, precisamente han de subsistir sus consecuencias inmediatas para las condiciones de equilibrio que en la flotación de los sólidos en los líquidos se estudiaron. Así era de presumir que *un cuerpo sólido ascendería en la atmósfera siempre que su peso fuese menor que el del volumen de aire que desaloja.*

Los primeros que confirmaron por la experiencia esta deducción (por más que los investigadores de ciertas curiosidades hablan de ensayos sobre este propósito desde el siglo IV de nuestra Era, y aun atribuyen algunos la primera ascensión en globo al portugués Lorenzo Guzmán en 1709), fueron los hermanos Montgolfier, los cuales realizaron su propósito construyendo los llamados *globos*, que son unos cuerpos de gran volumen (regularmente esféricos, terminados por abajo en una especie de cono), de paredes muy delgadas y llenos de un gas más ligero que el aire. Los citados hermanos los construyeron de papel barnizado y tafetán, dejándolos abiertos por abajo; á cierta distancia de esta abertura colgaban una canastilla, en la que colocaban una materia fácilmente combustible, la cual, al arder, dilatada el aire que inmediatamente le rodeaba, y este aire caliente, penetrando en la capacidad del globo, lo hinchaba: calentada la capacidad de aquél, de modo que el aire caliente encerrado (que es más ligero que el que está más frío), su envoltura y lo que se colgó de ella, pesaba menos que el volumen de aire á la temperatura del ambiente que desalojaba, éstos ascendieron, en tanto que tal desequilibrio de peso se mantenía.

El desequilibrio cesa en estos aparatos, ya porque apagándose el combustible no se mantiene la diferencia de temperatura entre el aire del interior y el que rodea al globo, necesaria para el ascenso, y entonces empieza á bajar, ya porque llegue á tal altura que la dilata-

ción de las capas superiores de la atmósfera hace que el volumen desalojado pese tanto como el globo con su aire caliente.

La diferencia de peso que hacía ascender á los globos de Montgolfier, pudo hacerse lo suficiente para que en él se elevasen los hombres, y la primera ascensión verificada por este medio fué en 21 de Noviembre de 1783, realizada por Pilatre de Rosier y el marqués de Arlandes en un Montgolfier de la forma del representado en la figura 72.

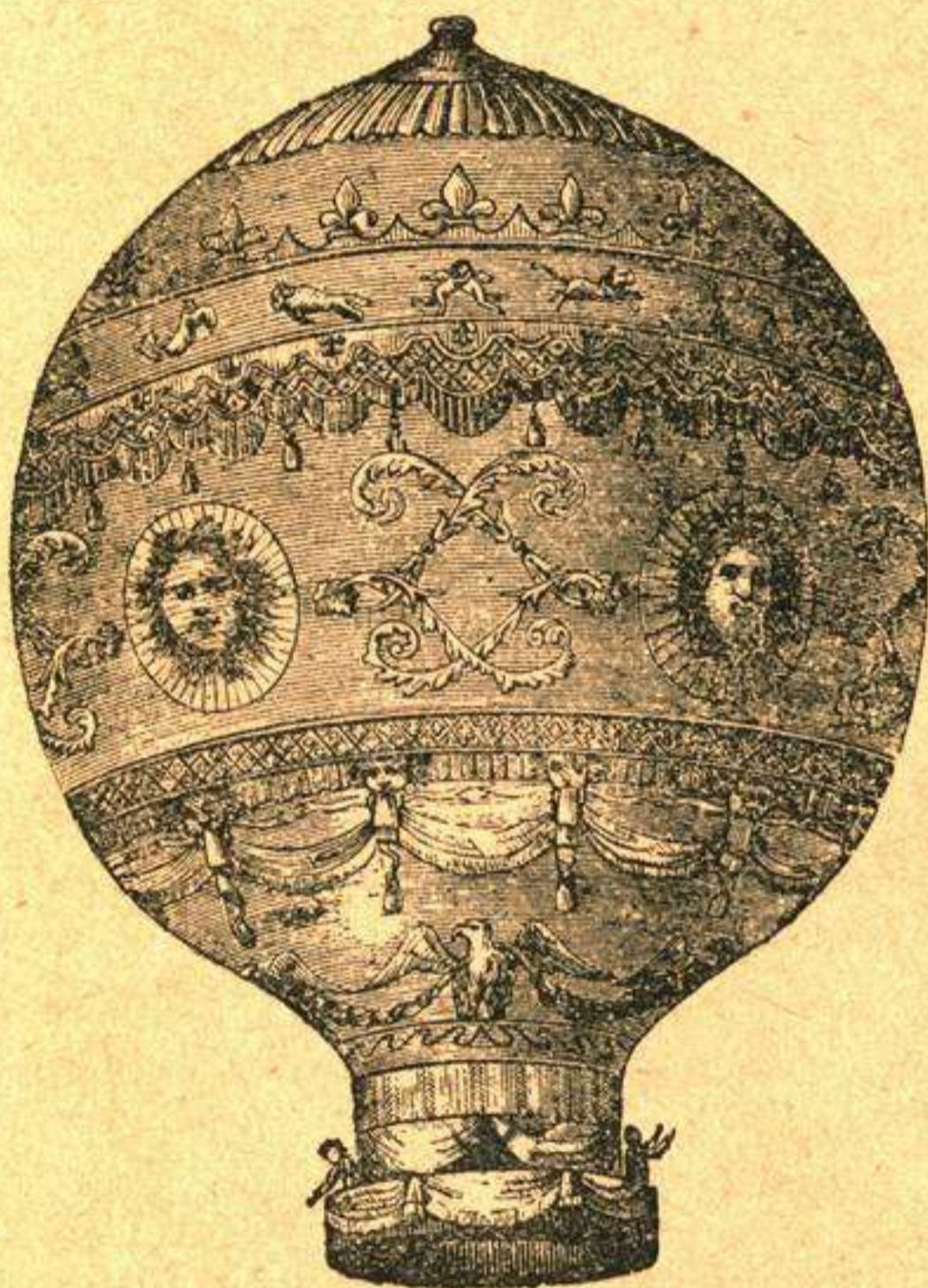


Fig. 72.

miración de cuantos acudieron á presenciar el experimento.

Gay-Lusac en una célebre ascensión llegó á la altura de 7000 metros: modernamente se afirma por Couxvell y Glaisher que llegaron á 9200 metros.

El Hidrógeno con que Charles llenaba sus globos fué sustituido después por el gas del alumbrado, más fácil de obtener, y más barato, y menos expuesto á accidentes que el hidrógeno, y suficientemente ligero para que con poco aumento de volumen en la envoltura, tuviesen estos aparatos bastante fuerza ascensional para elevarse con uno ó más aeronautas.

**Cálculo de la fuerza ascensional de un globo lleno de gas.—**

Los peligros de las ascensiones en estos aparatos, hicieron que se pensase en darles más seguridad, y al físico Charles le ocurrió hacerlos cerrados y llenarlos de hidrógeno, cuyo gas, según ya había demostrado Cavendish, tiene un peso específico unas 14 veces menor que el del aire.

La forma y el acto de llenarlos se representa en la fig. 73.

Charles hizo su ascensión en uno de estos globos en 1.º de Diciembre de 1783, subiendo en pocos minutos á una gran altura, y causando la ad-

Conocido el principio que hace ascender un globo, es fácil el cálculo de su fuerza ascensional.

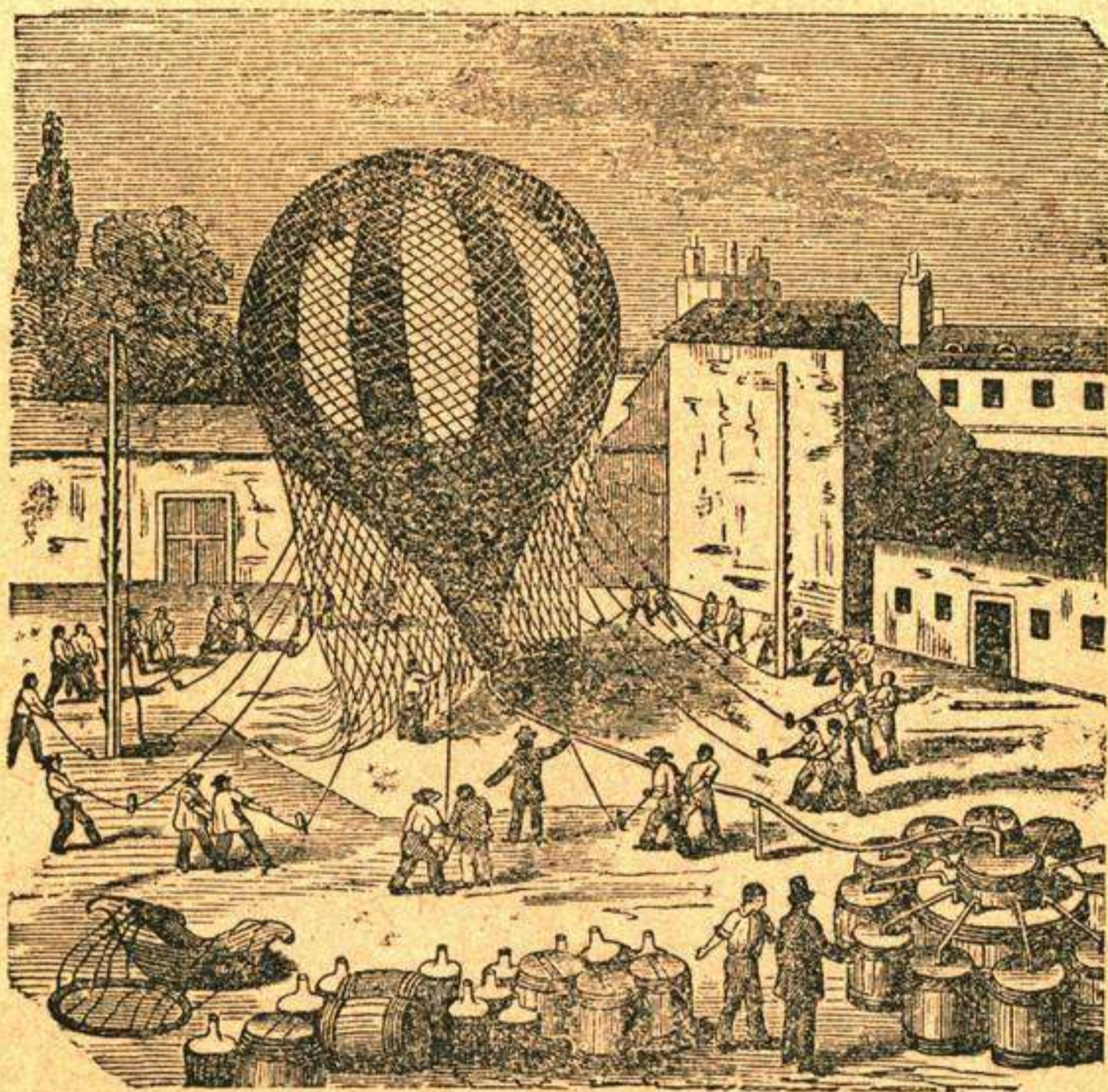


Fig. 73

En efecto, un metro cúbico de aire en condiciones normales, (es decir, á 0° C y 760 milímetros de presión), pesa próximamente 1,3 kilogramos (más exactamente 1,299.) El hidrógeno en análogas condiciones es 0,07 veces (más exactamente 0,0688) más ligero que el aire atmosférico: por tanto, 1 metro cúbico de hidrógeno en las condiciones normales dichas, pesa  $1,3 \times 0,07$  kilogramos; ó en números redondos, 0,09 kilogramos. La diferencia entre su peso y el de un volumen igual de aire, es, pues,  $1,3 - 0,09 = 1,21$  kilogramo. Este es, pues, el número que expresa en condiciones normales la fuerza ascensional de 1 metro cúbico de hidrógeno.

Si, pues, un globo (como el primero en que ascendió Charles) tiene una capacidad de 500 metros cúbicos y se llena de hidrógeno, tendrá á 0°, C y presión de 760<sup>mm</sup> una fuerza ascensional de  $500 \times 1,21 = 605$  kilogramos.

El gas del alumbrado es más pesado que el Hidrógeno, pues su peso específico es 0,63 respecto del aire atmosférico, en condiciones

normales ambos: así, un metro cúbico de este gas pesa 0,82 kilogramos; por tanto, cada metro cúbico tiene de fuerza ascensional la diferencia  $1,3 - 0,82 = 0,48$  kilogramos: luego 500 metros cúbicos tendrán de fuerza ascensional  $500 \times 0,48 = 240$  kilogramos, cuyo resultado es, como se ve, bastante menor que si fuese el hidrógeno el utilizado.

Los globos más pequeños para gas del alumbrado suelen tener más de 700 metros cúbicos de capacidad, y pesan con su envuelta, malla y barquilla unos 150 kilogramos, por lo que aún pueden elevar dos personas y algún lastre. En los Montgolfier, la fuerza ascensional es aún mucho menor. En los mayores, lo más que puede elevar la temperatura del aire interior es de  $60^{\circ}$  á  $70^{\circ}$  C, consiguiendo con ello que la densidad de éste sea 0,8 del aire á  $0^{\circ}$  C y logrando una fuerza ascensional por metro cúbico de 0,26 kilogramos; por tanto, 500 metros cúbicos, sólo proporcionan 130 kilogramos de fuerza ascensional. Se ve, pues, que los Montgolfier han de ser de grandes dimensiones para poder elevar algún lastre.

En general, si se designa por  $p$  el peso de 1 metro cúbico de aire atmosférico, y por  $p'$  el de 1 metro cúbico de otro gas cualquiera, la fuerza ascensional del recinto que lleve un metro cúbico de este último estará expresada por  $p - p'$ : si, pues, fuesen  $V$  metros cúbicos, la fuerza sería  $V (p - p')$ .

Si  $P$  designa el peso del globo y sus adherentes, la fuerza ascensional  $F$  estará expresada por la igualdad  $F = V (p - p') - P$ .

**Paracaídas.**—Llámase así á un aparato que suelen llevar los aeronautas en sus expediciones, con objeto de hacer su caída desde el globo suficientemente despacio, para que no peligre su vida. La forma de este aparato es la de un gran paraguas de tela muy fuerte; en los extremos de sus varillas se atan cuerdas que vienen á sostener una cesta ligera y bastante fuerte para que en ella se aloje el aeronauta; para el uso del paracaídas coloca el aeronauta bien verticalmente el vástago central de aquél, y metiéndose en la cesta, corta la cuerda que por su parte superior lo lleva unido al globo. El paracaídas descende primero un buen trecho con gran rapidez, pero la resistencia del aire que va atravesando y que penetra en su interior vence el rozamiento de las charnelas de las varillas y resistencia del aire que por fuera le rodea, y abre el aparato cuanto permiten las cuerdas tomando la figura representada (fig. 74). En esta posición y como las resistencias que ofrecen los medios en que se mueven los cuerpos, al movimiento de éstos, depende de la magnitud de la

sección con que el cuerpo desvía delante de sí el medio y de la velocidad de su movimiento; de aquí que sin ser muy exagerada la extensión del paracaídas baste para que la resistencia de la columna de

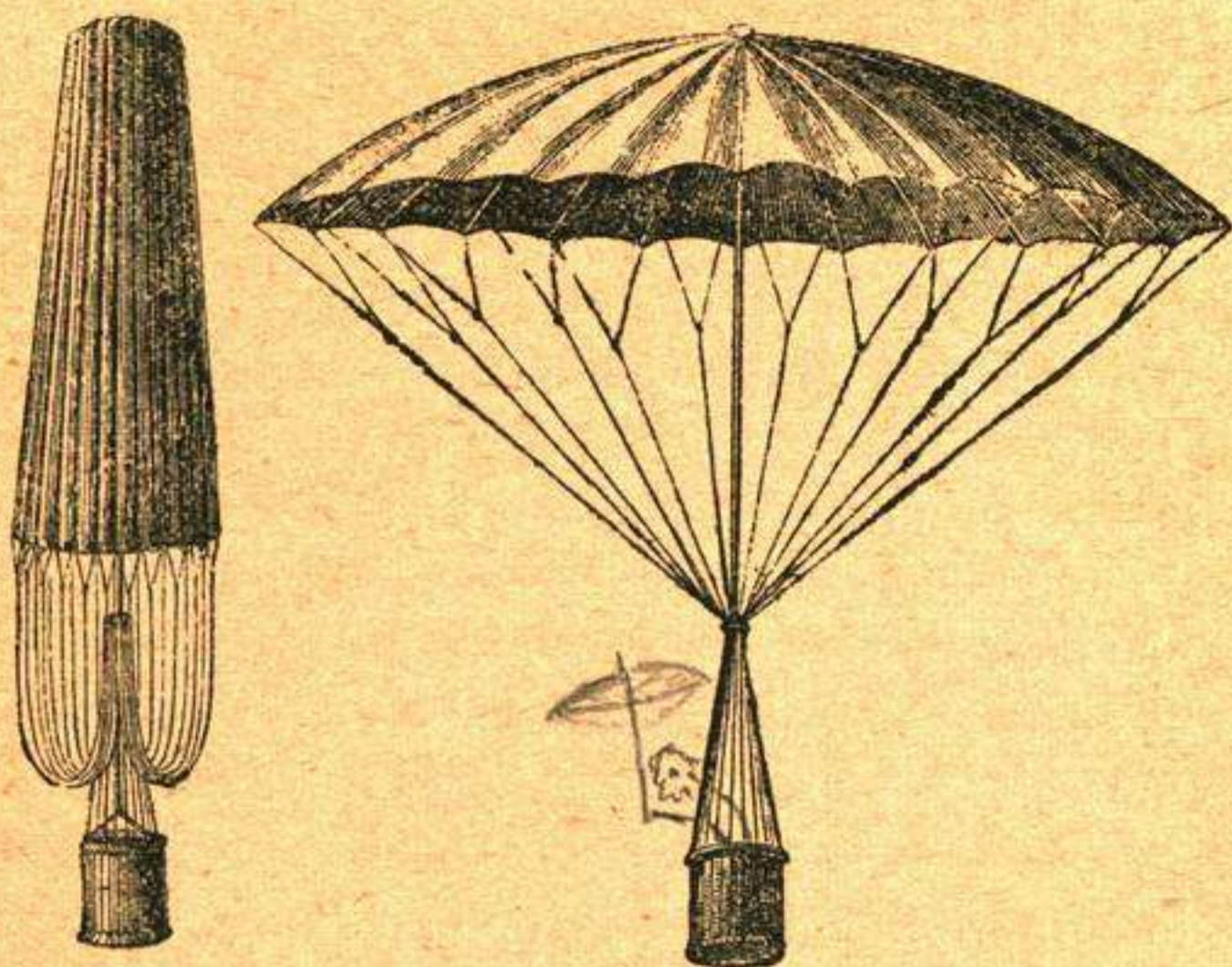


Fig. 74.

aire que ha de desviar, detenga la velocidad que por la gravedad tomaría toda la masa que le constituye.

Para evitar los grandes vaivenes que en el paracaídas produciría la salida lateral (ó sea por debajo del hueco abovedado de las varillas y tela) del aire de la columna que va atravesando, y que pondrían en peligro de volcar de la cesta al aeronauta, ó de invertir el mismo paracaídas, no se cubre con tela la parte inmediatamente junto al vástago, quedando así un agujero por donde el aire se escape verticalmente, y el aparato se mantenga con ello en la posición conveniente.

A pesar de todas estas precauciones, son tan peligrosos los accidentes de los paracaídas, en los que una vez abandonado el aeronauta, ninguna acción puede ejercer sobre su marcha, que no se llevan en los globos por ser inútiles, cuando ocurren tales accidentes que hagan imposible el descenso en éstos. Sólo suelen emplearse para llamar la atención de los espectadores, por la emoción que les causa ver descender rápidamente un gran trecho el paracaídas al desprenderse del globo y sin notar que se abre.

**Navegación aérea.**—Hasta ahora sólo se ha podido hacer arbitrario en los aeronautas, el ascenso ó descenso en la vertical del

punto de la atmósfera en que se encuentra el globo; de manera, que si no existiesen las corrientes de aire que los arrastran, todo el movimiento de los globos libres se reducirían á subir y bajar en la vertical.

Como á medida que asciende un globo las capas atmosféricas en que flota son de menos densidad, disminuye la presión ejercida sobre sus paredes, y el gas interior se dilata en razón inversa de estas presiones. La fuerza ascensional no varía, porque si bien el volumen de aire desalojado es mayor, como su densidad es menor en la misma proporción que disminuye la presión, el producto de este volumen por la densidad es el mismo. Así, que si fuera posible construir un globo de una capa delgadísima, ligera é impermeable y sin ningún adherente, su fuerza ascensional sería constante. Si llevase tal globo algunos accesorios, su fuerza ascensional disminuiría, porque estos cuerpos sólidos, no dilatándose en las capas atmosféricas más enrarecidas, pierden menos de su peso que en las más densas.

Pero la impermeabilidad de la envuelta del globo no se ha podido conseguir que sea completa, de modo que á poco de ascender en la atmósfera hay un cambio de gases del interior al exterior y viceversa, entrando aire dentro del globo y escapándose algún gas á través de la envuelta. Disminuye, por tanto, bien pronto la fuerza ascensional, y para ascender más es preciso aligerar el peso que eleva el globo, arrojando un poco de lastre. Para detener el movimiento de ascensión antes de que el globo por el cambio de gases se detenga, ó si se quiere que descienda, se abre una válvula que lleva en su parte superior, dejando escapar una cantidad de gas arbitraria, porque la válvula está abierta en tanto que el aeronauta tira de una cuerda, abandonada la cual se cierra por sí misma. Así, pues, la facultad de subir arrojando lastre y de bajar dejando escapar gas, es la que tenían hasta hace poco á su disposición los aeronautas y dentro de límites estrechos, pues no son arbitrarias las cantidades de uno y de otro de que puede disponer.

En cuanto á la dirección en sentido determinado ó el reposo relativo del globo en un lugar de la atmósfera, se ha conseguido muy poco hasta ahora. El problema parece depender de encontrar un aparato que pese muy poco, y por medio del cual se pueda desarrollar una gran fuerza motriz.

**Globos cautivos.**—Llámanse así aquellos globos cuya ascensión se detiene por la sujeción de un fuerte cable que los liga á un punto



de la tierra. Claro es que si no existen corrientes de aire, un globo de esta clase se elevará en lo vertical hasta el punto que su fuerza ascensional se equilibre por el peso del cable que mantiene colgado. Estos aparatos, fuera de un fin recreativo, sólo se han empleado en algunas funciones de guerra como medio de explorar las posiciones enemigas.

La primera vez que con este objeto se empleó, lo fué por los franceses el 26 de Junio de 1794 en Fleurus para observar los movimientos de los austriacos.

**Expediciones científicas en globos aerostáticos.**—La primera expedición científica se verificó el 24 de Agosto de 1804 por Gay-Lussac y Riot en París, y después otra el 16 de Septiembre; la mayor altura alcanzada fué de 21.600 pies de París, y las observaciones versaron sobre la temperatura decreciente con la elevación, la humedad y velocidad del aire.

En 1850 Barral y Bixio en Julio subieron hasta 18000 pies de París y observaron una temperatura de  $-39^{\circ}$  centígrados.

Gleischer ascendió en Grenuich hasta unos 32000 pies, pero el desvanecimiento que le sobrevino por el enrarecimiento del aire, le impidió hacer observaciones exactas: el termómetro de mínima marcó  $-27^{\circ}$  siendo en el suelo de  $+12$ .

Una segunda expedición le permitió hacer observaciones sobre la humedad del aire, deduciendo que en general ésta decrece con la altura, y que á 25000 pies probablemente desaparece por completo.

La constitución de las capas atmosféricas es variable respecto de la humedad, y se encuentran alternadas las que tienen más con las que tienen menos.

Con respecto á la lluvia, en la ascensión verificada en el mes de Julio de 1863 se hizo la observación de que mientras que en la superficie era muy fuerte, á los 1000 pies de altura era insignificante; la humedad estaba en las nubes bajas que tenían 5 gramos de agua por pie cúbico.

Con respecto á la altura de las nubes, las más altas observadas en este viaje estaban á 10000 pies.

Respecto á la radiación solar, dedujeron que los rayos de calor atravesaban los espacios vacíos interplanetarios sin pérdida alguna, pero que en la atmósfera pierden tanto más cuanto más densa y húmeda está. También observó Glaisher que la velocidad del viento era mayor en las alturas que cerca del suelo.

Modernamente se han hecho experiencias para la dirección de los globos, que han llegado á dar resultados positivos; prescindiendo de

tentativas anteriores, en 9 de Agosto de 1884 los oficiales Krebs y Renard se elevaron en un globo, construído por ellos, de forma apuntada por sus extremos de 50 metros de largo y 8 de diámetro, con una hélice movida por una batería eléctrica; los resultados fueron los siguientes: á las cuatro de la tarde se elevaron en Chalais-Meudon; al llegar á los 300 metros de altura, empezó á funcionar la hélice y el globo se dirigió hacia el Sur, manteniéndose á la misma altura; en el suelo se veía desplazarse con regularidad la sombra de la barquilla, en tanto que el viento (que les era favorable) estaba casi en calma; el globo tenía una velocidad de 5 metros por segundo.

Al llegar á Villacooblay á 4 kilómetros del punto de partida, maniobraron los aeronautas, para retroceder al mismo, y describieron una semicircunferencia de unos 800 metros de diámetro, al llegar sobre Meudon, derivaron un poco á la izquierda sobre Chalais, y después de varias maniobras, por las que se movieron en diversos sentidos con la misma precisión que una lancha de vapor en el agua, descendieron en el punto de partida.

Una segunda prueba en Septiembre del mismo año no fué tan feliz, porque la velocidad del viento era mayor.

Con estas y otras pruebas, se ha confirmado lo que teóricamente demostró Dupuy de Lome, y es que *los globos son dirigibles, y que en realidad se dirigen, siempre que el mecanismo que les presta su velocidad horizontal, le hace alcanzar una que sea superior á la del viento, en el tiempo de la experiencia.*

Hasta ahora la mayor velocidad de traslación horizontal que se le ha conseguido dar á los globos, es de 6<sup>m</sup>,5 por segundo: si se llegase á conseguir de 10 ó poco más, se podría en el estado general de la atmósfera dirigir los globos, pues la velocidad del viento, por lo general, es menor de 10<sup>m</sup> por segundo.

Estos son los resultados hasta ahora conseguidos ó á lo menos á los que se les haya dado publicidad.

# LECCIÓN 14

2.34.

## Principios teóricos del movimiento ondulatorio

**Vibración de un punto.**—Si un punto material  $c$  (fig. 75) está so-



Fig. 75.

metido á la acción de una fuerza de naturaleza cualquiera, pero tal que lo mantiene en una posición determinada, de modo que cuanto se le separa de ella le hace volver á la misma, y una fuerza exterior, venciendo á la que le mantiene en equilibrio, lo lleva

al punto  $o$  y allí le abandona á la acción de la primera, ocurre que el punto vuelve á su posición; pero como la fuerza que le lleva, actúa durante todo el tiempo que tarda en llegar á  $c$ , su movimiento es *acelerado*, por lo que adquiere cierta velocidad, á consecuencia de la cual rebasa su posición de equilibrio y sigue moviéndose hacia el otro lado. En cuanto pasa de  $c$ , la fuerza que lo trajo desde  $o$  acelerando su movimiento, actúa ahora retardándole, toda vez que al rebasar se *aleja* de su posición de equilibrio, y este retardo dura hasta que se agota la velocidad adquirida por el punto, que es á una distancia  $cd$  igual á la  $oc$ ; cuando llega á  $d$ , el punto queda un instante en reposo, y agotada su velocidad; esto es, queda en  $d$  en las mismas condiciones que en  $o$ , y los hechos vuelven á repetirse, indefinidamente, mientras no actúen otras fuerzas á más de las consideradas.

Es decir, que el punto toma un movimiento alternativo á *un lado y otro de su posición de equilibrio*  $c$ , ya alejándose, ya acercándose á él. Tal movimiento es el que se llama OSCILATORIO ó VIBRATORIO de *un punto*; y ocurre siempre que un punto material es sacado de su posición de equilibrio, sin tomar otra nueva.

Se llama AMPLITUD de la vibración, ó LONGITUD, la distancia desde  $c$  á la posición más extrema á que llega el punto: en nuestro caso la AMPLITUD sería  $co$ .

DURACIÓN DE LA OSCILACIÓN es el tiempo que el punto material tarda en ir y volver desde una posición extrema á ella misma. Así el tiempo que el punto  $c$  tarda en ir desde  $o$  á  $d$  y volver desde  $d$  á  $o$  es la duración de la OSCILACIÓN COMPLETA.

Se llama FASE DE LA OSCILACIÓN la condición del movimiento del punto, en uno cualquiera de su trayectoria: por ejemplo, en  $e$ . De modo que la fase se determina por la *distancia ec* del punto en tal instante, á la posición de equilibrio, por *la velocidad* que le anima, y por el *sentido* de su movimiento en el instante en que se le considera.

Durante una oscilación completa, el punto material recorre todas las *fases* posibles, es decir, que toma respecto de la oscilación todas las condiciones de movimiento posibles.

Es fácil de ver que el *tiempo* que tarda un punto oscilante en volver á la misma fase que tiene en un instante dado, es igual á la duración de una *oscilación completa*. En efecto, considerada la fase del movimiento del punto cuando está en  $e$  y marcha hacia  $o$ , es claro que para volver otra vez al mismo punto  $e$  de su trayectoria, y también dirigirse hacia  $o$ , ha de recorrer  $eo+od+de$  que evidentemente es igual á  $2 o d$ . Si dos fases son tales que para ir de una á otra tarda el punto *media duración de oscilación* se llaman OPUESTAS: en efecto, en cualquier punto de la trayectoria que se considere, como por ejemplo en  $e$  y marcha hacia  $o$  al cabo de media duración de oscilación, habrá vuelto desde  $o$  hacia  $d$  y llegado entre  $e$  y  $d$  á un punto tal que distara de  $c$  tanto como el  $e$  y su condición de movimiento será la de alejarse de  $o$ . De modo que en las *fases opuestas* de oscilación de un punto, la condición del movimiento es ser de contrario sentido, y se verifica en los lugares de la trayectoria que *equidistan* de la posición de equilibrio: ya se sabe que en tales lugares las velocidades son idénticas y que para ir de una á otra la duración es la de media oscilación completa.

**Vibración de una fila de puntos; establecimiento de la Onda.**— Si en una fila de puntos materiales ligados por una fuerza que los mantiene en una posición de equilibrio, se hace vibrar á uno de ellos, todos los demás entran sucesivamente en vibración; porque dependiendo la posición de equilibrio de cada uno, de la acción de los demás, si uno varía de posición, se perturba la de equilibrio de los inmediatos, adyacentes, y de éstos pasa la perturbación á los siguientes, continuando indefinidamente de unos á otros.

La alteración tiene lugar del modo siguiente: Supongamos una

serie de puntos singulares,  $a, c, e, \dots v$  (fig. A 76) que se atraen, y cuya

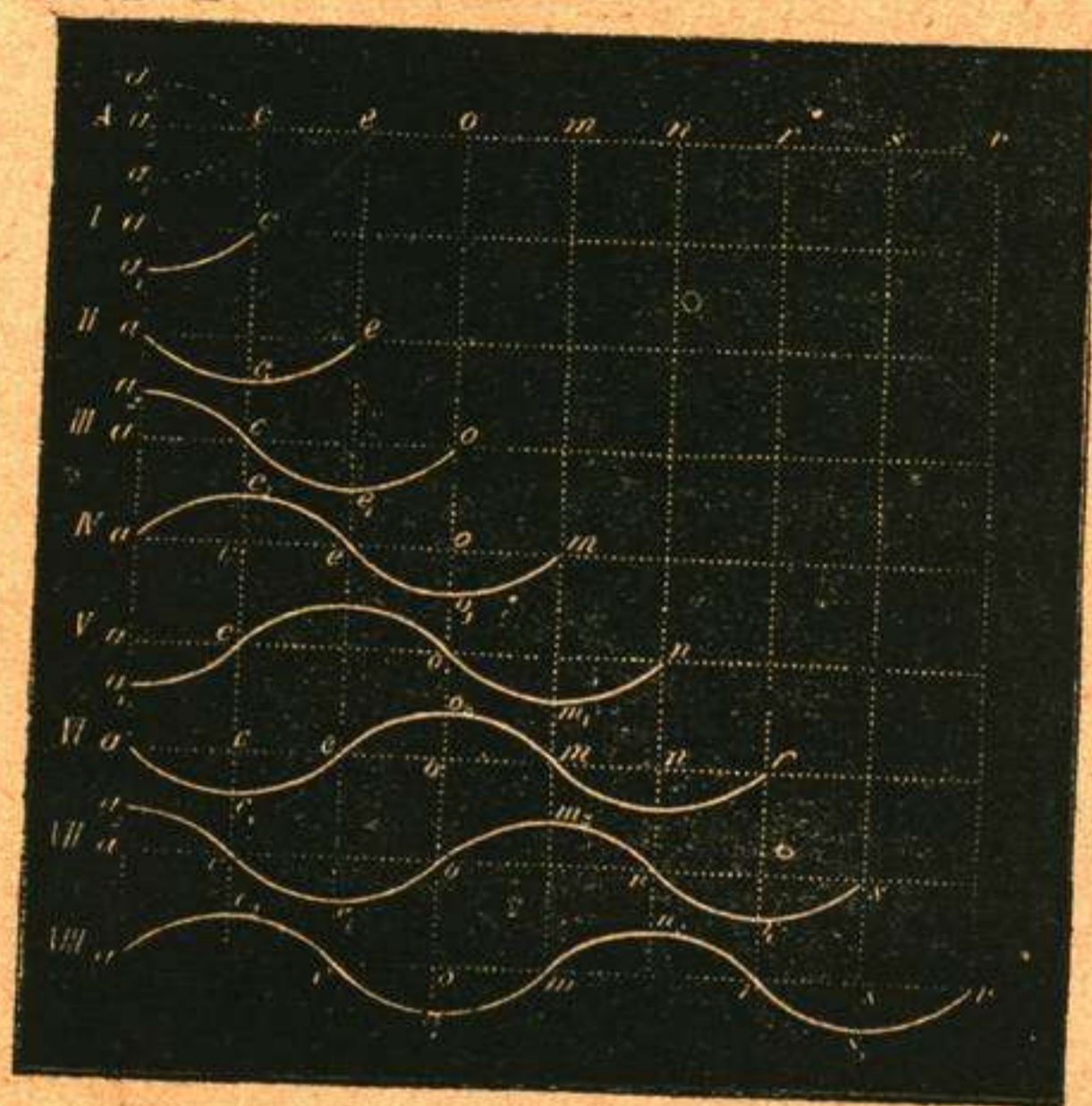


Fig. A 76.

fuerza de atracción varía con su distancia; supongamos, además, que una fuerza repulsiva, impide el contacto ó unión de dos puntos, y que esta fuerza varía de intensidad con la distancia entre ellos y con más intensidad que las atractivas. En el equilibrio, es claro que las fuerzas que actúan sobre cada punto han de ser opuestas en dirección é iguales en intensidad. Si se saca  $a$  de su posición de

equilibrio, llevándole á  $a_1$  aumenta su distancia al próximo  $c$ , y como las fuerzas repulsivas hemos supuesto que decrecen con la distancia más rápidamente que las atractivas, la consecuencia es, que  $c$  es atraído ahora por  $a_1$  más fuertemente que repelido. Se rompe por tanto el equilibrio que mantenía á  $c$  en su posición de equilibrio, y se aproxima á  $a_1$ ; pero  $c$  también estaba sometido á la atracción y repulsión del otro punto  $e$  próximo al otro lado, cuyo equilibrio se rompe también y así sucesivamente.

En suma, si la *oscilación completa* de cada punto se divide en *cuatro partes* de igual duración, ocurre, que al cumplir  $a$  su primer *cuarto* de oscilación (hacia abajo) entran en movimiento los puntos que le siguen hasta el cuarto  $c$  y la fila se dispone como marca la fig. I desde  $a$  hasta  $c$  (admitiendo que desde  $a$  hasta  $c$  hay cuatro puntos, ambos extremos inclusivos). Si  $a$  recorre otro cuarto, ó sea cuando vuelve á la posición de equilibrio, el movimiento se ha trasladado hasta el octavo punto  $e$  y la fila se dispone como marca la fig. II. Continúa el movimiento de  $a$  hacia arriba en el tercer cuarto de su oscilación, y el movimiento llega al punto 12, y la fila se dispone como marca la fig. III. Retorna  $a$  bajando á la posición de equilibrio, en el cuarto cuarto de su movimiento; la oscilación completa se

ha cumplido, y el movimiento se ha trasladado hasta el punto 16, ó sea á  $n$  y la fila se halla en ese instante dispuesta como marca la fig. IV.

Si  $a$  continua oscilando, en el quinto *cuarto* de tiempo avanza otros cuatro puntos el movimiento y la fila se dispone como indica la fig. V. Las figs. VI, VII y VIII, indican los estados de la fila de puntos en los instantes de los cuartos de oscilación 6.º, 7.º y 8.º ó sea este último de dos oscilaciones completas de  $a$ .

Este movimiento que corre y que hemos estudiado en un solo sentido, (á la derecha de  $a$ ) se comunicaría también á los puntos que en esa fila se considerasen á la izquierda. La disposición de la fila oscilando y que representa para una oscilación completa de  $a$  la fig. IV, es la que se llama ONDA, y por eso se designa á tal movimiento de los puntos, que originan en la fila la onda, MOVIMIENTO ONDULATORIO. LONGITUD DE LA ONDA es el trayecto de la fila, que recorre el *movimiento* durante la primera oscilación completa de  $a$ . Así en nuestro caso, (fig. IV) la longitud de la onda es la recta  $am$ . En tal trayecto se realizan todas las *fases* de la oscilación, que sucesivamente podemos considerar en los puntos oscilantes, y estas fases son sucesivas; esto es, están unas junto á las otras, toda vez que cada punto comienza á oscilar retrasado respecto del anterior y recorre después todas las fases que el primero.

Además, cada ONDA se compone de dos partes, que se pueden superponer, una llamada de delante, ó sea la  $a c_1 e$  (fig. IV) y otra de detrás, ó sea  $eo_1 m$ . A la parte que está sobre la posición de equilibrio de la fila, ó sea en nuestro ejemplo en la  $a c_1 e$ , se le llama ELEVACIÓN DE LA ONDA, y á la que está por debajo DEPRESIÓN. En ambas partes los puntos homólogos (es decir, aquellos que distan lo mismo del principio de cada *media onda*) están animados de igual velocidad, pero en sentidos opuestos; lo cual quiere decir que tales puntos homólogos están en *fases opuestas* de oscilación.

La fig. VIII hemos dicho que marca la posición de la fila de puntos por dos oscilaciones completas de  $a$ , y si continuara moviéndose éste, la serie indefinida de puntos que consideramos á derecha é izquierda de  $a$  se pondría en una prosecución de longitudes onduladas, alternando las elevaciones y depresiones, que todas son de *igual longitud*, si la de las oscilaciones completas de  $a$  son idénticas; porque es claro que en tal caso la velocidad con que se propaga el movimiento es uniforme.

El movimiento ondulatorio de una fila de puntos, ligados por las fuerzas de que se ha hecho mención al empezar el estudio del efecto que

produce el de uno de ellos, también puede originarse, porque el punto oscile en otra dirección que la estudiada, y es del modo siguiente:

Hemos considerado el caso de oscilar el punto *a*, saliendo en su movimiento de la dirección que marca la recta que forma la fila de puntos, esto es, que el trayecto que recorre el punto *a* en su vibración, está marcado por una recta perpendicular á la fila de puntos.

Pues bien, el punto *a* puede oscilar, esto es, ir de un lado á otro de su posición de equilibrio, sin salir en el trayecto que recorre de la dirección de la recta que forma la fila de puntos, antes bien, coincidiendo con ella. Las ondas se producen como en el caso anterior, porque todos los demás puntos van sucesivamente entrando en un movimiento análogo al del primero que se movió, es decir, que todos los demás puntos adelantan y retroceden en la *misma dirección que la fila* porque sólo actúan fuerzas que obran en esa dirección. Con esto ocurre que la dirección del trayecto que recorre cada punto en particular, y la en que se propaga el movimiento en general á toda la fila, es una sola y la misma que la de la fila. Esta se dispone entonces de otro modo que el representado en la figura del caso anterior, pues ahora no cambia de forma, la fila de puntos queda en línea recta, pero tienen lugar unas *dilataciones y condensaciones* alternativas á lo largo de ella. Toda vez que las distancias entre sus puntos constituyentes, disminuyen ó aumentan. Ejemplos de esto nos lo ofrecen una cuerda de guta, fija por sus extremos y tirante, la cual, cogida por uno de sus puntos, lo aproximáramos sin salir de la dirección de la cuerda hacia uno de los extremos, abandonándolo después: otro son los resortes de alambre en tirabuzón, cuando se comprimen sus vueltas en la dirección de la recta de sus dos extremos fijos, y otros muchos casos, de los que examinaremos alguno principalmente en los gases.

Cuando *los puntos* oscilan en *dirección perpendicular* á la recta que forma la fila, ó lo que es lo mismo, á la dirección en que se propagan las ondas como en el primer caso, se dice que vibran *trasversalmente*. Si, como en el segundo, los puntos oscilan *en la misma dirección* que la fila de ellos y en la que se propagan las ondas, se dice que vibran *Longitudinalmente*.

En el primer caso las ondas originadas en la fila la cambian de forma, disponiéndola en *elevaciones y depresiones*, pero sin aproximar los puntos entre sí: en el segundo, la fila no cambia de forma, pero hay en ella aproximaciones y separaciones de las distancias respec-

tivas entre los puntos, comparadas con la posición de equilibrio, es decir, hay *condensaciones* y *dilataciones*.

La vibración trasversal no ocurre siempre que el movimiento primitivo del primer punto es trasversal, sino sólo cuando la dirección de la RESULTANTE del sistema de fuerzas que obran sobre los puntos, al sacarlos de su posición de equilibrio, es perpendicular á la línea que forma la fila de ellos.

La combinación de los movimientos trasversales y longitudinales de los puntos de una fila, da lugar á que éstos describan trayectos rectilíneos oblicuos á la dirección del movimiento, ó curvos.

4.35.

## LECCION 15

### Superposición de los movimientos ondulatorios.—Interferencias

Supongamos que sobre puntos *diferentes* de una fila se producen movimientos oscilatorios simultáneos: cada punto de éstos es entonces un origen de oscilaciones que se propagan á todos los demás de la fila: con esto los puntos sufren la acción de varios movimientos. Así, por ejemplo, un punto de la fila al cual lleguen al mismo tiempo dos de estos movimientos, sufre dos impulsos y su movimiento resultante se determina por esos dos componentes que actúan sobre él en el instante dado: el hecho de concurrir dos ó más vibraciones ó impulsos sobre un mismo punto se llama una INTERFERENCIA DE MOVIMIENTOS. Según el principio fundamental de mecánica, de la independencia de las fuerzas, ó sea en nuestro caso de que *cuando sobre un mismo punto actúan dos fuerzas cada una de ellas actúa como si estuviese sola*, es evidente que si las dos que obran sobre un mismo punto de una fila, en el mismo instante, es decir, si interfieren, y actúan en el *mismo sentido*, sus acciones se *suman*. En tal caso la aceleración del movimiento del punto en cada instante es igual á la suma de las aceleraciones: de los movimientos que interfieren, lo mismo ocurre con las velocidades y los espacios recorridos. Pero si las fuerzas actuasen en sentidos *distintos*, la aceleración, velocidad y trayecto resultantes del punto, se tendrían que deducir por la composición de las fuerzas.



Entre los diversos casos de interferencias de ondas, está el que origina el establecimiento de la llamada *ondulación estacionada, remansada ó continua* de una fila de puntos. En efecto, si en una fila indefinida de éstos vibra uno, el movimiento se progaga en ambos sentidos; pero si á uno y otro lado hay ya otros puntos con movimientos vibratorios, ó se originan después, es claro que las ondas van del primero á los segundos, y de éstos al primero; hay, pues, propagaciones en sentidos opuestos, y por tanto *interferencias*: el cálculo da el movimiento resultante en cada caso; pero hay uno en el que todos los *puntos situados entre dos* que fueron orígenes de vibraciones se constituyen en un estado de ondulación especial, que se llama de ondas *permanentes, limitadas ó continuas*, cuya modalidad en su caso más sencillo es la siguiente:

Supongamos que en la serie de puntos en línea recta que se figuran

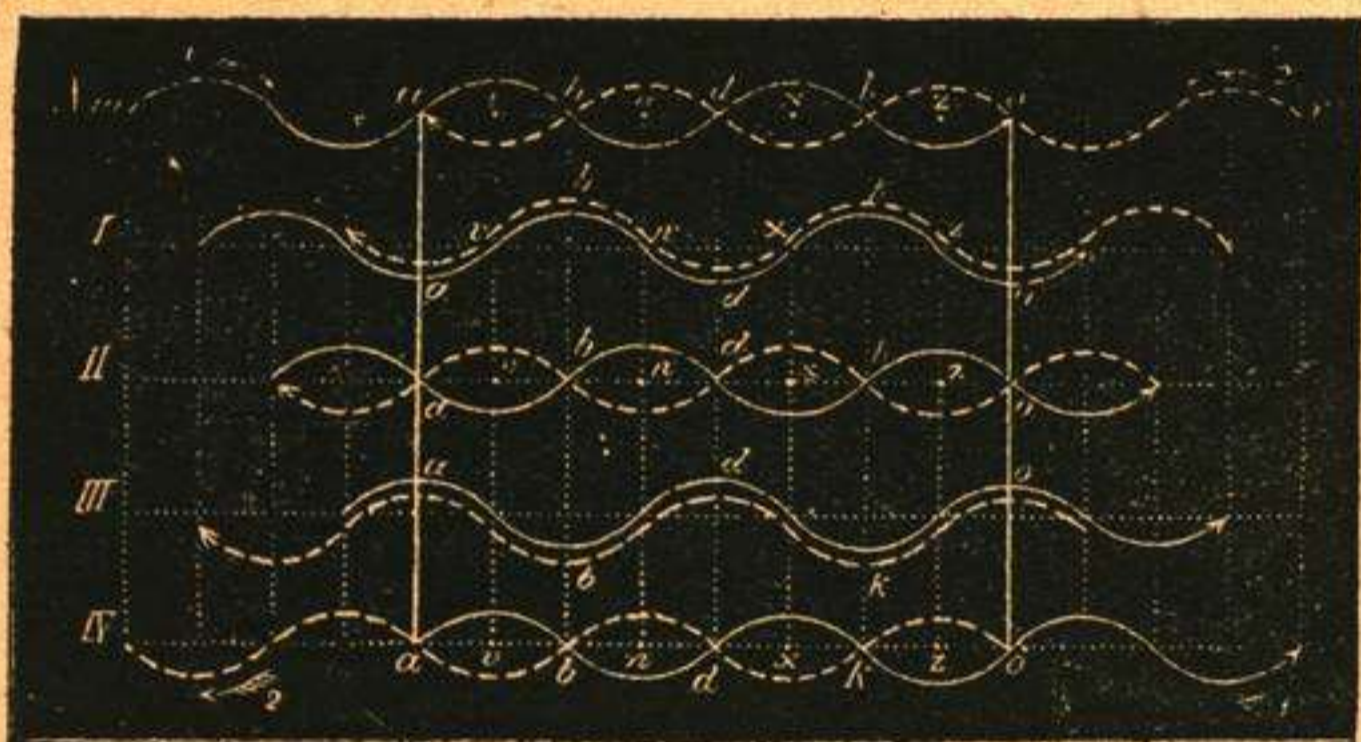


Fig. 77.

desde *a* hasta *o* (fig. 77) consideramos los *b* y *h* equidistantes del *d* y que en un mismo instante se originan en ellos vibraciones transversales de igual *duración* que al pro-

pagarse producen ondas en la fila, y de *amplitud* y *longitud* igual. El cálculo demuestra que la fase del movimiento de cada punto es *independiente de su distancia* á los de origen, de modo que los diversos puntos consecutivos *no van* entrando *sucesivamente* en la fase de movimiento que tuvo el anterior, sino que todos en el mismo instante considerado, tienen la misma fase de movimiento. Dicho de otro modo, que **TODOS AL VIBRAR PASAN AL MISMO TIEMPO POR SU POSICIÓN DE EQUILIBRIO Y AL MISMO TIEMPO LLEGAN Á SU MÁXIMUM DE SEPARACIÓN**, si bien cada uno tiene distinta amplitud de esta separación, y además existe un punto entre los dos de origen, que es el equidistante *d*, el cual *no abandona* su posición de equilibrio.

Representando esto gráficamente, se tiene que la fig. A representa dos series de ondas de la misma duración que parten de los puntos *m* y *r* simultáneamente y marchan en sentidos opuestos como marcan las

flechas; al cabo de la tercera ondulación completa disponen el trayecto entre  $o a$  por su interferencia en las ondulaciones *permanentes* que marcan las dos líneas onduladas (*llena* y de *rayas*) de la fig. A: los puntos  $a, b, d, k$  y  $v$  no salen de su posición de equilibrio, es decir, que, por ejemplo, entre  $a$  y  $d$  los puntos intermedios vibran todos con la misma fase, pero con diferente amplitud; representando la línea de rayas  $a b d$  un momento dado del movimiento, con la particularidad de que cuando los puntos entre el espacio  $ab$  van hacia un lado de la posición de reposo, los situados entre  $b$  y  $d$  van hacia el otro: lo mismo sucede con la posición marcada por la línea llena, que corresponde á otro instante del movimiento. En cuanto á la línea recta de puntos  $a b d$  denota la *posición de equilibrio*.

La fig. I representa la interferencia de ondas originadas por puntos que se alcanzan con una diferencia de  $\frac{1}{4}$  de longitud de onda.

La fig. II, la de los puntos, cuyas ondulaciones se alcanzan con una diferencia de  $\frac{1}{2}$  de longitud de onda.

La fig. III, la interferencia de ondas originada por su alcance con una diferencia de  $\frac{3}{4}$  de longitud, y por último, la fig. IV es el estado de ondulación por el alcance de ondas con una diferencia de ondulación completa, y reproducen el caso (fig. A).

Los casos (A, II y IV) son los en que se establecen ondas permanentes.

Los puntos que en las ondas remansadas ó *continuas* de una fila no salen de su posición de equilibrio, se llaman *Nodos*; así los  $a, b, d, k$  y  $v$  de los casos representados en las figs. A, II y IV son los *nodales*.

Debemos repetir que todos los puntos que están entre dos *nodos*, tienen siempre la misma fase de vibración, con *amplitud* ó trayectos distintos, y tanto menor cuanto más cerca están de los *nodos*. En cuanto á los lugares de éstos, corresponden en aquellos puntos de la fila, tales ( $a, b...$ ) que distan entre sí *MEDIA LONGITUD DE ONDA COMPLETA*, y no pueden perder su posición de equilibrio, porque son los límites entre las *depresiones* y *elevaciones* de la onda completa que constituye este arte de vibración, de una fila de puntos. En cambio, el punto equidistante entre dos *nodos*, es el que tiene la mayor amplitud de vibración, es decir, recorre más largo trayecto, constituyendo la *cima* de la elevación ó lo *profundo* de la depresión de cada media onda,

á cuyas posiciones llegan al mismo tiempo los puntos equidistantes: estos puntos se suelen llamar **VIENTRES**.

Esta modalidad de vibración por *interferencias* de dos movimientos ondulatorios que se propagan en sentidos *opuestos* es muy común, como tendremos lugar de observar, sobre todo en la propagación del sonido y vibración de las cuerdas.

Cuando los movimientos ondulatorios que concurren no siguen igual dirección, dan lugar á las vibraciones de trayecto **ELÍPTICO**, cuyo análisis no es oportuno en un compendio de Física elemental.

Por último, si concurren ondas de distinta longitud, los movimientos resultantes, aunque periódicos, son muy complicados, y sin sujeción á ley general. En las figuras llamadas de Lissajous, que se experimentan en la acústica, se tienen ejemplos variados de los movimientos resultantes en cada caso concreto.

**Oscilación de los cuerpos ó sistemas de puntos.**—Si en un sistema de puntos extenso en todas direcciones, ó sea en el espacio, se perturba el equilibrio de uno (suponemos que entre ellos existen fuerzas atractivas y repulsivas que tratan de volverlo al equilibrio, análogamente que las consideradas en la oscilación de un punto), ocurre que en todos los demás se perturba también su estado de equilibrio.

Un sistema de puntos en el espacio puede considerarse como un conjunto de filas de puntos, las cuales se pueden imaginar como rectas indefinidas que parten en todas direcciones desde el punto considerado como origen, ó centro de una esfera, de la cual las filas son los infinitos é indefinidos radios que se consideren. Si este punto central vibra, su movimiento se propaga simultáneamente á cada fila de puntos según las leyes examinadas anteriormente.

Del modo como esté constituido el sistema, y por la propagación del movimiento, dependen los diferentes sistemas de oscilaciones que se originan.

La velocidad de propagación del movimiento vibratorio en una

fila de puntos, depende del valor que toma la expresión  $\sqrt{\frac{e}{d}}$  en la

cual  $e$  representa la elasticidad de la fila y  $d$  su densidad. Si, por ejemplo, se tiene que su valor es constante en todas las filas, el sistema se llama **HOMOGÉNEO** ó **ISOTROPO**. En tal sistema, el movimiento se propaga en todas direcciones, con velocidad constante, y á todo lo largo de cada radio las ondas son de igual longitud: puede, pues, estudiarse

el movimiento vibratorio de estos sistemas, como consecuencia y con arreglo á los principios de la vibración de una fila de puntos.

Pero si suponemos que la elasticidad entre los puntos de los diferentes medios no es la misma, ó su densidad, ó ambas cosas á la vez, varían en relaciones distintas, se tiene entonces un sistema que se llama *heterogéneo*. En tal sistema, la velocidad de propagación del movimiento es diferente en las diversas direcciones que se consideran; también son distintas las longitudes de ondas en las filas en que el valor

$\sqrt{\frac{e}{d}}$  sea diverso. El sistema en que esto último ocurre se llama

*anisotropo* ó *heterotropo*: tal es el caso cuando los puntos están más próximos entre sí, en una dirección que en otra, ó son atraídos á su posición de equilibrio con más fuerza en un sentido que en otro, ó por último, cuando en una misma fila varía el valor de  $e$ , según la dirección en que se saca al punto de su posición de equilibrio.

En los MEDIOS ISOTROPOS, las ondulaciones que tienen la misma dirección en todos los radios ó filas, se propagan comunicando el movimiento, al cabo de un cierto tiempo, á una esfera de radio determinado, es decir, que el movimiento oscilatorio se propaga por ONDAS ESFÉRICAS.

Si el sistema no es isotropo, el movimiento no puede propagarse en ondas esféricas, dependiendo la distancia hasta la cual se propaga el movimiento en cada fila, en un tiempo dado, de la elasticidad y densidad de los puntos, en cada una.

**Principio de Huyghens sobre la propagación de los movimientos ondulatorios en un sistema isotropo.** — Huyghens sentó un principio que aún lleva su nombre en Optica, y que es de la mayor importancia para la clara comprensión de fenómenos complicados.

Consideremos en O (fig. 78) una partícula de Eter que, oscilando en todos sentidos, ha puesto en oscilación á sus vecinas, de tal modo que al cabo de un cierto tiempo se ha propagado el movimiento hasta una superficie *esférica* de radio  $Or_1$ .

Las partículas de Eter, situadas sobre esta superficie, por ejemplo las  $a, b, c, d, f, \dots$  propagan sus oscilaciones, no sólo en el sentido radial, sino que cada una de ellas viene á ser á su vez el centro de una onda esférica, como se representa en la figura poniendo una sección de un plano que pasa por O. Las nuevas ondas esféricas así producidas tienen una superficie común de contacto.

Tal se ve, por ejemplo, en la superficie esférica de la figura, cuyo

radio es  $o r_2$ . Pero á su vez las partículas de Eter, situadas sobre esta

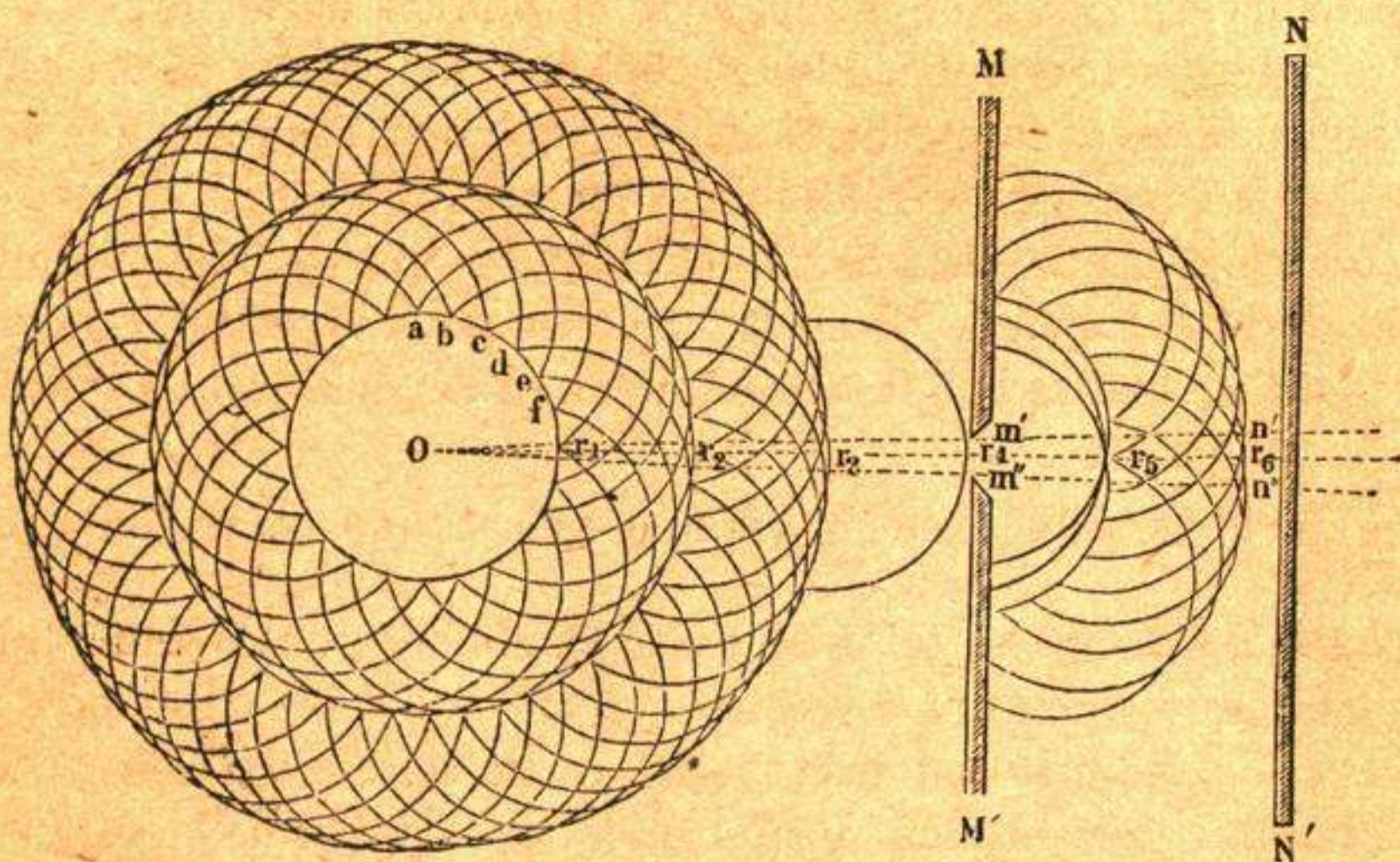


Fig. 78.

onda esférica, producen ondas esféricas en todas direcciones, que á su vez, y al cabo de cierto tiempo, vuelven á tener todas una superficie esférica de contactos comunes, cuyo radio es, por ejemplo,  $o r_3$ . No hay que dejarse llevar de la idea que pueda producir la inspección de la figura, de que la expansión de las ondas esféricas es sólo de una manera periódica; éstas se producen sin interrupción, pues todas y cada una de las partículas de Eter afectadas por el movimiento de  $O$  se convierte en seguida en un centro de nuevas ondas esféricas; dicho se está que esto mismo ocurre ya en el punto  $O$ .

Para formarnos una idea aproximada de este modo de propagación, figurémonos una plaza circular de una ciudad donde la multitud está apiñada, y de pronto el individuo que ocupa el centro da una noticia que oyen sus vecinos, y éstos la repiten á su inmediato círculo de oyentes, quienes á su vez le repiten á su círculo de vecinos, y así sucesivamente. La noticia corre y se propaga por medio de círculos, cuyo conjunto se esparce y ensancha cada vez más. En un tiempo determinado la noticia alcanza un cierto círculo, y entre las personas que estuviesen en la periferia, aquellas á quienes *llegaría más pronto*, serían las que se hallasen en el camino de un radio. Ya aquí se acaba la analogía. Pues así como en el ejemplo puesto, á la primera noticia llevada por el más corto camino, pueden seguir otras muchas iguales que se han propagado por un camino más largo ó circular (si no se establece que la noticia no sea transmitida por cada uno más que una vez) en la manera de propagarse algunos agentes, por ejem-

plo, la luz, se contrarrestan por las interferencias, las comunicaciones sucesivas y simultáneas del movimiento; *sólo queda como eficaz el que se propaga por el camino más corto ó en la dirección del radio.*

No es difícil hacerse cargo de que el movimiento vibratorio resultante sólo puede establecerse á lo largo del radio, pues todo es simétrico alrededor de éste, y por tanto, siempre se entrelazan cada dos movimientos impulsivos que se favorecen entre sí, y cuya resultante debe de ser una serie de ondas en la dirección del radio.

Más explicaciones sobre este principio y una demostración matemática de él exigiría el empleo del cálculo superior.

## LECCIÓN 16

2.96.

### Acústica

La acústica es la última parte de la llamada Física de la materia ponderable, es decir, de aquella sección que explica la causa inmediata de los fenómenos, de un modo cierto y sin recurrir á hipótesis más ó menos probables; se ocupa de los llamados fenómenos de sonido, ó sea de todos aquellos que percibimos por el sentido del oído, explicando en todos los casos en que tales percepciones subjetivas ocurren á qué movimientos reales de la materia son debidas, y deduciendo el enlace entre las unas y las otras.

Pruébese que la causa inmediata real de los sonidos es un movimiento, porque siempre que ocurren estos fenómenos se puede evidenciar el movimiento de uno ó más cuerpos, y que estos son ponderables (sólidos, líquidos ó gaseosos) se demuestra experimentalmente porque en los vacíos de materias ponderables, que podemos experimentar, por ejemplo, debajo de la campana de la máquina Pneumática, aunque se mueva un cuerpo adecuadamente, para originar sonidos, no comunica su movimiento á los cuerpos que le rodean, con lo que dejamos de percibir subjetivamente tal movimiento por el oído, y sólo nos apercibimos de él por la vista. De donde se deduce por experiencia la necesidad de que todos los cuerpos que se ponen en movimiento, hasta llegar al sentido adecuado para traducirle como sensación auditiva, sean ponderables.

Corrobórase también por medio del análisis exacto de los movimientos que origina la sensación, que son vibratorios, ya con regularidad, en el período de vibración, á manera de un péndulo, ya irregulares; percibiéndose esta diferencia por las sensaciones distintas que causan en el oído, y que distinguimos con los nombres de tonos y ruidos.

Aparte de la importancia que en sí tienen los fenómenos de sonido, porque son de los que más eficazmente nos ponen en relación con el mundo exterior, también la tienen científica, porque en ellos se estudian de un modo experimental ciertas condiciones y leyes de los movimientos vibratorios de la materia ponderable, que aplicadas por analogía á los de la imponderable que originan las sensaciones de calor y luz, y los efectos electro-magnéticos, sirven de medio de investigación en estos otros órdenes de hechos, más complejos y difíciles de desentrañar, como oportunamente veremos más adelante.

Todos los sentidos de los hombres son limitados en su facultad perceptiva; el oído humano percibe como sonido los movimientos vibratorios cuyo período oscila entre 16 y 38000 vibraciones por segundo.

El medio que en general trasmite las vibraciones de los cuerpos y llega hasta el aparato receptor en el hombre, es el aire atmosférico; porque si bien es cierto que los sólidos y líquidos son aptos para trasladar las vibraciones sonoras de un cuerpo, pero en todo caso, entre estos medios de trasmisión y la parte sensible del oído humano, queda una capa de aire, que es la última parte vibrante y externa al aparato auditivo. Por consiguiente, conviene conocer cómo se modifica y dispone la estructura de este medio gaseoso, por la energía de las vibraciones de los cuerpos sonoros. Para ello suponemos al medio gaseoso cuando está en reposo, homogéneo, respecto á su elasticidad, y que el cuerpo vibrante oscila todo él como un péndulo. El caso más sencillo es el estudio de las ondas que en el aire ambiente origina una esfera sólida vibrante, de tal modo, que en un instante ensancha su volumen, y al siguiente lo contrae, rebasando en ambos casos cantidades iguales, á su volumen normal, en el estado de reposo; es evidente que en tanto que ensancha su volumen empuja la capa de aire que le rodea y ésta á la siguiente, extendiéndose este empuje y la consiguiente condensación de las capas *influenciadas*, hasta un cierto límite; de manera que en resumen, la dilatación de la esfera origina á su alrededor una atmósfera ó *capa esférica* de aire *condensado*, ó sea á más densidad que el ambiente; en cuanto la es-

fera vibrante empieza á contraerse deja un vacío entre la última capa de aire que condensó y su superficie, cuyo espacio lo llena por su dilatabilidad parte de la masa de esa capa de aire, pero que al dilatarse está á menos densidad, no sólo que la condensada, si que también del gas en reposo: en resumen, que por la contracción de la esfera vibrante, la estructura del ambiente que la rodea es de una capa esférica de *aire dilatado* de igual grosor (pues el período de contracción es de igual duración que el de dilatación de la esfera) que la capa condensada que antes originó al ensancharse.

Ahora bien, como una dilatación y una contracción de la esfera del supuesto, constituye una vibración completa de la misma, se infiere que por cada una de éstas, se cambia á su alrededor la estructura del aire, de homogénea que era en el reposo, en ondas esféricas, cuyo grosor depende de la duración; estas ondas van adelantando y ensanchándose, por la comunicación de su movimiento á las capas sucesivas de la atmósfera, y cada una está constituida de dos secciones, una en la que el aire está condensado, y la otra en la que está dilatado. Tal es la modificación que en la estructura del gas aire y en los demás cuerpos cuando propagan la onda sonora, origina un cuerpo vibrante pendularmente.

Es claro que estas ondas esféricas sufren muchas modificaciones en su forma, cuando el aire está limitado en vasos, tubos ú otras capacidades determinadas, y cuando choca ó atraviesa á otros cuerpos; pero la variación de forma, es decir, el que se propague en un cilindro cono, ú otra forma más ó menos regular, no altera su constitución de parte condensada y parte dilatada, correspondientes á las fases de vibración del cuerpo sólido y líquido ó gaseoso que las origina.

También el cuerpo vibrante pendularmente, origen de las ondas, puede ser una porción determinada de un gas, como ocurre en muchos instrumentos de música; á su vez, como los sólidos ó líquidos vibrantes, originan las porciones de gas vibrante las ondas propagadoras del sonido, que son las que hemos analizado, pues sólo de la estructura del medio gaseoso ambiente nos hemos ocupado.

**Propagación y velocidad del sonido.**—La trasmisión de las ondas no es instantánea en ningún medio elástico hasta ahora experimentado. Las ondulaciones que presenta una larga columna de soldados marchando al compás de los tambores que van á la cabeza, procede de la diferencia de tiempo con que llegan á sus oídos los golpes, y por tanto el retardo con que empiezan á echar sus respectivos pasos.



Parece que todos los sonidos se transmiten con igual velocidad en un mismo medio elástico: lo mismo la detonación de un disparo, que un tono musical. Y esto pudiera inferirse de que las múltiples notas de una orquesta, como que llegan todas en el mismo tiempo á una misma distancia.

Sin embargo, la realidad no es esta. Konig ha demostrado que no se propagan con la misma velocidad en el aire los tonos altos que los bajos, siendo mayor en los segundos.

La velocidad de propagación de un tono de altura constante se ha apreciado, respecto del aire, del modo siguiente: Entre dos puntos de estación, cuya distancia se midió exactamente, se observó el tiempo que trascurría desde que se produjo el sonido en una; por ejemplo, desde que se vió el fogonazo de un disparo hasta que llegó el sonido á la otra, ya no hubo más que dividir la distancia por el tiempo para apreciar la velocidad. Así, apreciada la distancia en metros y el tiempo en segundos, recorre el sonido en el aire  $340^m,89$  por segundo.

Esta observación fué hecha con una temperatura de  $16^\circ$  del termómetro centígrado,  $756,5$  milímetros de presión y á  $78^\circ,0$  del higrómetro de Saussure. La presión atmosférica no tiene influencia sobre la velocidad de propagación del sonido en el aire; pero sí la tienen la temperatura y el estado higrométrico, ó sea la mayor ó menor cantidad de vapor de agua que exista en la atmósfera. Así en el aire seco y á la temperatura  $0^\circ$  del centígrado, la velocidad de propagación es solamente de  $331,08$  metros por segundo.

Los líquidos y los sólidos y otros gases distintos del aire, transmiten el movimiento del cuerpo sonoro con diferentes velocidades; en los líquidos es mayor que en los gases, y en los sólidos más que en los otros dos estados.

**Complejidad de la composición de las ondas sonoras.**—*Disposición de los cuerpos vibrantes.*—Ningún sonido, hasta ahora experimentado, se debe á la vibración remansada de un *solo* cuerpo vibrante; porque, en efecto, si el cuerpo es de un tamaño apreciable, como placas, barras, cuerdas ó aire en los tubos, al ponerlos en vibración se dispone en oscilación progresivas, esto es, con sus nudos y vientres, ó sean partes en distinta fase de vibración. Esto es muy fácil de experimentar en las placas metálicas, cuerdas ó tubos sonoros: respecto de las primeras, baste echar sobre ellas un poco de arena fina, y al ponerlas en vibración, la arena es despedida de los vientres, y se agrupa en los nudos, que en las placas son líneas nodales. La explicación es sencilla; en los vientres el movimiento de la placa es mayor que los

nudos ó líneas nodales, que no salen de su posición de equilibrio. Cada una de estas partes produce sus ondas elementales de propagación, que se componen con las originadas por las demás.

Pero aún no sólo existe esta causa de complejidad, sino que al vibrar un cuerpo se ponen en vibración otros varios de los que le rodean, ya porque estén ligados con el primero de un modo rígido, ya por la comunicación de vibraciones que se realiza, por medio de las mismas ondas propagadoras, como fácilmente se experimenta, y diremos más adelante.

De manera, que por las dos causas de división de los cuerpos ó sistemas rígidos, en partes vibrantes, y por la comunicación de su movimiento á otros cuerpos, la onda sonora resultante proviene de la composición de todos estos movimientos elementales. Esto es lo que se quiere expresar con decir que los sonidos experimentables son complejos y no *elementales*.

Los cuerpos que hasta hoy originan sonidos menos complejos, son

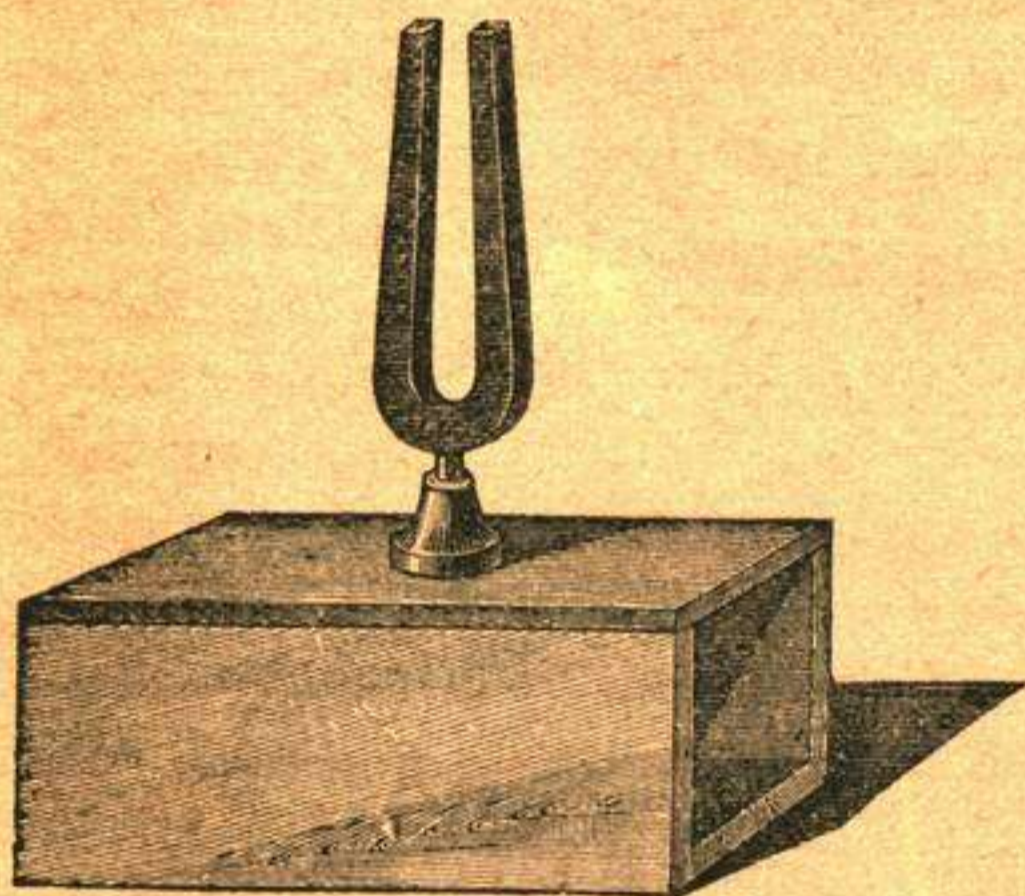


Fig. 79

los llamados DIAPASONES (figura 79), que consisten en barras de acero prismáticas rectangulares, dobladas en forma de U, de ramas iguales, y que en su curvatura tienen un cabo; se hacen vibrar por medio de un arco de violín, rozando simultáneamente los extremos de las ramas, y sosteniéndolos por el cabo. Si su masa es homogénea y sus partes son simétricas, dan sonidos muy

puros, y sirven principalmente para los experimentos en los Gabinetes de Física.

2.37. **Cualidades que el oído distingue en los sonidos ó tonos.**—Cualquiera que sea la complejidad de constitución de UNA onda sonora de período regular, el oído tiene la facultad de distinguir en su impresión, comparada con la que la causa otra onda, tres cualidades que la Física ha analizado que corresponden á condiciones distintas de las ondas que las originan y propagan.

Estas tres cualidades por las que distinguimos unos sonidos de otros, se llaman *altura, fuerza y timbre*.

La ALTURA, subjetivamente considerada, es la diversa impresión que denotamos con las palabras de sonidos *agudos* ó *graves*: objetiva ó físicamente considerada la condición del movimiento, que establece esa diferencia de impresión, depende del *número de vibraciones* que realiza un cuerpo en un tiempo dado. La demostración de usual y conocida, no es necesario referirla; en los gabinetes, está ligada con la apreciación del número exacto de vibraciones que hace el cuerpo en un tiempo dado. Los aparatos en los que se demuestra que la altura crece con el número de vibraciones y se cuentan éstas, son las llamadas *ruedas dentadas de Savart*, ó los más complicados llamados *Sirenas*.

**Ruedas dentadas de Savart.**—Si se hacen tropezar los dientes de una rueda B (fig. 80) con una lámina elástica E de modo que

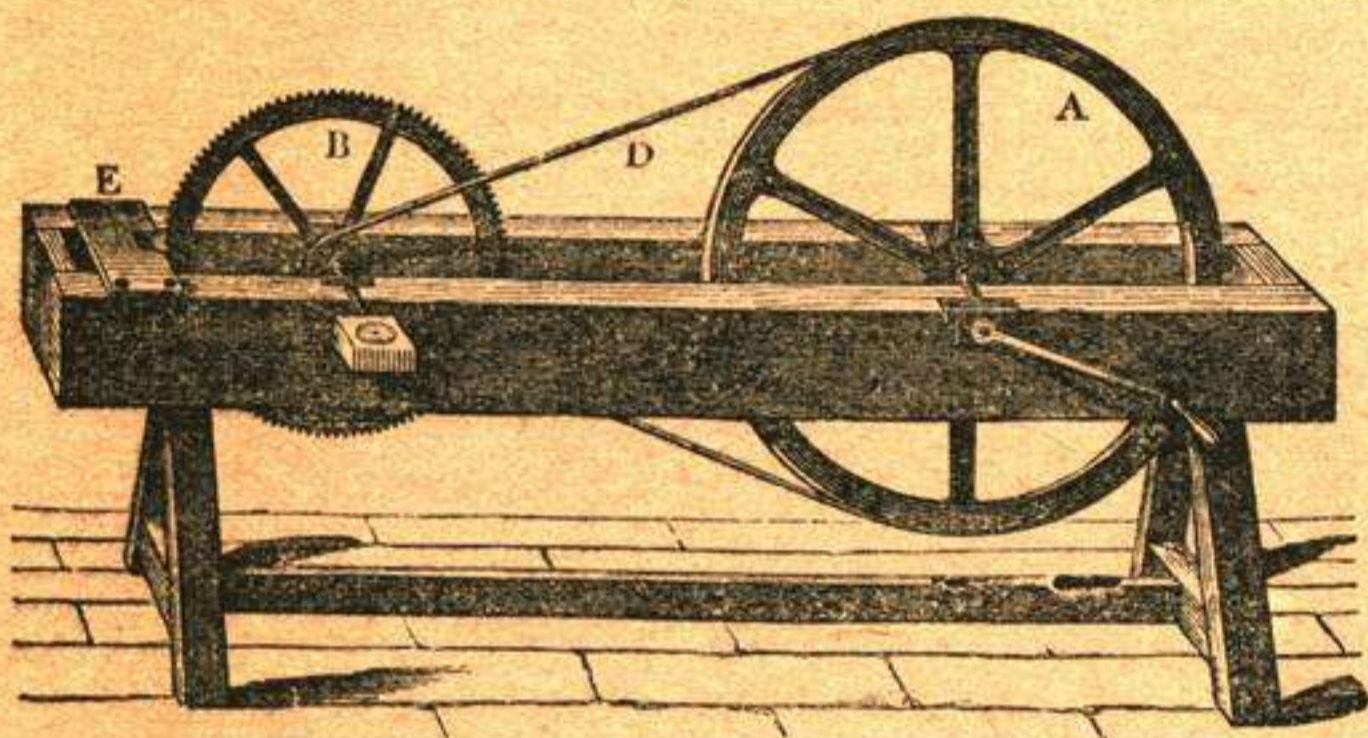


Fig. 80.

entre el espacio de un diente á otro haga ésta una vibración, es evidente que al dar una vuelta completa la rueda B, habrá hecho la lámina tantas vibraciones como dientes

tiene aquélla; si, pues, la rueda tiene 66 dientes y en un segundo da una vuelta, el tono que dé la lámina será el correspondiente á 66 vibraciones por segundo; si la rueda B va más de prisa de modo que dé 10 vueltas por segundo, la lámina habrá hecho  $66 \times 10 = 660$  vibraciones en el mismo tiempo; y si da 100 vueltas, las vibraciones serán 6600, y así sucesivamente. Si el eje de la rueda dentada se une á un mecanismo conveniente, para contar las vueltas que da en un tiempo dado, se tendrá el aparato, debido á Savart, adecuado para producir tonos por las vibraciones en número determinado de láminas elásticas. Estos aparatos constan á veces de más de una rueda dentada.

Las sirenas son aparatos más perfectos, y que se emplean para otras experiencias, además de las de contar las vibraciones correspondientes á un tono dado. Su fundamento es producir los tonos por la vibración del aire; el medio para ello empleado se debe á Cagniard de Latour, por más que después se haya variado y perfeccionado considerablemente los primeros aparatos contruídos por su inventor.

Esta apreciación exacta (hasta los límites que el error personal de apreciación del oído condiciona) del número de vibraciones de un tono, proporciona el conocer de un modo inmediato y fácil la longitud de su onda sonora en el aire en las circunstancias ordinarias.

En efecto, si suponemos que la velocidad de propagación de los sonidos es de  $340^m$  *por segundo*, y además por medio de las ruedas dentadas ó sirenas, averiguamos que un sonido determinado, proviene, por ejemplo, de 3400 vibraciones completas *por segundo* del cuerpo vibrante, es claro que en un segundo y en el espacio de los  $340^m$  en dirección longitudinal, estará modificada la estructura del aire, de modo que haya en él 3400 ondas sonoras: la longitud de una de ellas (ya sabemos que media dilatada y media condensada) será el *cociente* de  $340^m$  por 3400 ó sea  $0^m,1$ .

La segunda cualidad que subjetivamente distinguimos, no ya en los diferentes tonos, sino en uno mismo, es lo que llamamos su *fuerza ó intensidad*; cualidad que experimentalmente conocemos, por la diferente distancia á que podemos percibir un tono. De modo que los más fuertes ó intensos son los perceptibles á mayor distancia. Analizada la condición del movimiento vibratorio del cuerpo sonoro, para que sus tonos sean más intensos, fácilmente se descubre y corrobora que consiste en que la *amplitud* de sus vibraciones sea mayor. Así vemos que una cuerda, aunque produce los mismos tonos, por permanecer invariables las condiciones del número de sus vibraciones, puede dar, y realmente origina, tonos *más fuertes* cuanto más ampliamente se la saca de su posición de equilibrio, ó sea, se le hace vibrar; por eso la energía que, cambiada en vibración, origina los tonos, ha de aumentarse para producir los más fuertes ó intensos.

Por último, el *Timbre* de los sonidos, subjetivamente considerado, es una impresión por la que entre dos tonos de igual altura y fuerza, aún distinguimos cuál es el cuerpo sonoro que ha producido á cada uno de ellos. Así un tono dado á la vez por la voz humana, ó un instrumento, pueden ser de la misma altura y fuerza, y todavía el oído distingue cuál procede de la voz, y cuál del instrumento; la cualidad por la cual los distingue es la llamada Timbre. Objetiva, ó físicamente consideradas las condiciones de los movimientos que producen las diferencias en los tonos, que se llama Timbre, se ha corroborado que depende de la complejidad en la constitución de los tonos. En efecto, cada cuerpo vibrante, y los que con él entran en vibración, concurren, con la serie de ondas elementales que forman, á componer por sus interferencias una onda resultante, que si bien puede tener

el mismo período de ondulación que otra y la misma amplitud, no tiene la misma *forma*, si no nacen las elementales de los mismos cuerpos igualmente situados. Por eso, como las partes vibrantes de la voz humana, y de un instrumento cualquiera son de distinta naturaleza y forma, por mucho que en altura y fuerza se igualen dos tonos, ó sea por más que sean idénticos, el número de ondas y su amplitud, la *forma* de la onda *resultante* es distinta y esa diferencia es la que aprecia el oído y llama *timbre*.

**Resonancia.**—Llámase así el refuerzo que se produce en un sonido por la comunicación de las vibraciones del cuerpo sonoro á otros cercanos, apropiados para vibrar con el mismo período que él.

La resonancia se logra más fácilmente entre sólidos ligados, que de sólidos á gases ó líquidos. Ejemplos muy comunes de esto son los instrumentos de cuerda. Tanto sus partes sólidas y las maderas de que generalmente se construyen (como el hueco ó espacio lleno de aire que en ellos se dispone), son con el objeto de que vibren al unísono por la comunicación de las vibraciones de la cuerda á las partes sólidas del instrumento. La consecución de este propósito refuerza el sonido que por sí sola produciría la vibración de una cuerda aislada.

Sin tal refuerzo, los sonidos en general serían muy débiles, como lo prueba que un diapasón vibrando, si es mantenido por su cabo en el aire, ocasiona un sonido débil, y puesto por el cabo sobre una caja de maderas delgadas y hueco á propósito, da un sonido mucho mayor que antes, por la comunicación de sus vibraciones á las paredes de la caja y aire del hueco, que se ponen á vibrar con igual período que el diapasón. En los teatros de la Roma antigua, se dice por Vitruvio «que para hacer perceptible en tan grandes espacios la voz de los actores, había dispuestos diversos vasos de bronce que, vibrando con la voz del actor, reforzaban los sonidos de ésta».

La experimentación de las vibraciones, á través de los medios flexibles (gases por ejemplo) originadas por las ondas sonoras, se hace poniendo á cierta distancia (uno ó dos metros) dos diapasones idénticos; se hace vibrar á uno de ellos, y apagando inmediatamente su sonido, se percibe el que produce el otro, por haber entrado en vibración, mediante la acción de la onda sonora.

Aparte de lo muy importantes que son los Fenómenos de resonancia, como medio de reforzar los sonidos, los experimentos de la comunicación de vibraciones, entre cuerpos ponderables, figuran entre los que más adelante se han de repetir, con las de la materia imponderable.

**Eco.**—Cuando las ondas sonoras pasan de un medio á otro ó tropiezan contra un obstáculo fijo, retroceden menor ó mayor número de ellas en el mismo medio en que vienen: á este retroceso se llama *reflexión* y la ley á que obedecen en su dirección, las ondas reflejadas, es que *el ángulo de incidencia y el de reflexión han de ser iguales y las direcciones de las ondas incidente y reflejada están en el mismo plano con la NORMAL.*

La ley de la reflexión del sonido se muestra, respecto de la onda en el aire, por medio de dos espejos metálicos parabólicos, cuyos ejes se corresponden, y en los cuales se observa la reunión por reflexión en el foco de uno de ellos, de las ondas sonoras producidas en el foco del otro. El mismo fenómeno se observaría en los focos de una bóveda elíptica, lo cual, según las condiciones geométricas de estos cuerpos, no puede realizarse sin que los ángulos que las direcciones de las ondas forman con la normal á los cuerpos reflejantes en los puntos en que retroceden, sean iguales y estén en el mismo plano.

Por el choque perpendicular de una onda sonora contra un plano, se refleja, según la ley mencionada, en la dirección en que vino; y si el observador está á una distancia tal de la pared que pueda percibir la diferencia de tiempo entre la ida y vuelta de la onda, se produce lo que se llama *Eco*.

Fácil es el cálculo de la distancia del obstáculo para que se perciba el eco; en efecto, en un segundo se pronuncian fácilmente tres sílabas; luego en una se invierte  $\frac{1}{3}$  de segundo; y como en este tiempo se propaga la onda 112 metros, si la pared reflectora está á 56 ó  $2 \times 56$ ...  $n \times 56$  metros, tarda en volver el sonido de una sílaba  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{2}{3}$ ...  $\frac{n}{3}$  de segundo; de modo que se pueden pronunciar 1, 2, 3...  $n$  sílabas antes que vuelva y se perciba por reflexión la primera.

No es necesario para los fenómenos de reflexión que la superficie sea dura y plana, pues frecuentemente se observan ecos sobre las superficies líquidas y gaseosas, como sobre las del mar y nubes.

## LECCION 17

Q. 38.

### Aplicación de las leyes acústicas á algunos aparatos

**Tubos acústicos.**—Llámanse así unos tubos largos de caoutchouc, de forma cilíndrica y pequeño diámetro, que se emplean con unas embocaduras en sus extremos, para transmitir las palabras de una manera perceptible á largas distancias. El uso de estos tubos se ha limitado hasta ahora á los diversos departamentos de los grandes edificios, pues á muy largas distancias no son perceptibles las palabras. El fundamento de ello es que la onda producida por la voz humana en una de las embocaduras no puede propagarse en forma esférica, y por tanto, adelanta en el tubo sin gran pérdida de intensidad, si éste es liso y estrecho. Con la invención de los teléfonos y micrófonos, los tubos acústicos han perdido su escasa aplicación.

**Bocina.**—Llámanse así un tubo de forma generalmente cónica, cuyo objeto es dirigir en el sentido de su eje las ondas sonoras que se producen en su vértice, con lo cual se refuerza la sensación que sin el instrumento se percibiría á la misma distancia: así, por ejemplo, (fig. 81), si una persona habla en la embocadura que se pone en el

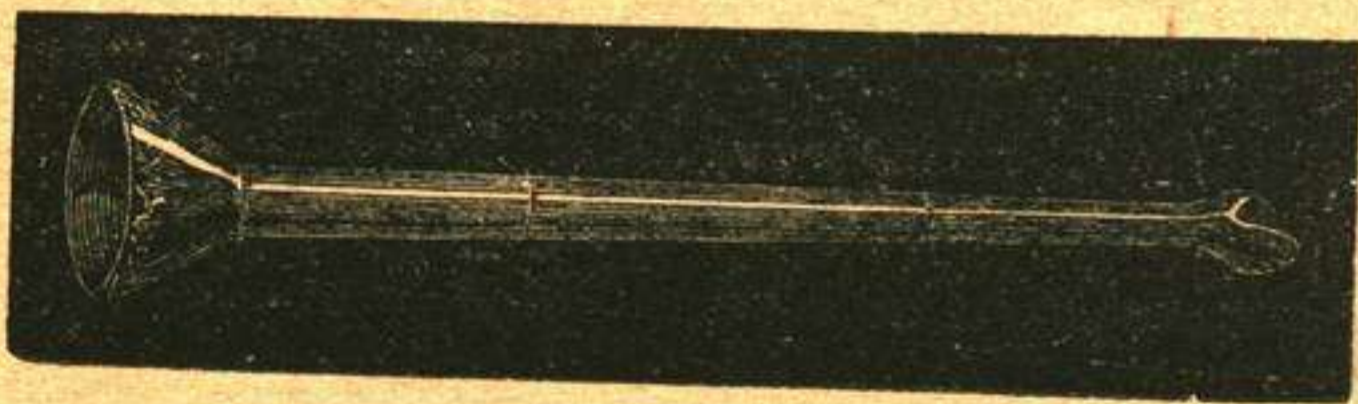


Fig. 81

vértice de este cono, los que están en toda la región del espacio, en que al salir del tubo se propagan las ondas, percibirán las palabras con más intensidad que si á la misma distancia hablase la persona sin la bocina.

La razón que dan algunos es que sin la bocina las ondas sonoras se repartirían en esferas concéntricas, cuyo centro común es la persona que habla; pero mediante la bocina, impedidas las ondas de propagarse en forma esférica por la resistencia de las paredes del

instrumento, se reflejan en ellas, que están construídas con tal inclinación, que al salir por la boca ó pabellón las ondas van paralelamente al eje.

Para conseguir mejor este resultado, añaden que se ha de dar á la bocina la forma de una rama de hipérbola, siendo su eje la asíntota. Pero otros, atendiendo á que los sonidos que se propagan por la bocina, se escuchan reforzados en todos sentidos y que el pabellón no tiene influencia en cuanto á la reflexión de las ondas, paralelamente al eje, pero sí la tiene decisiva en cuanto al refuerzo de la voz, atribuyen este efecto á la vibración al unísono de toda la columna de aire encerrada en la bocina, y en cuanto al que produce el pabellón, aún no se explica satisfactoriamente.

**Fonógrafo.**—Es un mecanismo dispuesto para dejar grabados en una plancha los sonidos y reproducirlos á voluntad.

El de Edison es el más adecuado para expresar la forma de la ondulación, porque su acción estriba en fijar sobre una plancha de estaño por medio de las impresiones de un estilete que vibra al unísono con la palabra ú otros sonidos, la curva ondulatoria correspondiente, y después en reproducir el movimiento oscilatorio que ha de repetir en el aire las ondulaciones que causaron la impresión por el resbala-

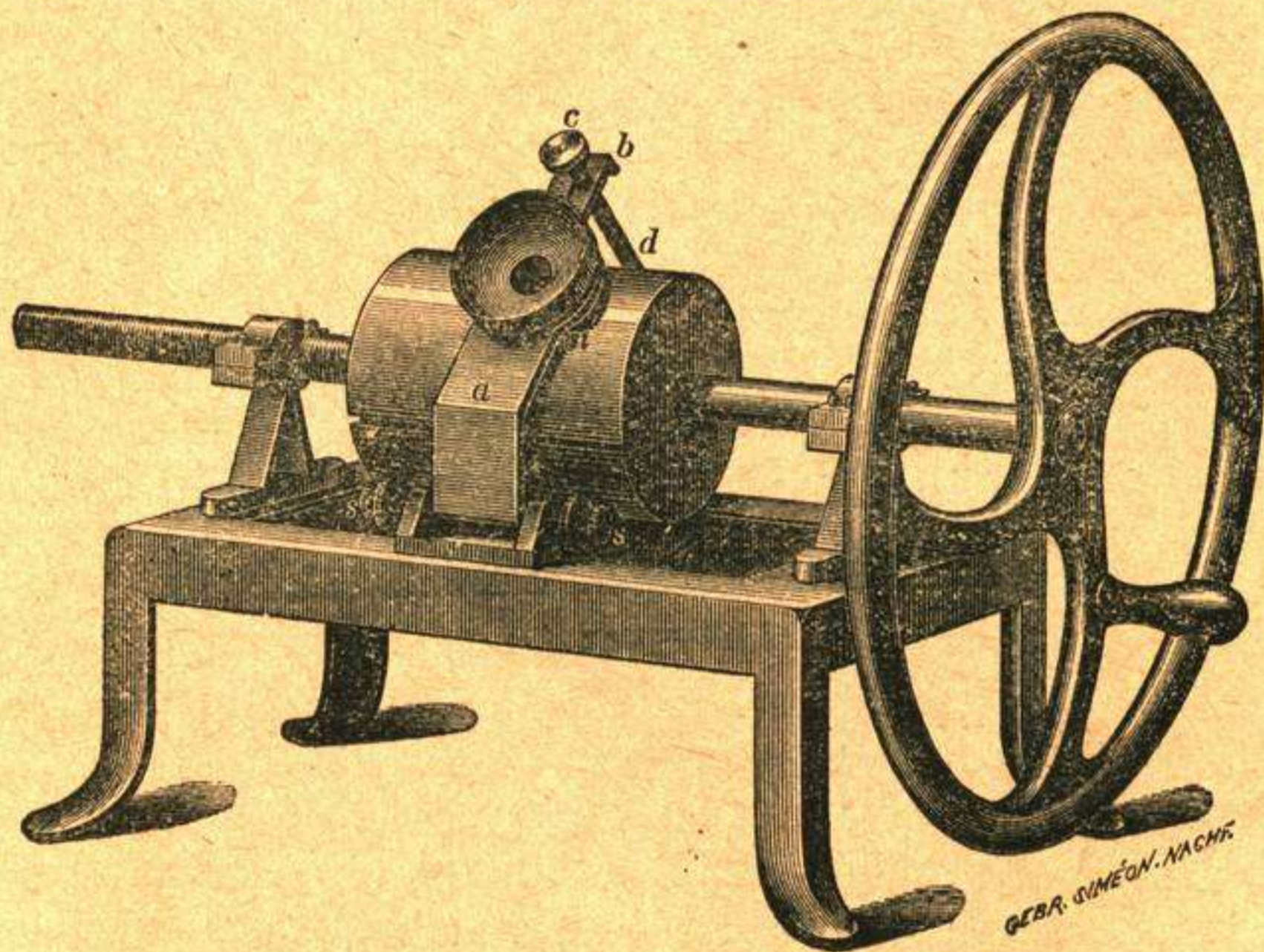


Fig. 82.

miento del mismo punzón ó estilete sobre la curva que se ha fijado. Consiste el aparato para conseguir todo esto (fig 82) en un eje ho-



rizontal que en uno de sus extremos lleva un volante y en el tercio intermedio un cilindro de latón de 10 centímetros de diámetro y 12,5 de longitud. El cilindro y el tercio de la izquierda del eje tienen una rosca de un milímetro de paso, que pasa por la tuerca que está en el cojinete de la izquierda. El cilindro lleva á lo largo una canal ó mortaja, en el cual puede encajarse una barra ó regla de acero revestida de caoutchouc. Para usar el aparato se cubre el cilindro de una hoja de estaño batido de  $\frac{1}{24}$  á  $\frac{1}{32}$  milímetros de grueso, la cual se sujeta con la barra que se introduce en la muesca, cuidando de que esté bien apoyada toda la superficie.

Sobre este cilindro hay una embocadura (fig. 83) *m*, que es una caja plana de latón, que puede ponerse más ó menos cerca del cilindro y en posición fija, cuyo fondo lo forma una lámina de mica que lleva en su cara inferior fuertemente masticado, (con gluten) un cono de madera *k*. Esta lámina puede acercarse ó alejarse del fondo del pabellón, además, un resorte *f* con un punzón de acero en su extremo libre, el cual cae

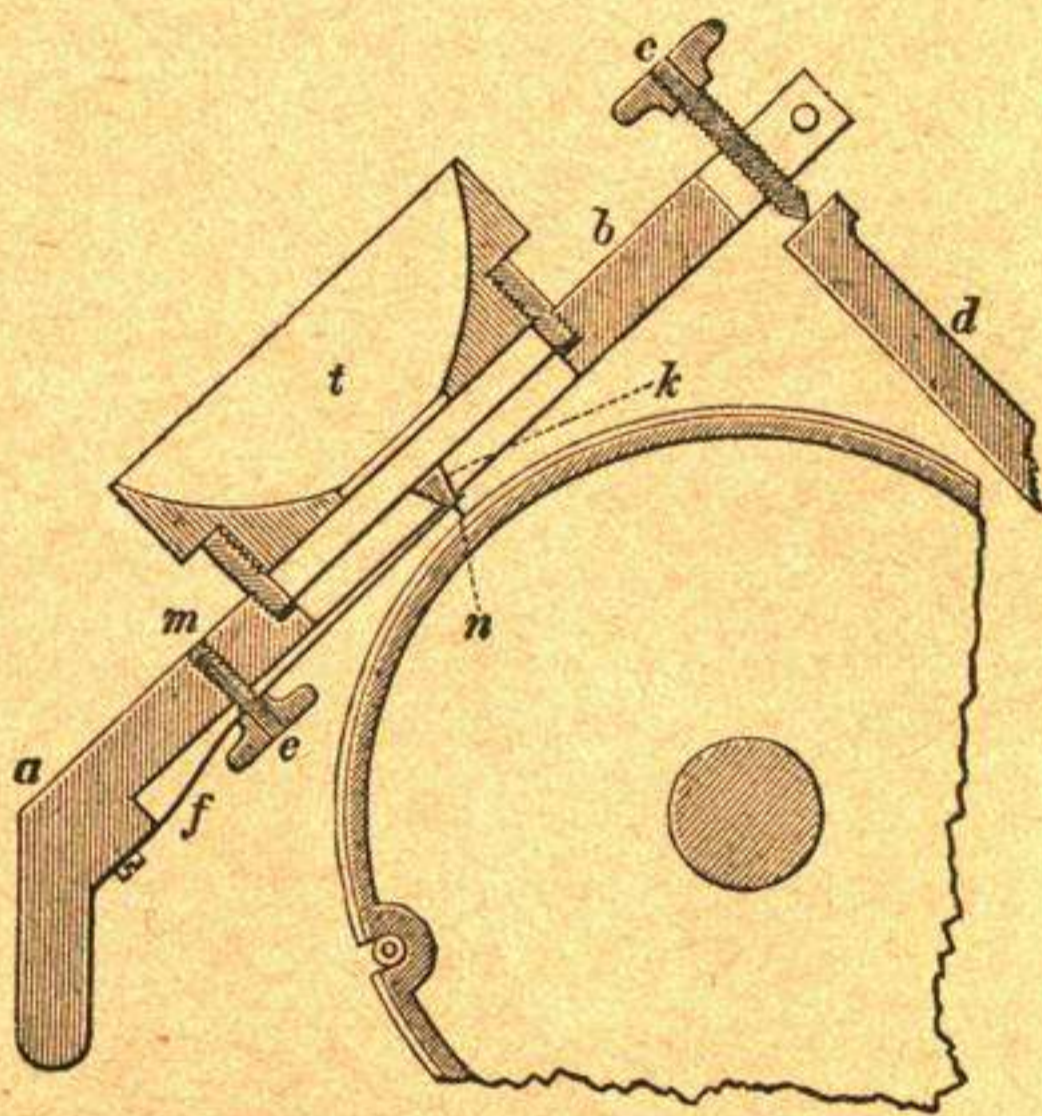


Fig. 83.

debajo del vértice del cono *h*, se puede poner tan cerca de la lámina de estaño como sea necesario para que, si gira el cilindro, quede en la plancha la señal que hace el punzón.

Si se hace girar el volante con una velocidad de 1 ó 2 vueltas por segundo, mientras que se habla alto por la embocadura, se obtiene una serie de puntos finos sobre la capa de estaño que es visible á la simple vista, y más fácilmente con una lente de aumento.

Si levantando la embocadura se vuelve el cilindro á su primera posición, y ajustada de nuevo la embocadura se le hace girar con la misma velocidad y sentido que cuando se produjo la impresión, se reproducen los sonidos, los cuales se hacen más distintos por medio de una especie de tubo cónico de papel ú hoja de lata aplicado á la embocadura.

Los sonidos vienen acompañados de algunos ruidos (no evitados hasta ahora), procedentes del rozamiento del estilete sobre el estaño. Estos aparatos reproducen unas vocales mejor que otras.

Hay palabras que se oyen muy claras, como por ejemplo: *Fonógrafo*, *aparato*, *Catapulta*, *Europa*. En particular son notables la reproducción de la risa y la imitación de los ladridos.

Para la reproducción de las melodías se sigue el mismo sistema, sólo aumentando la velocidad del giro cuando el tono aumenta.

**Fonógrafo modificado por Edison.**—El fonógrafo descrito quedó como un aparato más de acústica, pero sin las aplicaciones que se anunciaban en los primeros momentos de su invención; modernamente, el electricista americano Edison ha introducido en su construcción varias mejoras referentes al aparato motor, para que el giro del cilindro Fonógrafo sea uniforme; en el órgano escritor repetidor, y por último, en el ordenamiento de otras partes del aparato que le diferencian casi por entero del primitivo.

El motor está encerrado en la caja que sirve de peana al aparato, su volante es horizontal, parte de su eje sale de la peana y lleva en circunferencia diez trozos de hierro dulce, que sirven de anclas sucesivamente por la rotación, á los polos de 4 electros situados en círculo á su alrededor. Estos electros son los que mantienen regularizado el giro del volante, y el de éste produce el del cilindro Fonógrafo, que en el aparato de Edison no tiene el movimiento de traslación que en el antiguo, porque la parte que aquí se traslada es la que graba sobre el cilindro. Esta parte escritora y también repetidora de lo escrito ó grabado sobre el cilindro, en esencia consiste en dos membranas muy sensibles, una que lleva el estilete para grabar los sonidos y la otra unos alambres que se apoyan sobre el cilindro, para producir las vibraciones de la membrana á que están ligados.

El cilindro, en vez de una cubierta de estaño, lleva una capa de cera endurecida, y de un grosor determinado y regulado por el aparato mismo. Esta capa puede quitarse y sustituirse fácilmente y conserva lo en ella grabado.

Al hablar sobre el aparato hay que hacerlo suave y claramente, y al repetir éste las palabras no se oye el timbre metálico y de arrastre del antiguo Fonógrafo. Según Edison, el aparato es como un copista fiel, que repite á voluntad lo que copia, y que puede utilizarse aun para las melodías más delicadas.

**Telémetro de Boulangé.**—Llámanse telémetros ó distanciómetros en general á aquellos instrumentos destinados á medir la distancia

entre el observador y un punto dado. Entre los aparatos de este género fundados en el conocimiento de la velocidad del sonido, está el inventado por el Oficial de Artillería Belga Mr. Boulangé; su uso es puramente militar (fig. 84).

Consiste el instrumento en un tubo cilíndrico de cristal de 10 á

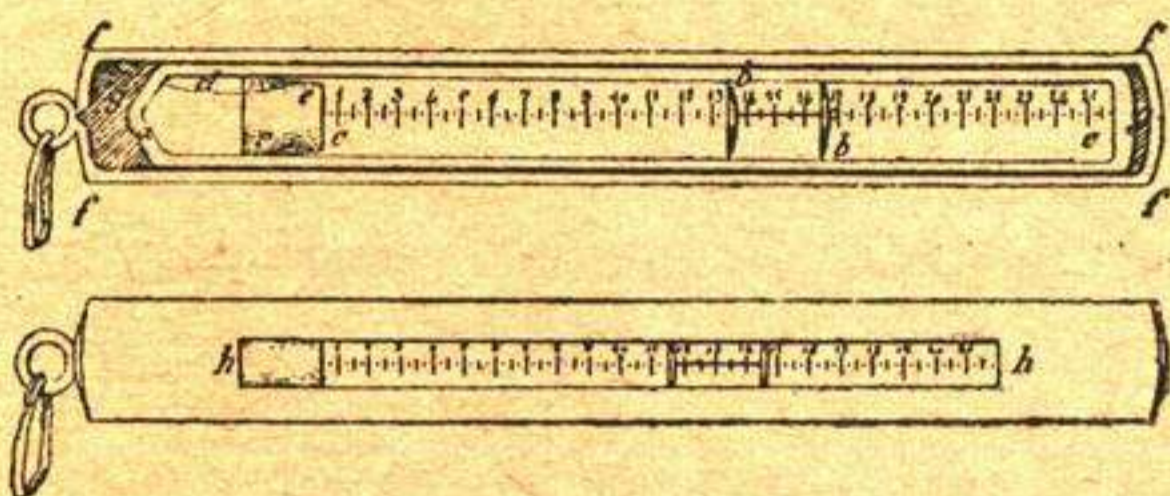


Fig. 84.

12 centímetros de longitud y uno de diámetro interior, herméticamente cerrado, lleno de bencina, y con un índice que consiste en dos láminas delgadas de plata circulares algo encorvadas y uni-

das rígidamente por sus centros por una barrita del mismo metal de un centímetro de largo: estas tres piezas forman un cuerpo que puede correr á lo largo y por el interior del tubo: la resistencia de la bencina hace que si el tubo se pone vertical y el índice descrito ocupa su extremo superior, caiga por la acción de la gravedad y su movimiento, durante el corto tiempo que tarda en recorrer la longitud del tubo, se puede considerar casi como uniforme.

Como la bencina llena todo el tubo, para que su dilatación por el aumento de temperatura, por más que sea muy corta dentro de los límites en que se ha de emplear el aparato (hasta  $50^{\circ}$  ó  $60^{\circ}$ ) no lo haga estallar, tiene el tubo en uno de sus extremos una burbuja de aire confinado por una cápsula de cobre que ajusta á las paredes del tubo por una capa de filamento de algodón.

Dentro del tubo y á todo lo largo de la carrera del índice, hay una escala trazada sobre una tira de papel y en divisiones arbitrarias.

El uso de tal instrumento es como sigue: colocado el índice sobre la cápsula, y puesto horizontalmente el tubo en la mano del observador, éste le invierte y pone bien vertical (hacia abajo al extremo opuesto al en que está la cápsula) en el instante mismo en que ve el fogonazo ó el humo del disparo hecho á la distancia que se ha de apreciar: así le mantiene los instantes que tarda en percibir el ruido de la detonación, en cuyo momento vuelve á poner horizontal el tubo, con lo cual cesa el índice en su movimiento descendente, y deja marcado en la escala que va dentro del tubo un cierto número de divisiones, las cuales corresponden á una distancia determinada.

Todo el instrumento está fundado en la diferencia con que llegan

á nuestros sentidos, la luz y el sonido. La primera se considera en tan corto trayecto como instantánea. Respecto del segundo, se acepta que corre 333 metros por segundo.

En el manejo de este instrumento hay la causa de error personal de retardo en las percepciones fisiológicas de los observadores, pues entre el instante en que un observador preparado y atento percibe la luz del fogonazo, y el en que hace que funcione el aparato, siempre hay un retraso que llega cuando menos á 0,1 de segundo: en cambio, entre el instante en que oye un ruido, y el en que hace que cese de funcionar el aparato, puede mediar sólo 0,03 de segundo.

Esta diferencia, si no pasa de 0,03 de segundo, el error en el aprecio de las distancias, no pasa de 10 metros: si la diferencia fuese de 0,1 de segundo el error llegaría á 30 metros. La segunda causa de error consiste en los aparatos mismos, por la irregularidad de su función.

Hay también el error de la hipótesis fundamental, cual es que la velocidad del sonido es siempre la misma y de un número dado de metros por segundo. En el telémetro de Boulengé, este error se estima en 50 metros, y por esta distancia empieza la escala. Los límites de aprecio del telémetro de Boulengé, varían entre 1200 y 6000 metros. Su mayor inconveniente es lo difícil de apreciar cuando se hacen muchos disparos, cuál es la detonación que corresponde á un fogonazo observado: las ventajas de estos instrumentos son su fácil manejo y transporte, su poco coste, el buen aprecio que ofrecen de distancias relativamente grandes y el poderse usar de noche.

Conviene conocer también las últimas observaciones hechas por Journé y Labouret SOBRE LA ESTIMACIÓN DE LAS DISTANCIAS POR EL RUIDO DE LAS DETONACIONES. El primero observó estando cerca de los discos que servían de blancos, en las escuelas de tiro, que percibía simultáneamente, la detonación y la llegada del proyectil, cuando la velocidad de éste era mayor que la de propagación del sonido en el aire ( $330^m$ ); por el contrario, si era menor, se oía primero la detonación que el choque del proyectil. La explicación dada por Journé es que en los casos de gran velocidad del proyectil, éste es un centro de producción de ondas sonoras, porque delante de la bala se condensa una capa de aire que se pone en movimiento vibratorio. Por consiguiente, el primer ruido que percibe un observador á gran distancia y en la dirección de la trayectoria de la bala, no es el de la detonación, sino el originado, del modo que se ha supuesto, en un punto determinado de la trayectoria.

Labouret estudió la hipótesis, aplicando el cálculo geométrico, y dedujo que la primera onda sonora que llega al observador es aquella para la cual la suma de los tiempos de recorrido de la trayectoria por el proyectil, y por el sonido, es un *mínimum*. En virtud de esta condición se determina el lugar en que estaba el proyectil en el instante en que origina la primera onda que se percibe; también se puede calcular el tiempo que transcurre, para un observador situado en un lugar determinado, entre el disparo del proyectil y la percepción de la primera onda sonora. Las experiencias confirman esta teoría.

Por tanto, un proyectil, en cuanto toma una velocidad uniforme en su trayectoria, origina un sonido análogo al de la detonación, y que según Journeé es producido por su repetido choque contra el aire, que se comporta como un sólido, en cuanto sus partículas son empujadas con más velocidad que la de propagación de las ondas sonoras.

Dos consecuencias prácticas y no desprovistas de interés, se deducen de estas investigaciones y son: 1.<sup>a</sup>, que no se puede deducir simplemente la distancia á que se ha hecho un disparo, por el tiempo que media entre el fogonazo y el momento de percibirse la detonación, y 2.<sup>a</sup>, que no podrá evitarse el ruido de los disparos al dar á los proyectiles las grandes velocidades que hoy se les comunica.

**Propagación de las perturbaciones en el aire, causada por las explosiones.**—Según Tait, en muchos casos, las perturbaciones de la atmósfera, en vez de la forma de ondas, es á manera de proyectil, siendo arrastrado el aire por los gases y trasladado de un lugar á otro. En realidad así debe de ocurrir, siempre que la velocidad de arrastre á impulsos de la explosión, es superior á la de propagación de las ondas sonoras. Esto explica el hecho de que muchas de las víctimas de las explosiones de dinamita, sólo hayan perdido el tímpano de aquel oído que estaba vuelto al lugar de la explosión.

Un fenómeno, que parece dependiente de estos hechos, es el diámetro final del relámpago que acompaña á la explosión, cuyas anomalías se explican, admitiendo que en las explosiones de pólvora, el relámpago es originado por el incendio de las partículas del aire que circunda al lugar donde se verifica, y en las de dinamita, depende de la incandescencia á que llegan por la fuerte compresión las partículas del aire, á que alcanza esta acción mecánica, que se traslada con más velocidad que la de propagación del sonido.

*La velocidad de propagación del sonido de las explosiones en el agua del mar*, han sido estudiadas minuciosamente en Inglaterra, y de las

experiencias se ha deducido que las ondas originadas en el agua por el algodón pólvora y la dinamita son de 1700 á 2000 metros por segundo; velocidad que es muy superior á la de la normal propagación de las ondas sonoras regulares en el mar.

## LECCION 18

### **Representación gráfica de los sonidos y de sus caracteres.—**

Los sonidos y sus caracteres distintivos pueden representarse gráficamente, haciendo de modo que la vibración del cuerpo sonoro, ó del medio que propaga el sonido, se marque sobre un plano por una curva correspondiente al modo particular de vibración en cada caso

Para que un diapasón deje marcado en un papel la curva que corresponde á la vibración de sus ramas, se asegura al extremo de una de ellas (fig. 85) un índice metálico ligero (lastrando la otra rama con-

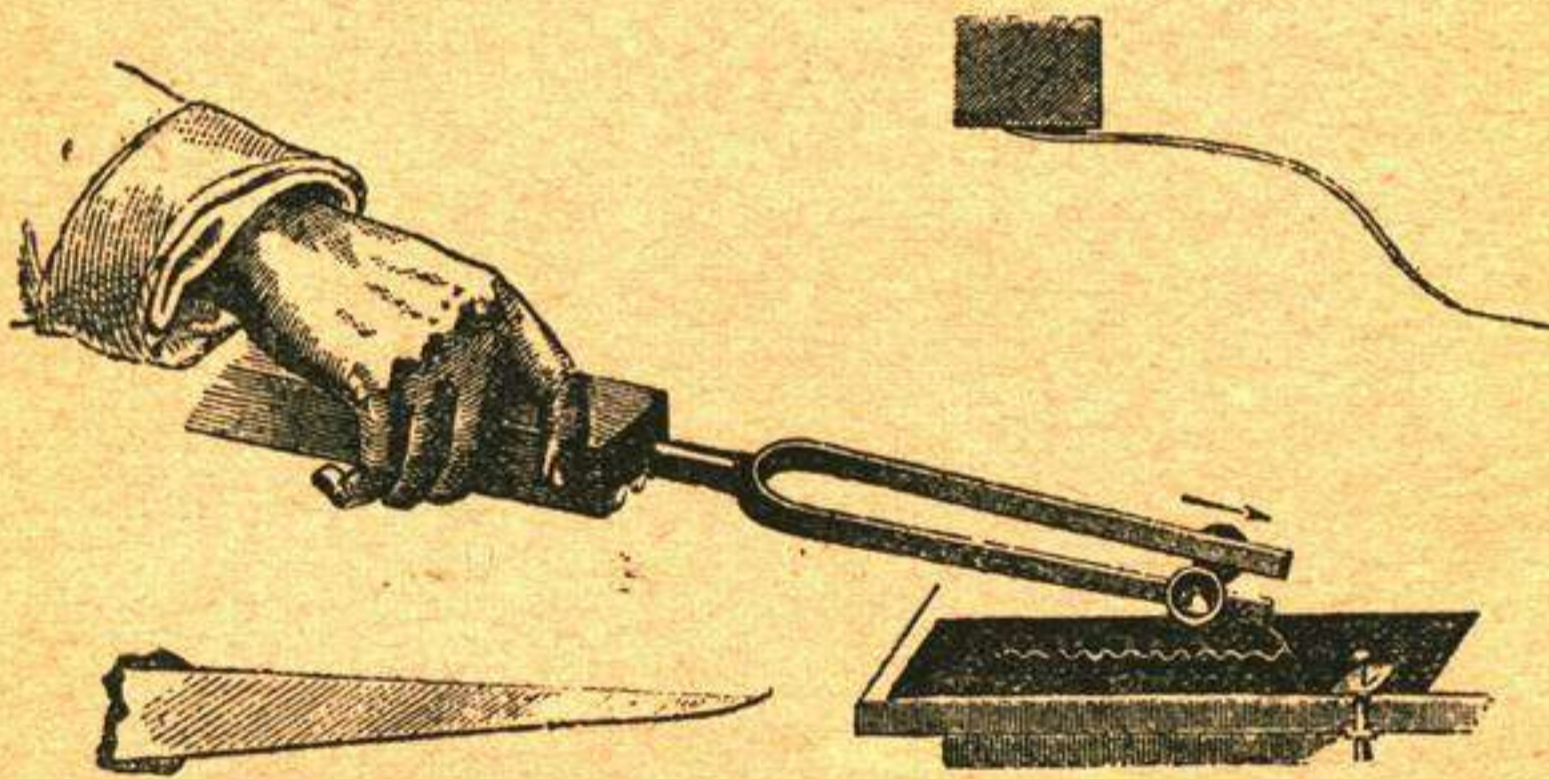


Fig. 85.

un peso igual para no alterar la identidad de sus masas) se pone el diapasón en un cabo que se tiene en la mano, y una vez puesto á vibrar se apoya suavemente el índice sobre un papel ennegrecido por el humo de una lámpara, y extendido sobre una superficie plana; si mientras vibra la rama del índice ó estilete, se adelanta la mano (como marca la flechita en la figura) se obtiene sobre el papel una curva sinuosa que representa con sus ondas las vibraciones verificadas por el diapasón: claro es que hecha la experiencia con la mano sólo sirve para dar idea de cómo se obtienen las curvas gráficas repre-

sentantes de las vibraciones del diapasón; y con ello se comprende cómo pueden obtenerse estas curvas, en instrumentos más perfectos, llamados Fonautógrafos, de cuya descripción prescindimos. El hecho es que la curva correspondiente á un sonido elemental ó á uno compuesto se concibe ya cómo puede obtenerse.

Esto supuesto, si por medio de un diapasón se ha obtenido la curva, (fig. 86) en la que para su tono fundamental se cuentan un cierto nú-

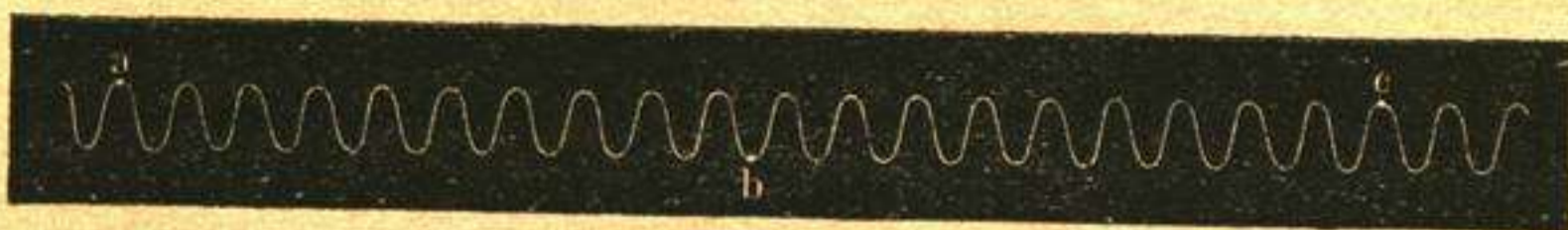


Fig. 86.

mero de vibraciones entre *a* y *b* que suponemos son las trazadas en un segundo, si se marcara ahora otra curva con un diapasón á octava más alta habría entre *a* y *b* *doble* número de ondulaciones que las que antes se obtuvieron; de manera que en la representación gráfica, la altura de los tonos está expresada por mayor número de ondulaciones, en un mismo tiempo.

En cambio, la intensidad vendría expresada en la curva gráfica (tratándose de idénticos tonos dados por un mismo diapasón), por igual número de ondas, en un tiempo dado, pero de mayor amplitud, las de los tonos más fuertes.

Por último, el timbre, que es el resultado de la complejidad de los sonidos, tiene su representación gráfica en la distinta forma de la onda resultante. Los aparatos, para conseguir que queden impresos sobre un papel ahumado, la onda resultante, de dos sonidos, tienen alguna complicación. El más sencillo es el representado (fig. 87) para

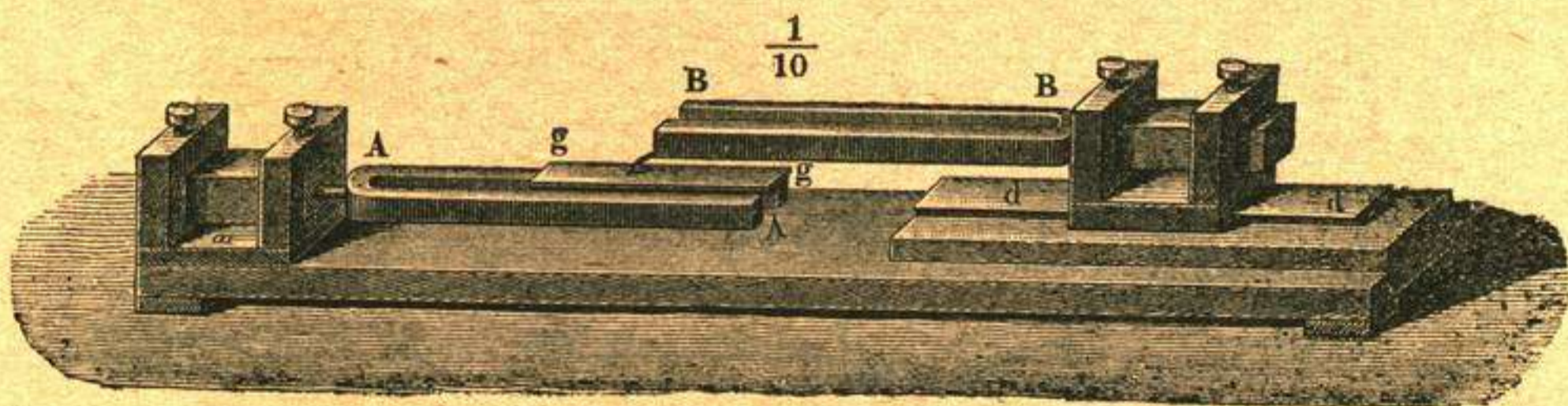


Fig. 87.

la de dos diapasones. Consiste en dos diapasones, AA y BB; puestas horizontales sus ramas, uno fijo y otro móvil de delante atrás y guiado en su movimiento por una regla *d d*, en la cual encaja una muesca de la pieza de madera en que va sujeto el diapasón; por esta dis-

posición, al moverse una de sus ramas, adelanta paralelamente sobre una del otro; en ella lleva un estilete que es el que deja marcadas las ondas sobre el papel. La fig. 88 representa la curva resultante de

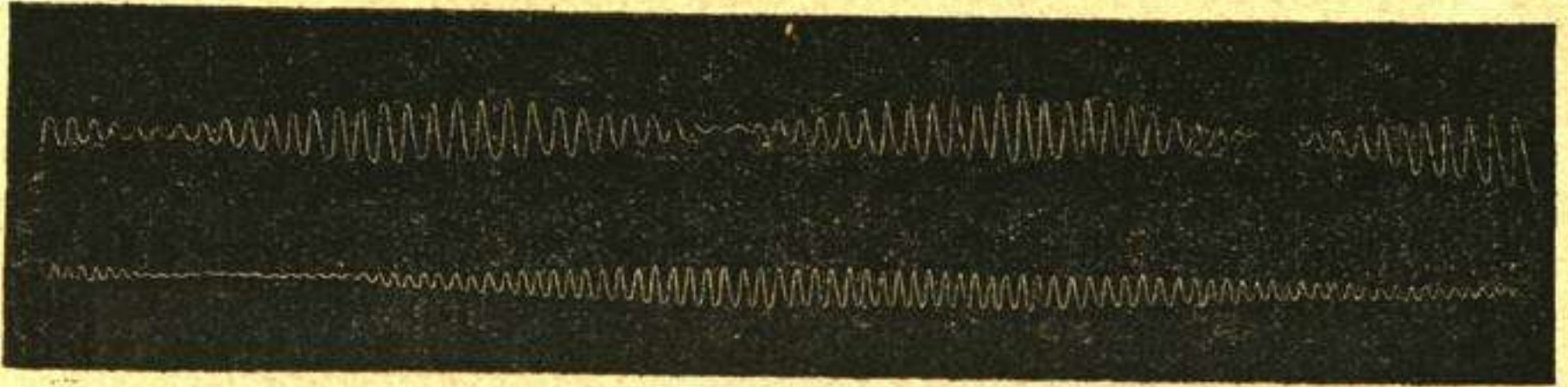


Fig. 88.

la combinación de movimientos de dos sistemas de diapasones, cuya relación de vibraciones es de 24:25 y de 80:83. Visto ya por este ejemplo, cómo se pueden obtener las curvas gráficas resultantes de una combinación de sonidos, el Timbre, que es la sensación fisiológica de esta reunión, puede representarse gráficamente por la forma de las curvas; así en la fig. 89 se representan tres curvas, que la

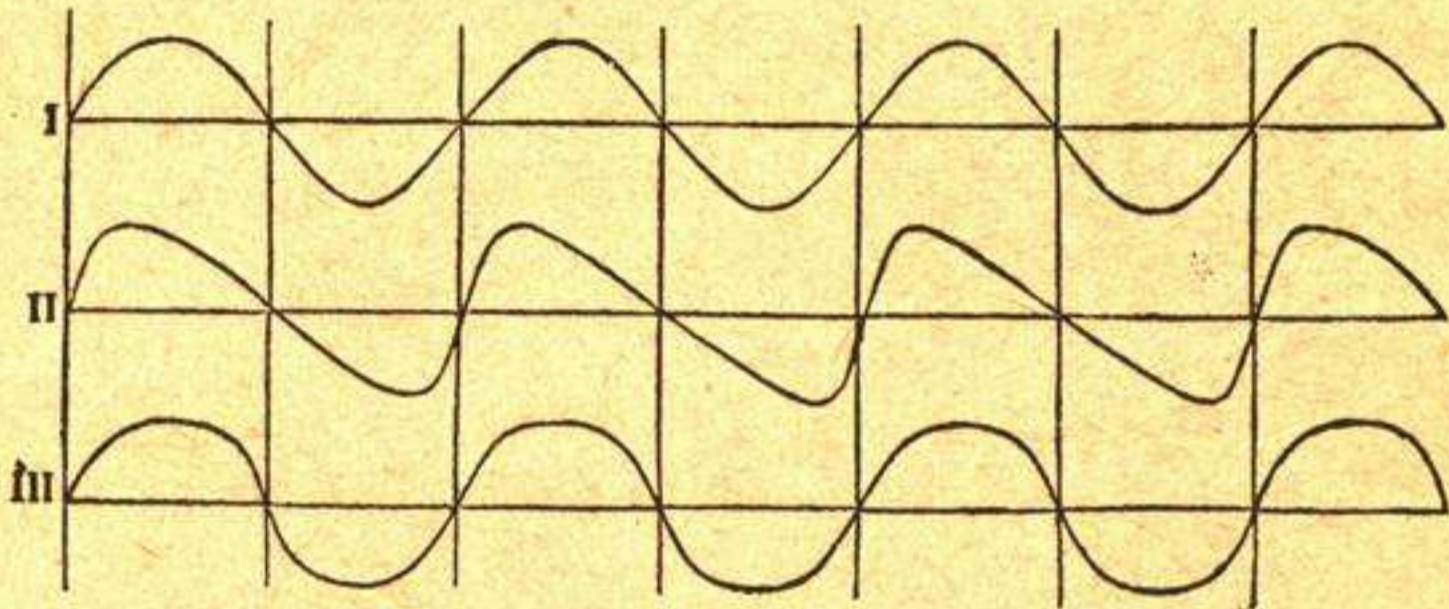


Fig. 89.

primera corresponde al sonido de un cuerpo que vibra *todo él* como un péndulo, y las otras dos, al de uno que se desvía en su modo de vibración de esa regularidad, por dividirse en partes vibrantes: la altura é intensidad son las mismas en los tres sonidos, la forma es distinta, representando con ello la diversidad de timbre en los tres tonos representados.

**Resonadores.**—Fundado Helmholtz en el hecho de la comunicación de las vibraciones sonoras (resonancia) de unos cuerpos á otros, cuando son apropiados para vibrar al unísono con el primitivo tono producido, ó su primer harmónico, construyó los aparatos conocidos en Acústica con el nombre de *Resonadores*.

Para ellos aprovechó las leyes de la resonancia, de que la comunicación es la más enérgica cuando es á una masa de aire limitada y



propia para vibrar al unísono con el primer tono ó fundamental del primitivo cuerpo sonoro.

Consisten, pues, los resonadores en unas especies de esferas ó tubos de cristal ó latón (principalmente esferas de latón) con dos aberturas, una pequeña y otra grande, colocadas á los extremos del eje mayor del cuerpo del resonador. Para usar estos aparatos se introduce la parte prolongada más aguda de él, en el oído, acomodándola bien al conducto externo, se tapa el otro oído, y como la masa de aire del resonador y la que llena el oído, se ha procurado, por tanteo, en las experiencias, que sea la adecuada para vibrar con un tono determinado, ocurrirá que cuando éste se produzca, esa masa entrará también en vibración de igual período. Se tiene, pues, que cada resonador tiene su *tono propio*; así, que colocado uno cualquiera en un oído, como se deja dicho, y escuchando una conversación ó pieza de música, se oye más débilmente que sin el aparato, excepto en los momentos en que la voz humana, ó entre la de los instrumentos que intervienen en la pieza musical, se produce el tono propio del resonador, que entonces el oído los percibe reforzados, esto es, más intensos, que los habría percibido sin el aparato.

Los resonadores, como cuerpos sonoros, tienen á su vez harmónicos de su tono propio, pero son muy débiles y difíciles de producir, por lo que no se tienen en cuenta, como causa de error respecto de su tono propio.

El uso de los resonadores en Acústica, es para el análisis de los sonidos. Para ello se emplean las llamadas *Cápsulas manométricas*, cuya invención se debe al ilustre físico y constructor König, y consisten en una caja de madera de figura de una lenteja de unos tres centímetros de diámetro por su sección, dividida su cavidad en dos partes iguales por medio de un diafragma que es una membrana: en una de las cavidades desemboca un tubo que viene de un resonador, y en la otra cavidad entra gas del alumbrado, y hay una salida á una boquilla donde puede encenderse. La función de estas cápsulas estriba en que si el resonador entra en movimiento por su tono propio, la onda entra por el tubo en la media cápsula, con la cual comunica y hace oscilar la membrana al unísono; los movimientos de ésta se comunican al gas del alumbrado, y se hacen *visibles*, mirando la imagen de las llamas, reflejadas en un espejo giratorio.

El aparato que sirve para estas investigaciones consiste en una serie de tubos de órgano, provistos en el lugar del nudo de su tono fundamental, de una cápsula manométrica que se pone por medio de

tubos de goma, en comunicación con unas boquillas donde se enciende el gas; estas llamas se reflejan en las caras de un prisma cuadrangular giratorio sobre un eje compuesto de cuatro espejos plateados. Cuando una llama está tranquila, su imagen aparece en el espejo giratorio bajo la forma de una banda luminosa del mismo ancho que la altura de la llama; pero si la llama se agita, lo que ocurre cuando el tubo produce un sonido, en vez de la banda, aparece una serie de imágenes que se suceden en orden regular y cuyos vértices ó puntas se inclinan en sentido opuesto al de la rotación del espejo. En realidad, la imagen que aparece asemeja á la hoja de una sierra.

Por la observación de éstas, se nota que las sierras correspondientes á dos sonidos que están á octava, presente la del tono más alto *doble número de dientes* que el de su octava baja, lo que demuestra que el número de las vibraciones está en la relación de 2 : 1, toda vez que cada diente corresponde á una vibración.

La precisión con que las llamas acusan á la vista el menor desacuerdo entre los sonidos, se aprovecha para acordar los de dos tubos ó instrumentos que hayan de estar perfectamente al unísono. También se emplean para el estudio de los fenómenos de influencia mutua de dos sonidos, haciendo que influyan sobre una misma cápsula.

*Representación de los Timbres.* — Las imágenes del timbre de todos los sonidos de un mismo instrumento, no son nunca idénticas: cada vibración de los sonidos graves da lugar á grupos de llamas más considerables y más complicadas que la de los sonidos agudos, porque cuanto más elevada es una nota, más pequeñas son las dimensiones del cuerpo; si estas dimensiones son muy pequeñas, las vibraciones se simplifican, porque los cuerpos pequeños pierden la propiedad de subdividirse en partes alícuotas cuando vibran, cuya propiedad es la principal si no la causante única de la resonancia múltiple: otra razón es que los harmónicos superiores de un sonido muy agudo son tan elevados en la escala musical, que caen fuera de la sensibilidad de las membranas, de las cápsulas y del oído humano.

*Descomposición de un timbre en sonidos elementales.* — Los resonadores de Helmholtz que se emplean para analizar los timbres por medio del oído pueden también utilizarse para percibir este análisis por la vista, pues para ello se disponen ocho resonadores (en los aparatos sencillos), menos para los harmónicos de un tono dado (*ut*, por ejemplo); estos resonadores comunican por medio de tubos de goma en otras tantas cápsulas manométricas: las ocho llamas colocadas oblicuamente unas debajo de otras producen en un espejo gira-

torio paralelamente situado, ocho bandas cuando las llamas están inmóviles y las sierras correspondientes cuando se agitan. Cada llama es independiente de las demás y sólo vibra cuando su resonador correspondiente se pone á vibrar, es claro que la presentación de la imagen de la sierra indica que se ha producido en el sonido cuyo timbre se analiza el tono propio del resonador.

Un aparato de análisis para un timbre cualquiera, aunque basado en los mismos principios que el anterior, consta de mayor número de resonadores (unos 15) y estos son de los llamados universales, de König que consiste en dos tubos enchufados que se pueden enchufar más ó menos el uno en el otro, con lo cual la capacidad de aire que contiene es variable y se pueden acordar en un tono dado.

Para mayor comodidad en la parte del tubo que se va sacando lleva unas rayas marcadas con una nota y que indica que sacado hasta la raya el tubo, el sonido propio de la capacidad de aire que encierra es el de la nota marcada.

*Fenómenos de interferencia.*—Cuando se combinan los tonos de dos tubos se estudian hechos de interferencia; pero éstos tienen un interés particular cuando los sonidos que interfieren están al unísono. Si dos tubos de órgano al unísono se comunican con dos llamas de cápsulas manométricas, y se hace sonar á uno solo, la columna de aire del otro entra en vibración por influencia; así lo muestra su llama correspondiente.

Si los dos sonidos actúan sobre una misma cápsula manométrica, y difieren en el trayecto que recorren antes de encontrarse en una cierta parte alícuota del período de vibración, se presentan los fenómenos de interferencia siguientes.

Ante todo, el aparato en que se estudian estriba en el principio de Herschell, ó sea de que la onda sonora proveniente de un mismo origen, recorra trayectos distintos; tiene, pues, el aparato un tubo, que entre sus extremidades se divide en dos ramas, una de las cuales puede alargarse, mediante á que tiene tubos enchufados que pueden sacarse unos de otros; si se quiere producir una interferencia muy perfecta, se hace penetrar por una de las bocas del tubo un sonido lo más simple posible, lo cual se obtiene poniendo á la boca de él un resonador, delante del cual el diapasón correspondiente se hace vibrar; si ahora se alarga una de las ramas en que se bifurca, de modo que exceda á la otra en una media longitud de onda del tono que se ensaya, las ondas que llegan al extremo opuesto del tubo, se anulan. Esto se nota porque la llama manométrica, en vez de presentar en el

espejo giratorio una sierra, presenta una banda indicando la inmovilidad de la luz, y con esto la anulación del movimiento vibratorio en la cápsula.

La experiencia se hace de un modo más concluyente, conduciendo los extremos de las ramas cada uno á una cápsula, y á la vez los dos juntos á una misma cápsula; con esto se ofrecen en el espejo tres imágenes, las sierras propias de cada tono dado por las cápsulas influenciadas por cada rama, y la de la interferencia en medio, proveniente de la cápsula en la cual concurren, cuya imagen va presentando todas las variaciones de dientes que se degradan según que el período de vibración en que se alcanzan van acercándose á la diferencia de media onda, hasta que desaparecen los dientes y se llega á la banda paralela cuando el período alcanza la media onda.

**Escala diatónica ó musical.**—Llámase así á un conjunto de tonos agradables al oído, y cuyo número de vibraciones están entre sí en una relación sencilla: Los nombres de estos sonidos, llamados también *notas musicales*, son *ut, re, mi, fa, sol, la, si*. La relación constante entre el número de sus vibraciones es, si las de *ut* se toman por unidad, las de *re* son los  $\frac{9}{8}$ , las de *mi* los  $\frac{5}{4}$ , *fa* los  $\frac{4}{3}$ , *sol* los  $\frac{3}{2}$ , *la*  $\frac{5}{3}$ , *si*  $\frac{15}{8}$  y *ut*<sup>1</sup> 2.

Las notas en octava se indican por exponentes positivos las más altas y negativo las más bajas; así la nota á octava más alta que *ut*<sub>0</sub> se indica *ut*<sup>1</sup> y la más baja *ut*<sup>-1</sup>; las notas á octava tienen un número de vibraciones respecto de la que se toma como fundamental, que es el de ésta multiplicada por una potencia de 2 (positiva ó negativa según sea más alta ó más baja) indicada por el número de octavas que se considera; así la tercera octava más alta que *ut*<sub>0</sub> tiene las vibraciones de *ut*<sub>0</sub>  $\times 2^3$ ; si fuera la más baja tendría *ut*<sub>0</sub>  $\frac{1}{2^3}$ .

# LECCIÓN 19

Cuerpos calentados

L. 40.

**Calor.**—Ciertos estados de los cuerpos nos producen sensaciones que nombramos de *calor*, designando así con el mismo nombre la causa que origina tal estado de los cuerpos y la acción que ejerce en nuestros sentidos.

Dos han sido las hipótesis de los físicos sobre este agente, á saber: la llamada de la *materia calorífica* y la *Teoría mecánica del calor*.

Según la primera, los fenómenos del calor consisten en la existencia de una materia particular, de extrema tenuidad, incoercible é imponderable (es decir, con los caracteres generales de los llamados fluidos imponderables), que tenía además la propiedad de ser atraída por los átomos ponderables de toda materia, pero que sus propias partículas estaban entre sí en constante repulsión.

Esta hipótesis, que prevaleció por mucho tiempo y con la cual se explicaron la mayor parte de los fenómenos debidos al calor, ha sido abandonada desde luego que se han estudiado hechos que no explica, y otros con los cuales está en contradicción la existencia de tal materia calorífica.

Desde luego con esta hipótesis no puede explicarse el aumento sucesivo de calor en los cuerpos por el rozamiento, pues si cada porción de materia ponderable tuviese una cantidad dada de fluido calorífico, no se comprende que sin una fuente de calor que haga pasar alguno del suyo á los cuerpos que rozan, aumente tan extraordinariamente el calor de éstos. Para poner aún más de relieve esta contradicción, hizo Davy la experiencia siguiente: Debajo de la campana de la máquina Pneumática, y enrarecido el aire todo lo posible, hizo que frotasen entre sí dos trozos de hielo, y sin más calor de fuera que el producido por su frotamiento, se fundieron. Ahora bien; siendo en el agua líquida la capacidad para el calor mayor que la del hielo, es claro que no pudo tomarse el calor necesario para la fusión de tal fluido calorífico que en los trozos de hielo existiese. Y como los trozos se fundieron, precisamente el calor necesario para tal mutación de estado, hubo de provenir del cambio en calor, del trabajo empleado para el frotamiento.

Por otra parte, tal cambio es uno de los hechos más comunes en la Naturaleza. La herramienta que se mueve por las manos de un obrero ó por el esfuerzo de una máquina para ejecutar un trabajo, se calienta; los ejes y cojinetes sobre los cuales se apoyan para su giro, las piezas rotatorias ó las ruedas, también se calientan; un gas cualquiera, el aire por ejemplo, encerrado en un tubo y comprimido rápidamente por un pistón, puede incendiar una yesca; un líquido que se revuelva con unas paletas, una reacción química, en general, todo trabajo realizado, y por tanto, todo movimiento, produce una cantidad de calor: la recíproca también se verifica constantemente, á saber, el cambio de calor en movimiento; no otra cosa son todas nuestras máquinas térmicas (ó sean las de vapor, gas, etc.), en las que el calor desarrollado por la combustión de un cuerpo se transforma en gran parte en movimiento de la máquina ó vencimiento de resistencias.

Estos hechos innegables hicieron suponer desde los físicos griegos, que el calor es un movimiento particular de las partículas más pequeñas de los cuerpos, cuya hipótesis abandonada en un principio y vuelta á sostener modernamente por Joule, König, Clausius y otros, tiene un punto de apoyo en lo que se llama el equivalente mecánico del calor, descubierto por Mayer, quien se propuso investigar *la relación de magnitud entre el calor producido por los medios mecánicos y el trabajo en ello consumido*.

Entre los muchos medios empleados después del que usó Mayer para esta investigación, y que han corroborado los resultados que obtuvo este físico, referiremos el siguiente, debido á Joule que se

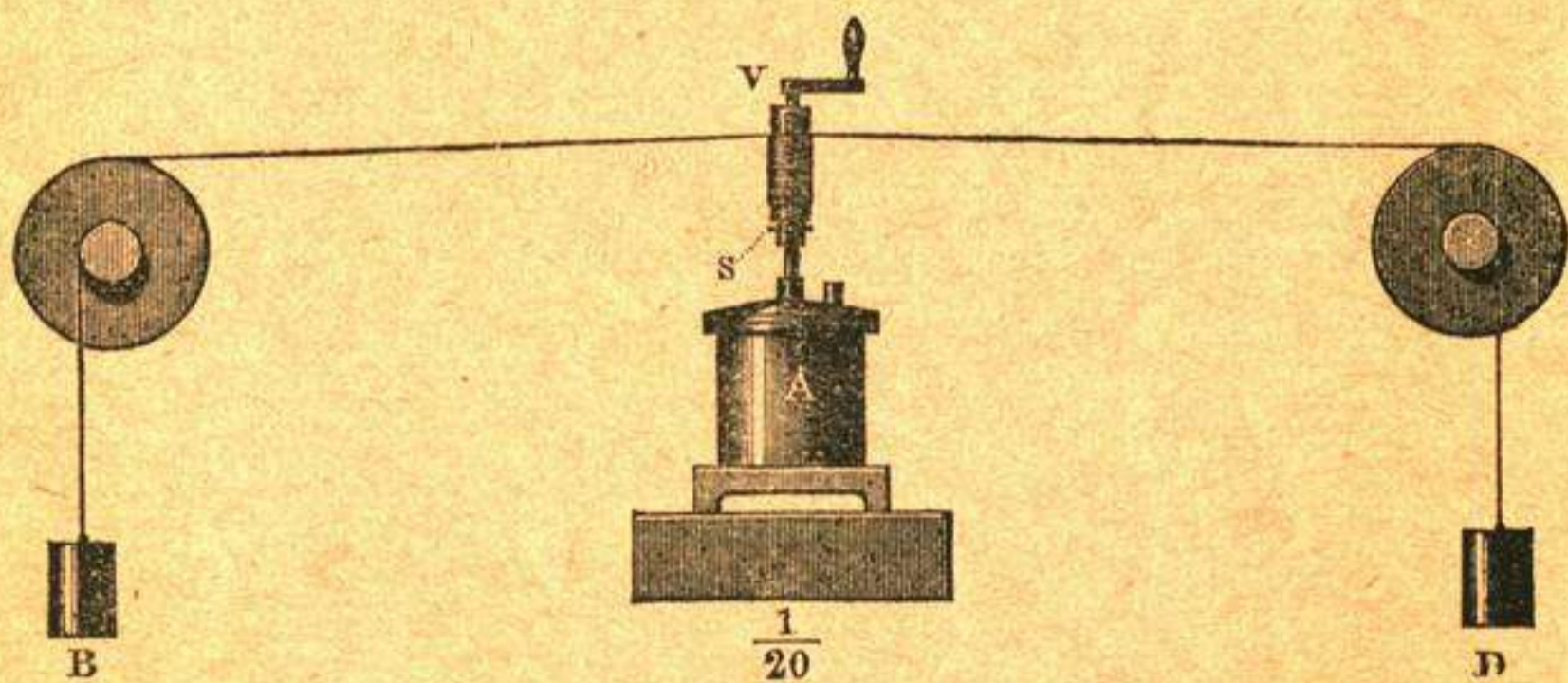


Fig. 90.

funda en el rozamiento de agua, mercurio y hierro colado. La experiencia de Joule es la siguiente:

Supongamos que dentro de una caja A (fig. 90), cuya sección se

representa en la figura 91, se ha puesto un líquido, por ejemplo, 2 kilogramos de agua; dentro de la caja entra un eje vertical provisto

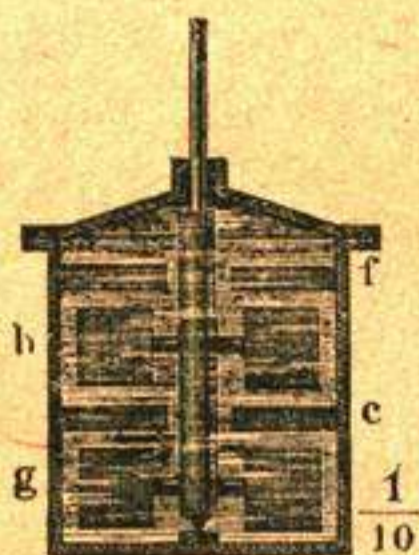


Fig. 91.

de ocho paletas de latón, distantes  $45^\circ$  unas de otras en la media parte alta  $h$  del eje, y de otras ocho análogamente dispuestas en la media parte baja  $g$ . Estas paletas giran con el eje por entre unas láminas también de latón fijas en las paredes de la vasija: las cuatro que están en la parte  $f$  distan entre sí un cuadrante, y lo mismo las cuatro que están en  $c$ . El eje tiene por fuera una parte  $s$ , en la cual se arrojan dos cuerdas distintas que pasan por unas poleas y sostienen dos pesos iguales B y D: el eje lleva además un manubrio. Si arrolladas las cuerdas todo lo posible se suelta el manubrio, caen los pesos, porque las vueltas de sus cuerdas están dadas de manera que ambos coadyuven á hacer girar el eje V. Con esto las paletas agitan el agua; por tanto, el trabajo mecánico de los pesos B y D se emplea aquí en calentar el agua por el frotamiento con las paletas.

Supongamos que el peso útil de los dos pesos D y B es de 85 kilogramos, (útil quiere decir, el que realmente se emplea en agitar el agua, esto es, que no tomamos en cuenta aquella parte de peso de los dos D y B, que se emplea en vencer las pequeñas resistencias de rozamiento del eje en su tejuelo y enchufe, ni de la rigidez de las cuerdas, lo cual se determina por experiencias previas y sin líquido en A), y que sea preciso que desciendan 10 metros para que se eleve en  $1^\circ$  (ya diremos cómo se mide esta elevación de calor del agua), el líquido de la vasija.

Ya con esto se tienen los datos suficientes para el objeto propuesto, porque diremos el trabajo mecánico de 85 kilogramos que caen de la altura de 10 metros, es 850 kilográmetros. Por otra parte, para elevar 2 kilogramos de agua en  $1^\circ$  su temperatura, se necesita emplear dos unidades de calor llamadas *calorías*; luego para elevar en  $1^\circ$  un solo kilogramo de agua, se necesitarán la mitad de kilográmetros; es decir, que 425 kilográmetros producen el mismo calor que una *caloría*; luego el número 425 es el *equivalente mecánico de esa unidad de calor llamada caloría*.

Sobre estos fundamentos han levantado los físicos modernos la segunda hipótesis de la esencia del calor, cuya fórmula, reducida á breves términos, es como sigue: «El calor es un movimiento ó particular vibración de las más pequeñas partículas de la materia

ponderable, y el éter imponderable y elástica materia que las rodea y llena todos los espacios, conduce los efectos de luz y calor que comunmente salen juntos de una misma fuente».

El desarrollo de esta hipótesis exigiría muchas páginas.

También se formuló por Redtenbacher una teoría del calor, llamada *sistema dinámico*, según la cual el calor no consistía en el movimiento de las moléculas mismas, sino de la envoltura etérea que rodeaba á cada una.

La generalmente seguida es la teoría mecánica, y según ella, el estado de calor de un cuerpo, el cual apreciamos por las sensaciones del tacto y aun mejor por medio de ciertos instrumentos, y á cuyo estado llamamos la *temperatura del cuerpo*, es variable y depende de la magnitud de la fuerza viva desarrollada en las moléculas, por su movimiento vibratorio: de ellas se deducen fórmulas para tales movimientos moleculares que se conforman con los hechos observados, y las cuales conducen á admitir un segundo movimiento de los átomos en cada molécula, cuyo movimiento intermolecular ha de ser, parte rotatorio alrededor de su centro común de gravedad, parte oscilatorio de unos entre otros.

Esta teoría general, conforme hasta ahora con los fenómenos observados y cuyas fórmulas teóricas dan lugar á inferir leyes también corroboradas, es la que se llama *teoría mecánica del calor*.

2.41. **Trasmisión del calor.**—La experiencia enseña que se puede conseguir la traslación del calor de un cuerpo á otro, ya por su contacto inmediato, ya á través de un espacio vacío y aun de ciertos cuerpos (como, por ejemplo, el aire), sin calentar éstos.

Hay, pues, una gran diferencia en estos dos modos de pasar el calor de un cuerpo á otro, porque mientras en el primero el calor no ha dejado de ser movimiento molecular, en el segundo, y cuando, por ejemplo, pasa á través de un espacio vacío de materia ponderable, es claro que no podemos considerar que durante ese paso es calor, toda vez que no hay moléculas ponderables que oscilen, y en cuyo movimiento consista el calor; hay, por tanto, que admitir que en tal trasmisión, ó para ir de un cuerpo á otro, el calor se ha convertido en movimiento del éter, y cuando llega al cuerpo, este movimiento del éter se cambia en movimiento molecular.

La primer manera de transmitir el calor de los cuerpos en contacto inmediato, se llama por *conducción*.

La facultad de transmitir de este modo el calor á través de toda su masa que sucesivamente se va calentando es muy distinta, según la



naturaleza del cuerpo de que se trate. Fácilmente se experimenta esto en los sólidos.

Así, por ejemplo, un alambre de cobre y una varilla de cristal que se ponen por uno de sus extremos al calor de la misma llama, manifiestan distinta conductibilidad. El alambre de cobre, al cabo de cierto tiempo y en un trecho considerable, se calienta tanto que no se le puede tocar dentro de ese trecho sin sufrir una quemadura: en cambio, la varilla de cristal se puede tener en la mano, cogiéndola á poca distancia del extremo que está en la llama, sin sentir un calor demasiado fuerte.

Esto muestra que la distancia de los puntos igualmente calentados por conductibilidad en los diversos cuerpos, al punto donde se aplica inmediatamente el foco del calor, es distinta. Según que tal distancia es mayor en uno que en otro cuerpo, así se llama á éstos *malos ó buenos conductores del calor*.

A los últimos pertenecen todos los metales, y á los primeros el cristal, porcelana, rocas térreas, madera, carbón, sustancias orgánicas, en particular, las compuestas de partes muy finas separadas, como lana, cabello, plumas, cenizas; también todos los líquidos (excepto el mercurio), y también los gases y vapores.

El aire y los gases principalmente son muy malos conductores del calor; pero su conductibilidad no puede estimarse por los termómetros puestos entre diversas capas del gas que se examina, á causa del calor que, propagado de otra manera, llega al instrumento. A pesar de esto, la mala conductibilidad de tales fluidos, y en particular la del aire, se demuestra porque los cuerpos que están rodeados por todas partes de la atmósfera, no se calientan ó enfrían sino muy despacio, si se impide el cambio sucesivo de las capas de aire que los envuelve. Esto explica el efecto que producen las vidrieras y puertas dobles, manteniendo calientes las habitaciones.

La mala conductibilidad de los cuerpos esponjizos, como paja, lana, etc., estriba principalmente en los espacios intermedios que tienen llenos de aire. Estos cuerpos, de los cuales decimos que nos calientan, como, por ejemplo, nuestros vestidos, no es que ellos mismos estén calientes, su acción depende de su mala conductibilidad. Un trozo de hielo en un recinto á mayor temperatura que la de solidificación del agua, si está inmediatamente rodeado de malos conductores del calor, retarda ó no verifica su fusión, porque tal envuelta detiene el calor exterior.

Si los líquidos ó los gases se calientan por abajo, las partículas

calientes ascienden, porque por su dilatación se hacen más ligeras,



Fig. 92.

en tanto que las que están encima, quedando más pesadas, se hunden, y por esto se calientan á su vez abajo como las que estuvieron antes. Se establece, por tanto, una corriente ascendente desde el foco del calor y una descendente hacia el mismo. Este modo de calentamiento ó propagación del calor sólo ocurre en los líquidos y gases, y es el que se llama por *corrientes*. Para mostrar estas corrientes se puede emplear una vasija de cristal (fig. 92) llena de agua y en la cual se ha puesto aserrín; si se calienta por debajo, se observa en seguida el movimiento de las partículas de madera, produciéndose la corriente en el centro de la botella ó vasija de abajo arriba, y en las paredes de arriba hacia abajo.

## LECCIÓN 20

**Dilatación.**—La trasmisión ó conducción de calor á un cuerpo, produce la doble acción:

1.º *De elevar su temperatura*, esto es, de aumentar la fuerza viva de sus moléculas.

2.º *Variar el volumen del cuerpo*; es decir, la distancia entre sus moléculas, venciendo así las presiones que á tal variación se oponen.

El sentido de esta segunda acción, es, con ligeras excepciones, la de aumentar el volumen de los cuerpos; en tal caso general, hay en ella un empleo de trabajo interior y exterior, análogo al necesario para elevar un cuerpo pesado. En prestar este trabajo, se emplea una parte de la fuerza viva (ó energía del movimiento), la cual queda como potencial (energía de posición) que se emplea durante el enfriamiento en conducir las moléculas á su posición primitiva.

Las experiencias que suelen presentarse en las clases para mostrar la dilatación en general de los sólidos, líquidos y gases por el calor, son las siguientes:

Para los sólidos se usa del llamado anillo de *Gravesande*, que consiste (fig. 93) en una esfera hueca de latón colgada por una cadenilla

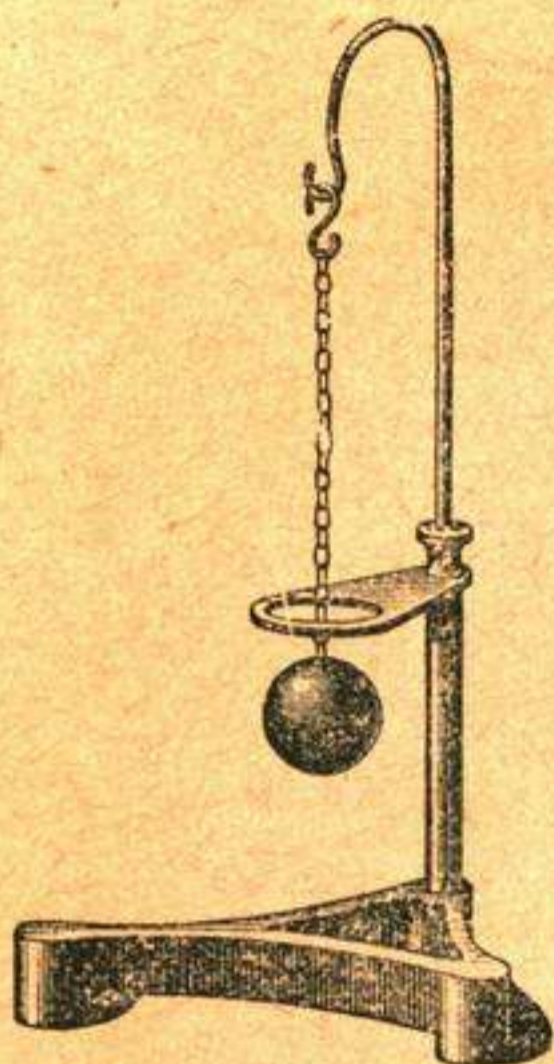


Fig. 93.

de un sostén que lleva una pieza también de latón con un agujero circular, por el cual puede pasar la esfera, sin holgar mucho, cuando ambos están á la misma temperatura; las experiencias consisten: 1.º, en calentar la esfera solamente (por medio de la llama de una lámpara de Bunsen ó de espíritu de vino), y ver que no puede pasar por el anillo; 2.º, en dejar la esfera caliente sobre el anillo y ver que al poco tiempo cae á través de él, por su pronto calentamiento y subsiguiente dilatación; 3.º, en subir la esfera caliente sobre el anillo y enfriar éste rápidamente con agua, y ver que por la contracción que sufre no deja ahora pasar la esfera. En los líquidos, el más adecuado para estas experiencias es el petróleo, por su

gran dilatación. Este se pone coloreado con orcanetina en una esfera de cristal con un tubo (fig. 94), de modo que quede llena á la temperatura de la habitación donde se experimenta, cuidando de que el tubo tenga la misma temperatura que la esfera, y metiendo ésta en un baño de agua caliente (cuyo medio es el más seguro), se ve que asciende dentro de él por su dilatación.

Respecto á los gases, se muestra su dilatación eligiendo el aire, para ello se pone una retorta de 300 á 500 centímetros cúbicos de capacidad, en un sostén, de modo que su cuello venga verticalmente hacia abajo y se sumerja en una taza con agua coloreada. Las experiencias son: 1.º, si se pasa ligeramente una ó dos veces la llama de una lámpara de espíritu de viuo por el fondo de la retorta; bastará para dilatar el aire lo suficiente para que salgan algunas burbujas por su cuello y á través del agua; y para que al enfriarse el aire, ascienda algún agua de la taza por el cuello de la retorta; 2.º, así

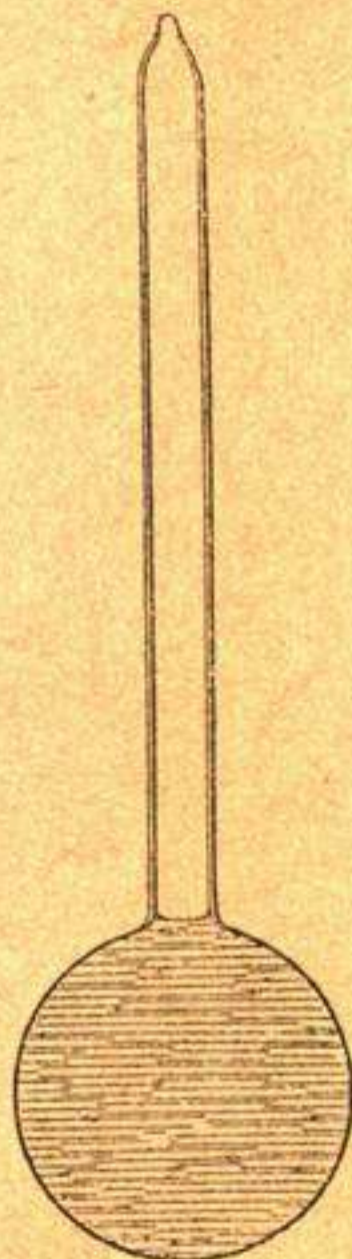


Fig. 94.

dispuesto el aparato, bastará acercar las manos á la retorta para notar un aumento de volumen en el aire y el descenso consiguiente

del agua en el cuello. Entre las excepciones del sentido general de aumento de volumen que produce en los cuerpos un incremento de temperatura, puede presentarse en los sólidos el cautchouc, y entre los líquidos, como más notable, el agua, la cual cuando se eleva su temperatura á partir desde aquella á que se solidifica, condensa y contrae su volumen hasta llegar á cierto límite ( $4^{\circ}$  C.), pasado el cual, se dilata por el aumento de calor. En este límite, pues, tiene el agua su *máximum* de densidad.

También en el Bismuto fundido, ocurre análogo fenómeno. Las pocas excepciones á la ley general de dilatación de los cuerpos por el calor, son entre límites estrechos de cantidades de éste.

Bajo fuertes presiones, varía la temperatura de la máxima densidad del agua: á la presión de una atmósfera es á  $+4^{\circ}$  C.; á la de 200 atmósferas está entre  $0^{\circ}$  y  $+0,5^{\circ}$  C.; á 700 atmósferas, la máxima densidad no pasa de  $0^{\circ}$ ; desde 3000 atmósferas no ofrece la anomalía de densidad.

Se entiende por *dilatación lineal* de un sólido, el alargamiento que tiene en el sentido de una de sus dimensiones y se llama coeficiente de *dilatación lineal* de una substancia al número que expresa en cuanto se dilata la unidad de longitud de dicha substancia, por la unidad de temperatura: así, por ejemplo, decir que el coeficiente de dilatación lineal del hierro forjado, es 0,00124, equivale á que cada metro aumente un 0,00124 por cada grado de calor que aumente su temperatura.

*Coefficientes de dilatación superficial ó cúbica*, son los que aumentan la unidad de superficie ó volumen de una substancia, por la unidad de temperatura.

Conocido el coeficiente de dilatación lineal, se tiene sin grande error que el superficial es el doble, y el cúbico, el triple del lineal.

L. 42. **Principio en que se fundan los Termómetros.**—De lo expuesto resulta que se puede aceptar como ley general, que el calor ejerce un esfuerzo para aumentar el volumen de los cuerpos, cualesquiera que sea su estado. Si se analiza esta acción sobre una cantidad determinada de Mercurio, introducida en una esfera de cristal que lleva un tubo delgado abierto, se nota al calentarlos que se dilata y sube el líquido por el tubo. En realidad, aquí se han dilatado dos cuerpos; en primer lugar la esfera, como fácilmente se comprueba; en segundo lugar el mercurio, pero éste mucho más considerablemente que la primera. En virtud de ello, no cabiendo su dilatación en la de la esfera, asciende por el tubo, y como éste es de muy corto diámetro, el ascenso es visible á la simple vista; sin ser necesario para esta

acción grandes cantidades de calor, pues la aproximación de la mano á la esfera, ó un soplo de aire frío, ocasiona ascenso ó descenso perceptible.

Un instrumento de esta especie, desde luego se comprende que es de mayor utilidad para conocer si un cuerpo está más caliente ó frío que otro, que la sensación que pudieran producir por el tacto. A tales instrumentos se llaman *termómetros ordinarios* ó de líquidos. Veamos ahora de indicar los requisitos y condiciones con que se construyen los instrumentos, fundados en el principio anterior, para hacerlos más exactos, sensibles y de fácil apreciación.

En primer lugar, se ha elegido (generalmente) el mercurio como líquido, cuyas dilataciones han de indicar las diferentes temperaturas, porque es el que entre límites más amplios para éstas ofrece una dilatación más regular: esto es, que para incrementos iguales de temperaturas, presenta incrementos iguales de volumen. Claro es que el mercurio ha de ser muy puro.

En segundo lugar, el tubo ha de estar todo lo mejor calibrado posible: esto es, que en todo su largo ocupe igual longitud una cantidad dada del líquido; la experimentación preliminar con una gota de mercurio que se le hace recorrer la longitud del tubo y se mide en sus diversas posiciones, sirve para conocer si un tubo está *bien calibrado*.

En tercer lugar, tanto el mercurio como el tubo, han de estar perfectamente purgados de aire. Ahora bien, es evidente que en un mismo termómetro y para iguales temperaturas, el mercurio subirá ó bajará hasta el mismo punto en el tubo; pero en termómetros distintos, si bien por los ascensos subirá y por los descensos bajará en ambos, pero no llegarán á idéntica altura si no son del todo idénticos: así, por ejemplo, si siendo los depósitos ó bolas (los cuales pueden afectar distintas formas) de la misma capacidad volumétrica, el tubo cilíndrico de uno de ellos tiene una sección de 10 veces mayor diámetro que la del otro; ocurrirá, que para igual incremento de temperatura, subirá en el estrecho á 10 veces mayor altura que en el ancho. De aquí la necesidad de regular y graduar los termómetros, y la posibilidad de que los ascensos y descensos de su columna sean de la magnitud que convenga.

Regular un termómetro, es darle al tubo la longitud conveniente para el uso á que se destina; para ello, cuando está lleno de mercurio, se calienta el depósito algo más que el límite que ha de apreciar en cada caso, y como el extremo aún no está soldado, por la dilatación

del mercurio, llega más alto de lo que ha de subir en su empleo, y en ese punto se suelda y cierra el tubo.

Una vez regulado, falta graduarlo, es decir, trazar en el tubo ó en una escala adjunta, dos puntos invariables, cuya distancia se llama *fundamental* y la cual se divide en partes iguales.

Para marcar los puntos fijos (fig. 95) se toman en general los que señala el límite de la columna cuando se iguala el instrumento en temperatura con la que tiene el agua al hervir y al congelarse, es decir, justamente cuando cambia su estado líquido por el gaseoso y el sólido.

Para marcar el punto á que llega por la temperatura de ebullición, se mete el depósito y parte del tubo en una vasija especial, tapada y en comunicación con el exterior, donde hay agua llevada á su ebullición: el depósito no toca al líquido, sino que queda á lo menos á 2 centímetros sobre la superficie hirviente; los vapores le rodean y bien pronto toman la temperatura de ebullición: el punto á que llega el mercurio se marca regularmente con el número 100. Hay que advertir, sin embargo, que como se procura (y se conoce por un manómetro que lleva la vasija) que la presión en el interior de ésta sea como la exterior, si la que en el momento de la construcción no es la normal, es decir, de 760<sup>mm</sup> al nivel del mar, entonces la temperatura  $t$  de la ebullición no es á 100°, sino que está dada por la fórmula  $t=100+0,0375(H-760)$ ; en la cual  $H$  representa la presión exterior.

Marcado así el punto correspondiente á la ebullición del agua y pasados 10 minutos de la operación, se determina el otro punto fijo correspondiente á la de congelación del agua, para lo cual se sumerge el depósito en una masa de hielo machacado, puesto en una vasija, de modo que el hielo fundente envuelva perfectamente á la bola y que el agua de fusión (pues se supone que la temperatura ambiente es superior á la que le mantiene sólido) se derrame; para esto, se suele emplear el medio de introducir la bola del termómetro en un agujero taladrado en un trozo de hielo, de modo que se escurra el agua de fusión.

El punto en que durante el fenómeno de la fusión se detiene la columna dentro del tubo, se marca el otro fijo, al cual generalmente se le pone 0°.

Este cero así determinado, se suele llamar por algunos físicos el



Fig. 95.

*Cero deprimido* en contraposición al que se determinaría dejando pasar algunos meses de haber determinado el 100°; pero aunque en este segundo caso el punto cero, que se determinaría, estaría más alto (y se llama el *Cero consecutivo*) la mayoría de los físicos convienen, en que las observaciones del punto 100°, no son comparables más que á las del *Cero deprimido*.

Por tanto, se adopta como distancia fundamental la que hay entre 100 y el cero deprimido.

Supongamos, que (como generalmente se hace) esta distancia se divide en 100 partes iguales y á cada una se llama grado; de este modo se tiene la escala llamada centígrada ó de Celsio.

La graduación de los termómetros se contrasta: cuando de operaciones delicadas se trata, comparándolos con el más científico, que es el de aire. Si al contrastar la escala de un termómetro, se observa que su 100 está, por ejemplo, á los 99°,82 y el cero consecutivo á los 0,38, se calcula la verdadera longitud de su grado dividiendo por 100 los  $0,18 + 0,62$  que por ambos extremos falta á su distancia fundamental para llegar á lo justo: resultaría, pues, para tal escala como la del ejemplo, que la longitud de su grado debería estimarse por la que tiene marcada, más  $\frac{0,18 + 0,62}{100}$ , ó sea por  $1 + 0,008$ .

La división del tubo termométrico se continúa por la parte inferior del cero lo mismo que por la superior, distinguiéndose en las lecturas su posición diciendo: grados bajo cero, y en la escritura, precediendo su número del signo (—).

Hemos dicho que la graduación general de la distancia fundamental es la de Celsio, pero aún se usan otras dos graduaciones en los termómetros, llamadas de Reaumur y Fahrenheit.

La de Reaumur divide la distancia fundamental en 80 partes iguales ó grados, de modo que se corresponde su cero con la centígrada. En cuanto á la de Fahrenheit, el punto de congelación del agua se marca con el número 32 y el de ebullición con 212.

Aunque la graduación centígrada es la generalmente usada, se emplean aún las de Reaumur y Fahrenheit en Alemania, América é Inglaterra, por lo que ocurre tener que reducir las lecturas de una á otra graduación.

Respecto de las escalas centígradas y de Reaumur, cuyo 0 corresponde á una misma temperatura, una simple proporción da la lectura reducida. Pues si, por ejemplo, se han leído  $r$  grados Reaumur y se quieren reducir á centígrados  $c$ , se tiene:

$$1^{\circ} : 1^{\text{R}} :: 100 : 80 \text{ así } 1^{\circ} = \frac{5}{4} 1^{\text{R}}$$

$$1^{\text{R}} : 1^{\circ} :: 80 : 100 \text{ así } 1^{\text{R}} = \frac{4}{5} 1^{\circ} ;$$

es decir, que 1 grado centígrado es  $\frac{5}{4}$  de uno de Reaumur, y recíprocamente 1 grado de Reaumur es  $\frac{4}{5}$  de uno centígrado. En resumen que para reducir una lectura centígrada á Reaumur se multiplica por  $\frac{4}{5}$ , y si es la recíproca, ó sea de Reaumur á centígrada, se multiplica por  $\frac{5}{4}$  los grados leídos.

La regla subsiste para los grados marcados por bajo del 0°, de ambas escalas, pues este punto límite es común para las dos.

En la reducción de las lecturas de grados centígrados á Fahrenheit se tiene presente que 100° centígrados sobre 0, serían 180 Fahrenheit si coincidieran los ceros: en este supuesto se determinarían por la proporción  $100 : 180 :: c : f$ , designando  $f$  los grados Fahrenheit:

de donde  $f = \frac{9}{4} c$ ; pero como el termómetro Fahrenheit marca 32°, donde el centígrado marca 0, habrá que aumentar estos 32; luego, en fin,  $f = \frac{9}{5} c + 32$ , y también  $c = \frac{5}{9} (f - 32)$ .

Así como regla práctica, se tiene, que para reducir lecturas de centígrado á Fahrenheit, se multiplican los grados centígrados (sean positivos ó negativos) por  $\frac{9}{5}$ , y se añade al producto 32; viceversa, para reducir Fahrenheit á centígrados se restan 32, y la diferencia se multiplica por  $\frac{5}{9}$ .

Una fácil comparación de las tres escalas, la proporciona la figura 96.

Además del mercurio, se emplea para los termómetros el espíritu de vino teñido, y principalmente para los que se han de usar para medir temperaturas muy bajas, porque el mercurio

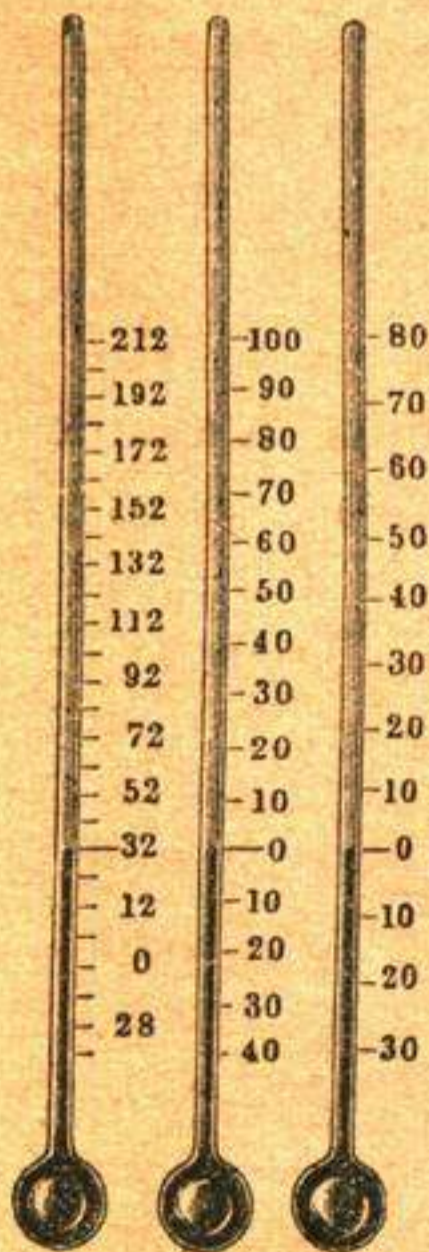


Fig. 96.



sólo permite prolongar la escala por su parte inferior hasta  $-40^{\circ}$  centígrados, á cuya temperatura se solidifica: en cambio, en la parte superior puede prolongarse la escala en los termómetros de mercurio á los  $350^{\circ}$  centígrados, hasta los cuales no hierve. El agua no puede emplearse en la construcción de los termómetros, tanto porque su punto de congelación es á una temperatura relativamente alta, cuanto por su irregular dilatación, en las superiores á  $0^{\circ}$  centígrados.

**Termómetros metálicos.**—Se han construído termómetros llamados metálicos, fundados en la dilatación de los metales, y desigual en los de naturaleza diferente; el más sensible y mejor de ellos es el llamado de Breguet, que consiste (fig. 97) en tres cintas metálicas (plata, oro y platino), superpuestas y soldadas, colocando en medio la de oro. La cinta delgada que forman se arrolla en espiral; un extremo (el superior) se asegura en un soporte A, y del inferior B hay suspendida una ligera aguja *cd* en posición horizontal, cuya punta *d* se mueve sobre un limbo graduado. Cada variación de temperatura produce, á causa de la desigual dilatabilidad de los metales empleados, un estrechamiento ó ensanche en las vueltas de la espiral, y por tanto, un movimiento de la aguja sobre el limbo. Este instrumento se gradúa por comparación con un termómetro de mercurio.

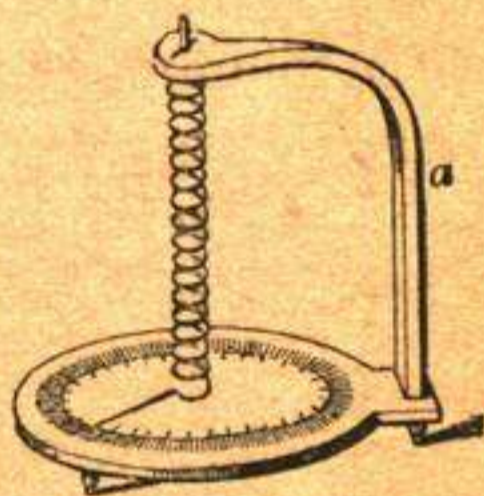


Fig. 97.

**Termómetro de máxima y mínima de Rutheford.**—Llámanse así unos termómetros en los que queda señalada la máxima y mínima temperatura del recinto en que están.

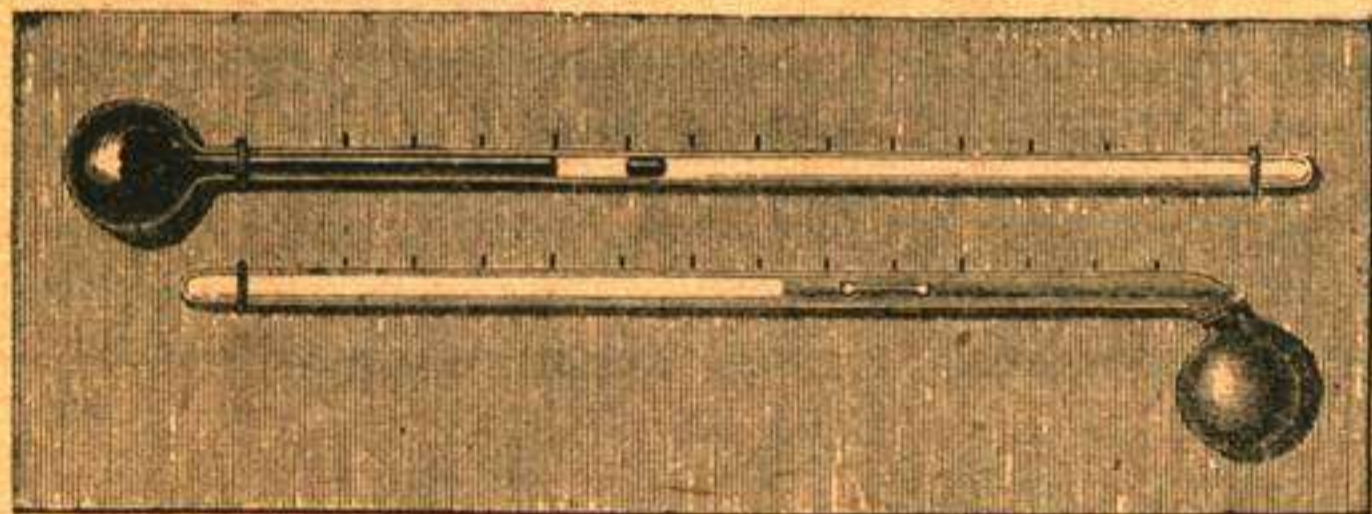


Fig. 98.

*El termómetro de Rutheford consiste (fig. 98) en dos termómetros, cuyos tubos están horizontales, uno con mercurio,*

*y otro con alcohol. En el de mercurio hay un índice de acero que flota y no es mojado, y por tanto, es arrastrado por la columna del mercurio cuando se dilata en el depósito, y cuando se contrae se queda el índice en el lugar á que llegó en el tubo, marcando así en la escala*

con el extremo que mira al mercurio, la más alta temperatura alcanzada, ó sea la *máxima*.

En el tubo de alcohol va un índice muy fino de cristal esmaltado, y que no obstruye el tubo, con lo que, y siendo mojado por el alcohol, cuando se dilata éste en el depósito, pasa á través del índice y del tubo sin moverlo; pero si se contrae, lo arrastra hasta el último grado á que llega. Por tanto, el extremo del índice que mira al lado contrario del tubo, al en que está el depósito, marca la menor temperatura que señaló la columna, ó sea la *mínima*.

Los depósitos ó esferas de ambos instrumentos, cuando están unidos, se ponen á diferente lado: así cuando se inclina hacia la izquierda y se le da un golpe ligero, el índice de acero cae por su propio peso sobre la columna de mercurio, y el de esmalte llega al final de la columna de alcohol. De este modo, el aparato queda en disposición de dar nuevas indicaciones, en el espacio de tiempo que se hagan las lecturas.

**Pirómetros.**—Se suele dar especialmente este nombre á unos instrumentos destinados á estimar temperaturas tan altas, que no sería posible hacerlo con los termómetros de mercurio.

Estos instrumentos, que se fundan en la variación de volumen de los sólidos sometidos á grandes temperaturas, no son exactos.

El de Wedwood se funda en la contracción que sufre la arcilla por el calor. Consiste el instrumento (fig. 99) en una placa de cobre, so-

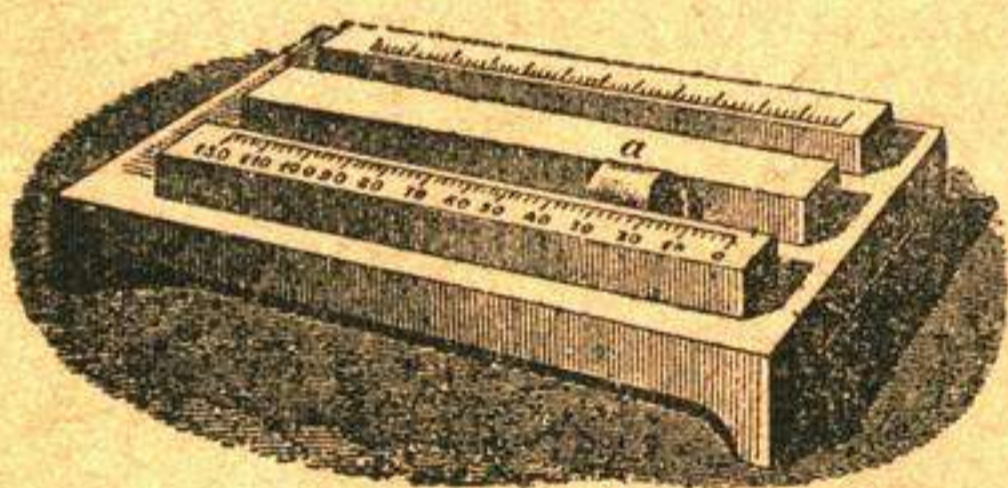


Fig. 99.

bre la cual hay tres barras fijas también de cobre; pero no paralelas, sino inclinadas de modo que entre sus extremos haya una diferencia dada de distancia, y que las dos segundas barras vengan á ser como una continuación de las primeras: si, pues, la

longitud de cada barra es de  $\frac{1}{2}$  pie inglés (el pie inglés = 3,048 decímetros), y las dos primeras empiezan por distar 6 líneas (la línea =

$\frac{1}{144}$  de pie) y acaban por distar 5, y las otras dos empiezan por dis-

tar 5 y acaban distando 4, es claro que en todo forman una muesca de 1 pie de largo que empieza por estar sus bordes separados 6 líneas y acaban por 4.

Cada pulgada de los bordes de la muesca ( $\frac{1}{12}$  de pie) está divi-

dida en 20 partes. El uso del instrumento consiste en tener dispuestos varios cilindros de arcilla; pero de tal diámetro, que á la temperatura ordinaria no penetren sino al cero de la escala; introducidos en el horno, cuya temperatura se quiere estimar, se contraen y conservan esta contracción aun después de fríos, en cuyo estado penetran en la muesca del pirómetro más allá del cero, marcando así en la escala cierta graduación.

La escala, cuya graduación es algo aproximada y que supone que su cero corresponde á 500° C.°, cada grado se considera que son 72 del termómetro C.° Así, el grado que señale el cilindro de arcilla se multiplica por 72, y al producto se añaden 500 para reducir las indicaciones del instrumento á grados C.°

## LECCION 21

### Cambio del estado de los cuerpos

*L. L. L.*

**Generalidades.**—Otro de los efectos del calor sobre los cuerpos es la variación de su estado físico.

Hemos visto que los estados finales de los cuerpos son tres, á saber: el sólido, líquido y gaseoso. De aquí el que se puedan considerar seis clases de cambios de estado físico en los cuerpos, en cuyos cambios cada dos corresponden á procesos recíprocos.

I.—Cambio de los sólidos en líquidos.....	Fusión.	} <i>Cristalización.</i>
II.—Cambio de los líquidos en sólidos.....	Solidificación.	
III.—Cambio de los líquidos en gases.....	Evaporación ó gaseificación.	} <i>Destilación.</i>
IV.—Cambio de los gases en líquidos.....	Condensación.	
V.—Cambio directo de los sólidos en gases.....	Evaporación directa ó volatilización.	} <i>Sublimación.</i>
VI.—Cambio de los gases en sólidos.....	Sublimación.	

Esta clasificación se suele sustituir por algunos del modo siguiente:

se comprenden con el nombre de *sublimación* los dos procesos sucesivos V y VI; á los III y IV se comprenden con el de *destilación*, y á los I y II con el de *crystalización*.

Con los dos primeros procesos están íntimamente ligados la disolución y separación de las disoluciones (crystalización de las disoluciones), si bien estos dos hechos tienen un carácter químico, porque en ellos se realiza la formación de un cuerpo nuevo con diferente estado físico más bien que un cambio de estado físico.

Los estados físicos no están siempre separados entre sí por caracteres definitivos: así, por ejemplo, muchos sólidos, al cambiarse en líquidos, se van reblandeciendo y recorriendo todos los estados intermedios de blandura y viscosidad. También en el cambio del estado líquido á gaseoso hay una cierta continuidad.

Puede admitirse como regla general que todos los cuerpos pueden tener los tres estados, y que de cada estado puede pasar á otro. Así, por un calentamiento suficiente, todos los sólidos pasarían á gases, supuesto que no se descompusieran antes. Pero nuestros medios de calentamiento son limitados, pues no podemos producir temperaturas menores de  $-140^{\circ}$  ni mayores de  $2000^{\circ}$ . Pero teniendo en cuenta que por un lado se ha podido liquidar y solidificar el hidrógeno, y por otro fundir y volatilizar el platino, no es aventurado creer que si dispusiésemos de temperaturas convenientes, podríamos llevar todos los cuerpos al estado físico que quisiésemos con tal de que no se descompusiesen antes.

La volatilización directa de algunos sólidos es muy común, pero con menos frecuencia en los metales que en los cuerpos no metálicos. Tal se ve, por ejemplo, en el mercurio sólido, hielo, yodo, etc. El olor que dan algunos metales, como, por ejemplo, el estaño, aún no está demostrado que provenga de una volatilización de ellos; pero de todos modos, sería extremadamente limitada.

En todo cambio de estado hay que considerar las siguientes condiciones:

- 1.<sup>a</sup> *La temperatura á que se realiza el cambio.*
- 2.<sup>a</sup> *La cantidad de calor en él empleado.*
- 3.<sup>a</sup> *La variación de volumen y de presión que le acompañan.*

**Punto de fusión y de solidificación.**—Si se calienta un sólido, no sólo varía su volumen, si que también otras de sus propiedades físicas, y en particular su dureza. A partir de cierta temperatura y continuando en aumentar el calor, el reblandecimiento se apresura, y después de un tiempo más ó menos largo de estado vis-

coso ó semifluido, y por un corto aumento de temperatura, llega por fin al estado completo de fluido. En muchos cuerpos, como por ejemplo, el hielo, las temperaturas, desde el comienzo hasta la completa fusión, son tan próximas, que puede decirse que la temperatura de fusión es constante durante todo el cambio de estado. A esto se llama *punto de fusión* del cuerpo. En otros las temperaturas en que justamente empieza su fusión, y en que la acaban, difieren algo más ó son enteramente indeterminables. Así, pues, el selenio empieza á reblandecerse entre los 40° y 50°, á los 100° está semifluido y cerca de los 200 se pone completamente fluido; pero sus cambios son tan continuos, que no sólo no se le puede asignar un punto de fusión, pero tampoco una temperatura fija para el comienzo del fenómeno y su conclusión. Entre estos modos de ser del hielo y el selenio, hay una serie de grados.

Si se vuelven á enfriar los cuerpos fundidos, baja en primer lugar su temperatura y ó queda constante ó próximamente desde que empieza la solidificación por un tiempo más ó menos largo (punto de solidificación) ó baja durante un cierto tiempo sucesivamente y despacio, en cuyo caso, al terminarse la solidificación, desciende rápidamente. Todo esto es bajo el supuesto de que la temperatura de los cuerpos que rodean al que se solidifica permita tales hechos.

En el caso ideal de que fuesen perfectamente recíprocos los dos procesos para la fusión y solidificación de los cuerpos, se formulan las dos leyes siguientes:

- 1.<sup>a</sup> *Los puntos de fusión y solidificación de un cuerpo son idénticos.*
- 2.<sup>a</sup> *La temperatura de este punto común permanece constante durante todo el proceso del fenómeno.*

La representación gráfica del proceso de la fusión y solidificación se hace tomando como abscisas los tiempos iguales para calentar y enfriar los cuerpos desde el principio al fin de ambos procesos, y como ordenadas las cantidades de calor que toman proporcionadas por una fuente constante, y se observa que no dan lugar en ningún cuerpo á lugares geométricos, perfectamente simétricos, respecto de la ordenada de en medio.

El hecho que ofrecen dos cuerpos que difieren mucho de esta simetría, es decir, la persistencia en el estado fluido por bajo del punto normal de fusión (que al mismo tiempo es de solidificación), es el que se llama *surfusión*. En casi todos los cuerpos puede lograrse que se ofrezca el fenómeno de la surfusión fundiéndolos en vasija cerrada y enfriándolos sin conmover la vasija. Pero no siempre se

logra la solidificación en su punto normal por conmociones de la vasija, sino que para obtenerla hay que poner algún núcleo sólido dentro del líquido que se quiere solidificar, y lo que es más seguro, un trozo pequeño sólido del mismo cuerpo.

El punto de fusión y solidificación de los cuerpos (que se admiten como siendo idénticos) varía con la presión exterior que sufre el cuerpo siguiendo la regla siguiente:

«El punto de fusión es más alto si aumenta la presión sobre aquellos cuerpos que al fundirse se dilatan; por el contrario, baja el punto de fusión en los que al fundirse contraen su volumen.»

**Evaporación.**—Si una vasija de agua se tiene abierta, se ve que disminuye su volumen, y esto es porque cambia su estado líquido por el gaseoso. A esto se llama *evaporación*.

*Vaporización* se suele llamar al cambio de estado de líquido á gaseoso en el agua, en virtud de un foco directo de calor que eleva su temperatura. Las condiciones para esto dependen del estudio que vamos á hacer de los vapores, sean producidos por evaporación ó vaporización.

El vapor de agua es tan invisible como los gases diáfanos; de modo que esa especie de humo que se ve sobre algunos depósitos de agua cuando se evapora, no es gas de agua, sino vapor condensado por su contacto con el aire frío que rodea al depósito. Cuando este aire está caliente y seco, el vapor no es visible, y estas nieblas ó humos de agua en finísimos globulillos desaparecen.

Crejóse por ciertos físicos, que el vapor de agua estaba en el aire á manera de las sales disueltas en el agua. Pero Dalton probó que la evaporación no sólo era independiente de la existencia del aire, sino que se efectuaba más rápidamente en el vacío.

**Diferencia entre vapores y gases.**—Una vez conseguido, como hoy sucede, el que todos los gases pueden cambiar al estado líquido la diferencia de ser ó no ser reductibles que establecían entre vapores y gases los antiguos físicos, ha desaparecido. No existe, pues, diferencia alguna. Sin embargo, para tener un medio de clasificación, se llaman gases los fluidos elásticos que á 0° y 760 milímetros de presión no se condensan en líquidos, y por el contrario, todos los que en estas condiciones cambian su estado gaseoso por el líquido, se llaman *vapores*.

2.45. **Máximo de la fuerza expansiva de los vapores.**—Si en un espacio vacío se introduce suficiente líquido para que después de formarse los vapores de él, aún quede alguna parte en estado líquido,

los vapores que así se forman difieren de los gases en que no se ajustan á las leyes de la compresión de éstos.

Para mostrarlo se puede usar del llamado barómetro de cubeta profunda (fig. 100).

Si en el tubo *ag* hay aire sobre el mercurio y se hunde en la cubeta como se representa en B, se reduce el volumen del aire á un espacio menor *s'g'*; pero también su fuerza expansiva crece, como manifiesta el descenso de la columna de mercurio dentro del tubo desde *s* hasta *s'*.

La misma experiencia hecha con vapores de éter, para lo cual se tiene cuidado de expulsar todo el aire, da por resultado que al introducir el tubo *ag* (fig. 101) en la cubeta, de modo que desde la posición A se ponga en la B, la altura de la columna de mercurio permanece invariable, aun cuando el volumen *s'g'* que ocupan los vapores de éter se ha reducido.

De esto se deduce que por la disminución del espacio ocupado por los vapores de éter, no se aumenta su fuerza expansiva. Si

se continúa disminuyendo el espacio, se ve aumentar la cantidad del éter líquido. De lo que se infiere, que la disminución del volumen disponible para sus vapores, actúa liquidando una parte de ellos, pero sin aumentar su fuerza expansiva.

De modo que si al principio todo el éter estaba en estado de vapores y después se reduce el espacio que ocupa ó se comprimen á  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$  etc., se condensan ó liquidan  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{2}{3}$  ó  $\frac{3}{4}$  etc., de los vapores. Si se continuase reduciendo el espacio ocupado por los vapores hundiendo más el tubo, todos ellos se condensarían reduciéndose al estado líquido, de manera que sólo éter en este estado es

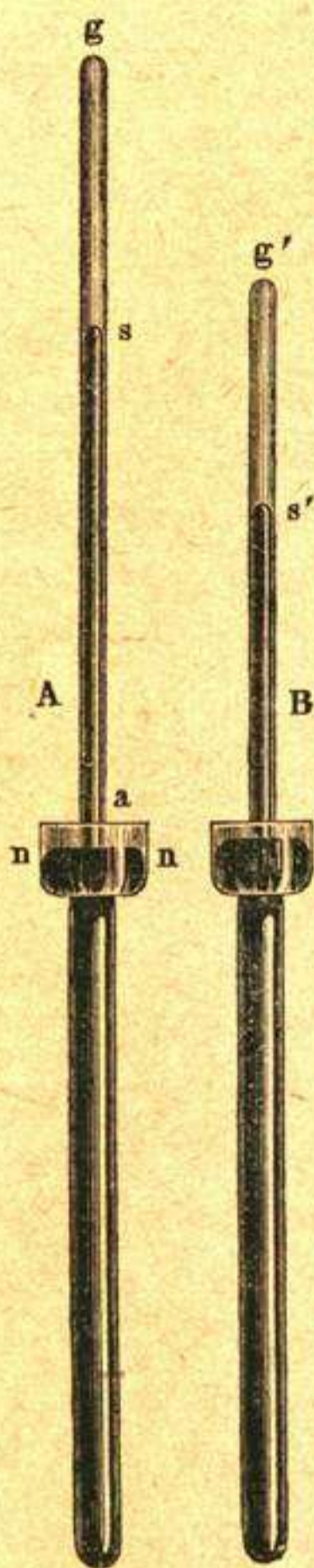


Fig. 100.

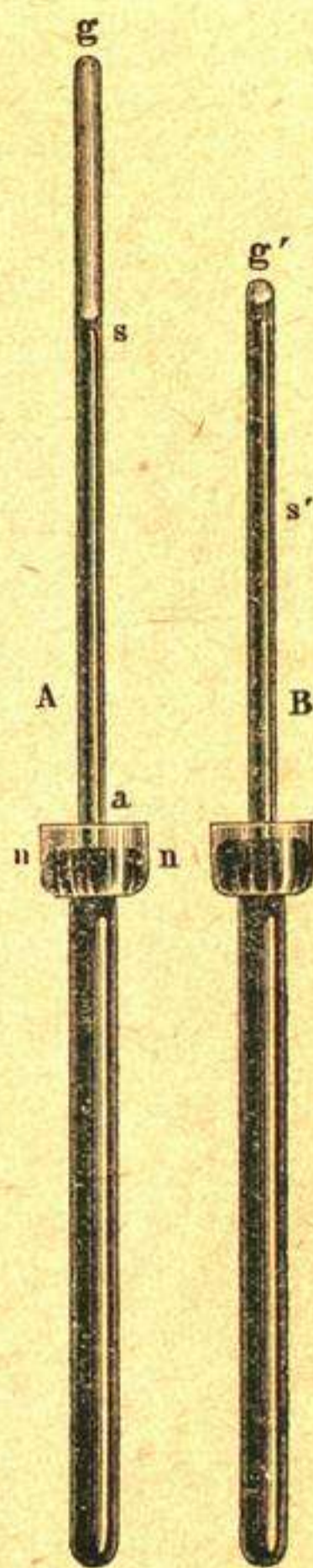


Fig. 101.

el que habría sobre el mercurio. La completa condensación no es fácil de conseguir, porque siempre en el éter hay un poco de aire. La experiencia se ha descrito como si fuera posible expulsar todo el aire.

Los vapores de un líquido cuando están en las circunstancias descritas, de manera que por su compresión ó reducción á un volumen más pequeño no aumentan su fuerza expansiva, se dice que *saturan el recinto en el cual están*.

La saturación para los vapores tiene lugar cuando alcanzan el *máximum de fuerza expansiva* de que son capaces á la temperatura del recinto en que se encuentran.

**Ebullición.**—El cambio de los líquidos en gases se llama, en general, evaporación. Pero los líquidos se evaporan de dos maneras: por *ebullición*, ó sea cocción, que es cuando de toda su masa se originan vapores, y por *dilatación*, que es cuando los gases sólo se originan en la superficie.

En un líquido en ebullición se nota por lo regular un movimiento más ó menos tumultuoso en todas sus partes, y si por ejemplo se hace hervir un líquido en una vasija de cristal, se ven burbujas de vapor que se forman junto á las paredes calientes de la vasija y suben á la superficie, pequeñas al principio y que van engrosando á medida que ascienden; los lugares más calientes de las paredes, son los en que se producen más rápidamente las burbujas. Y como para formarse éstas es preciso que el vapor que las constituye tenga una fuerza expansiva capaz de equilibrar la presión que sobre sí tienen, claro es que mientras mayor sea esta presión, mayor ha de ser la temperatura del punto de cocción de un líquido, porque sólo la temperatura es la que aumenta la fuerza expansiva del vapor, que ha de vencer esa mayor resistencia de presión.

Al nivel del mar, y bajo la presión de 760 milímetros, el agua pura hierve á los 100° centígrados: á la altura del Monte Blanco (4775 metros), en donde la presión atmosférica es de 417 milímetros, hierve el agua á la temperatura que se necesita para dar fuerza expansiva suficiente al vapor para vencer esta presión, y es á unos 84°. A mayores alturas herviría el agua á menos grados.

Cuando se tiene determinada la fuerza expansiva de los vapores de un líquido para cada temperatura, es fácil averiguar cuál es su punto de ebullición bajo una presión dada, porque es justamente aquella temperatura, para la cual, la fuerza expansiva de los vapores saturados es igual á la presión que sobre el líquido existe.



Así, para una presión de 30 milímetros, la temperatura de ebullición del agua pura es de 30°; porque los vapores de agua saturados á esta temperatura, justamente tienen una fuerza expansiva de 30 milímetros de presión. A una presión de 10 milímetros herviría el agua á los 11°, y á una de 5 milímetros á los 0°.

La comprobación de estas deducciones se realiza fácilmente por la experiencia. Para ello se pone agua caliente en una vasija de cristal, y debajo del recipiente de la máquina pneumática: á pocos golpes del émbolo, empieza á hervir el agua con tal fuerza como si estuviese sobre un fuego muy activo.

Esta ebullición cesa pronto, porque los vapores llenan la campana y ejercen presión sobre el líquido: si con nuevos golpes de pistón se sacan estos vapores, la ebullición vuelve á realizarse.

Por el contrario, si aumenta la presión que sufre un líquido, se eleva su punto de ebullición. En esto se funda la llamada marmita de Papín, que consiste en una olla fuerte de hierro (fig. 102) cuya tapa

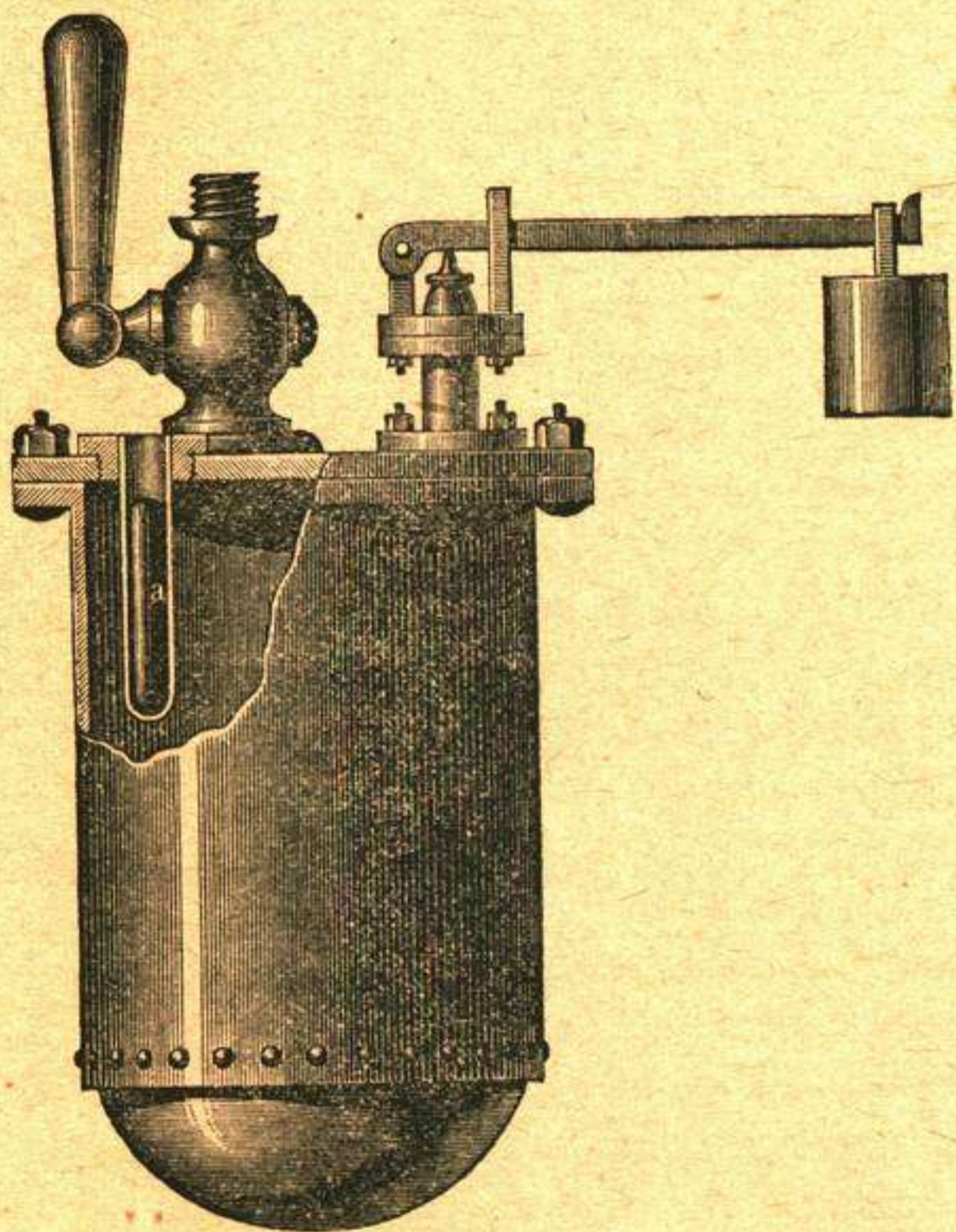


Fig. 102.

va atornillada y tiene tres aberturas; en la una lleva una válvula de seguridad; en otra un tubo de hoja de lata, que entra en la marmita, el cual se llena de mercurio hasta cierta altura; en la tercera lleva soldado un tubo con su llave, en el que pueden atornillarse otros tubos. Si se llena la marmita hasta los  $\frac{2}{3}$  de agua, y se calienta, el agua hierve á la temperatura normal cuando la llave está abierta. Esta temperatura se mide por un termómetro metido en el mer-

curio. Pero si se cierra la llave impidiendo así la salida del vapor, asciende la columna del termómetro y la fuerza expansiva del vapor,

que llega á ser suficiente para levantar la válvula. Por esta doble acción los productos alimenticios que con gran calor y presión pueden extraerse de la carne y huesos por medio de la marmita, son superiores á los que se obtienen en las ollas comunes, y de aquí el haberla apellidado su autor «Digestor».

**Licuación ó condensación de los vapores y gases.**—La diferencia entre gases y vapores es puramente relativa, pues los vapores no saturados se comportan como gases. Y toda vez que los vapores no saturados pueden saturarse por la presión y el enfriamiento, y por tanto, condensarse, se infiere que también los gases podrán condensarse con suficiente presión y enfriamiento.

Guiado por estas deducciones, Faraday consiguió licuar el ácido carbónico, y modernamente (1877) Pitec en Ginebra y Cailletet en París, los llamados antes *gases permanentes*.

**Investigación de la humedad del aire atmosférico.**—Se llama *humedad absoluta del aire atmosférico* el peso del vapor de agua que existe en un metro cúbico de aire, y *humedad relativa* la relación ó cociente de los números que expresan la humedad absoluta, y la que sería necesaria para que el vapor de agua llegase al estado de saturación; es decir, al *máximum posible de vapor de agua que puede contener en estado invisible en una temperatura dada*. El *céntuplo de la humedad relativa se suele llamar GRADO DE HUMEDAD*.

Los aparatos que se emplean para estas investigaciones se llaman **HYGRÓMETROS**, si por sus indicaciones se puede calcular la humedad del aire, é **HYGRÓSCOPOS** si sin necesidad de cálculo indican por sí mismos (con más ó menos precisión), el *grado de humedad de la atmósfera*.

*Hygróscopos* son unos instrumentos para conocer el estado de más ó menos humedad del aire. En ellos se emplean materias, como barbas de ballena, cabello desgrasado, cuerdas de tripa, filamentos de algunas plantas, planchas de astas y otras substancias, las cuales tienen la propiedad, unas de alargarse cuando el aire está húmedo, otras de torcerse. Estas manifiestan así con cierta aproximación la humedad del aire. El que da indicaciones menos inexactas es el *hygrómetro de cabello de Saussure*, que consta de un cabello desgrasado (en una solución de sosa poco concentrada) sujeto por uno de sus extremos al marco del instrumento; el otro, después de haberse arrollado una vez á la garganta de una polea muy ligera, queda tirante por una pesita. La polea lleva en su eje una aguja ó índice que pasa por delante de una escala. Cuando varía la humedad relati-

va, varía también en el mismo sentido la longitud del cabello; la polea y la manecilla giran, lo cual se aprovecha para el conocimiento aproximado de esta humedad.

Los hygrometros contruídos por Pfister y Hermann llevan en el arco que recorre la aguja dos escalas: la superior es el grado de humedad por ciento, y la inferior la escala de grados de Saussure.

## LECCION 22

### Calorimetría

2.45.

El objeto de la *calorimetría* es, como la palabra indica, «la medida de cantidades de calor», diferenciándose de la *termometría* en que esta última sólo se ocupa de medir «las elevaciones de temperatura». Este género de medidas puede clasificarse en cuatro grupos principales, á saber:

I. Medidas de las cantidades de calor necesarias para elevar bajo determinadas circunstancias la temperatura de los cuerpos á diferentes alturas. (Calor específico ó capacidad calorífica.)

II. Medidas de las cantidades de calor necesarias para cambiar, bajo condiciones dadas, el estado físico de los cuerpos. (Calor de fusión ó de vaporización.)

III. Medidas de las cantidades de calor producidas ó empleadas en los procesos químicos. (Calor de composición y de descomposición, de combustión, de reducción.)

IV. Medidas de las cantidades de calor que de cualquier otro modo que los expresados en los grupos anteriores pueden producirse por el cambio en él, de otras formas de energía. (Equivalente mecánico de calor, calórico equivalente de electricidad, etc.)

Para toda medida, precisa es una unidad; para las que aquí tratamos, la unidad usual se llama la *caloría*, entendiendo por tal la cantidad de calor necesaria para elevar un kilogramo de agua de 0° á 1° centígrado».

**Calores específicos.**—Si se mezclan rápidamente un kilogramo de agua á 10° con uno á 60°, se tiene una mezcla que próximamente

está á la temperatura media de 35°. Aquí la misma cantidad de calor que soltó un kilogramo, para bajar de 60° á 35°, es decir, 25°, es justamente la que gana el otro kilogramo que de 10° sube á 35°.

Otra cosa muy distinta ocurre cuando mezclamos un kilogramo de agua con un kilogramo de cualquier otra substancia. Así, por ejemplo, si se vierten juntos en una vasija un kilogramo de agua á 10° y uno de aceite de trementina á 60°, la mezcla no llega á 24°.

Así, pues, la cantidad de calor que ha soltado un kilogramo de trementina por un descenso de 36° en su temperatura, sólo puede producir una elevación en un kilogramo de agua que casi no llega á 14°. De aquí que para elevar la temperatura de la trementina un número de grados determinado, se necesita una cantidad de calor que es  $\frac{14}{36}$ , ó próximamente 0,4, de la que es necesaria para elevar la misma masa de agua á la misma temperatura.

El concepto de calor específico, se ha nombrado también *capacidad calorífica*.

Entre las experiencias que muestran inmediatamente que las diversas substancias tienen distinto calor específico, es la más usual poner sobre una torta de cera de 12 á 14 centímetros de diámetro y 4 milímetros de grueso, y apoyada en un pie, como representa la figura 103, dos bolas metálicas que se han tenido metidas algún tiempo

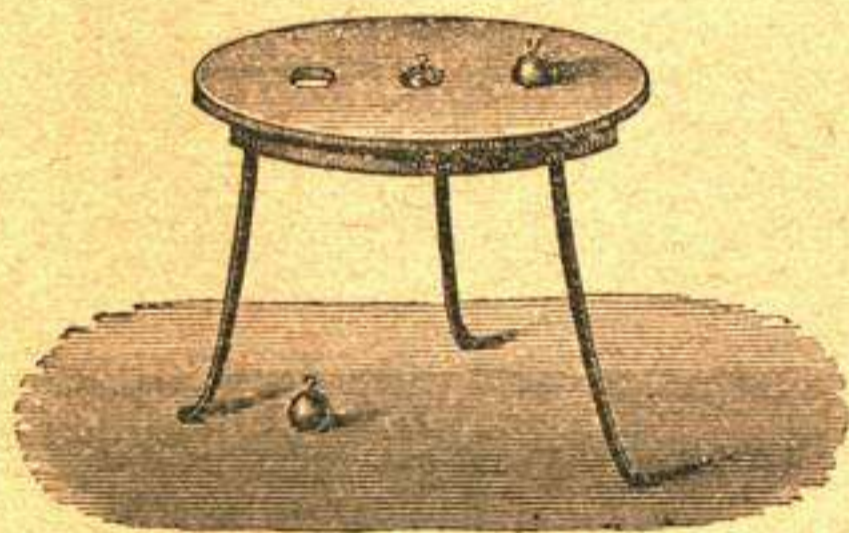


Fig. 103.

en un baño de agua hirviendo; si éstas son de cobre y plomo, pesando ambas 250 gramos, se ve que la de cobre atraviesa en poco tiempo el espesor de la torta y cae por el otro lado, y la de plomo, si bien penetra en la masa, no la taladra.

Para la *determinación* del calor específico de las diferentes substan-

cias, se emplean tres métodos principales, á saber: el de la «fusión del hielo», el del «enfriamiento» y el de «las mezclas.»

En el método por la fusión del hielo, se pesa exactamente el cuerpo cuyo calor específico se busca, y se le calienta hasta que tome una temperatura determinada, en cuyo momento se le introduce en un hueco que se haya hecho en un trozo de hielo. Cuando se ha enfriado, es porque ha fundido algún hielo del que la rodea, de la cantidad de hielo fundido se deduce la cantidad de calor que pierde el cuerpo, y de aquí su calor específico.

El método del enfriamiento se funda en el principio siguiente: cuando un cuerpo calentado se pone en un recinto en donde sólo puede enfriarse por radiación, tarda tanto más en enfriarse (iguales las demás circunstancias), cuanto mayor es su calor específico.

El tercer método de las mezclas ofrece resultados muy exactos; en esencia consiste en calentar hasta una temperatura dada un peso determinado del cuerpo que se ensaya, y entonces introducirlo en una vasija con agua, cuya temperatura se eleva por el enfriamiento del cuerpo. Conociendo la temperatura que tenía el agua y la que adquiere por la inmersión del cuerpo, es fácil de deducir el calor específico que se busca.

**Calores latentes.**—Para fundir el hielo, es decir, para cambiar el agua sólida á 0° en líquida á 0°, se necesita de una cierta cantidad de calor apreciable; este calor, que puramente se emplea en liquidar el hielo sin elevar su temperatura, y por tanto sin poder producir en nosotros la sensación de calor ni en los termómetros el ascenso de la columna, y que parece como perdido, es á lo que se llama calor *ligado, latente*, y en este caso *de fusión*.

La experiencia puede hacerse mezclando un kilogramo de agua á 80° C° con un kilogramo de nieve á 0°, y se obtienen dos kilogramos de agua á 0°. Todo el calor que el agua caliente soltó en su enfriamiento de 80° á 0°, ha desaparecido para el termómetro y únicamente se ha empleado en cambiar hielo á 0°, en agua líquida á 0°.

Esto se puede formular de otro modo. En la fusión de 1 kilogramo de hielo, se ligan ó quedan latentes 80 calorías. El calor latente del agua está por tanto expresado por el número 80.

Todo cuerpo para pasar del estado sólido á líquido, emplea una cantidad de calor en el trabajo necesario para ello; así el calor latente del

Fósforo es.....	5	Plomo.....	5,4
Azufre.....	9,4	Estaño.....	14,2
Nitrato de potasa....	47,4	Zinc.....	28,1

Lo que estos números significan es, por ejemplo, que 1 gramo de azufre necesita 9,4 calorías para fundirse.

Cuando un líquido se evapora, emplea ó liga calor, que se llama *calor de evaporación*. Este calor queda como disimulado ú oculto, pues no se percibe por el tacto ni se manifiesta en los termómetros, á manera del que se ha visto que se ligaba por la fusión de los cuerpos.

La demostración de que por la evaporación se verifica este fenómeno, se infiere de que, durante todo el tiempo de la ebullición de un líquido, su temperatura en general varía poco. Así la temperatura del agua hirviendo, en vasija abierta, persiste próximamente en los 100°, cualquiera que sea el foco de calor á que esté puesta; todo el calor que al agua hirviente se le añade, sirve sólo para convertir el agua á 100°, en vapor á 100°.

La operación llamada *destilación* ó cambio de vapores en líquidos consiste en conducir los vapores producidos en una vasija, á otra en que por medio del agua fría se mantienen á temperatura conveniente para su condensación; en esta reversión al estado líquido el calor latente se manifiesta calentando el líquido que rodea á los tubos de condensación.

## LECCIÓN 23

### Origen del calor

**Insolación.**—*Insolación es el calor producido por los rayos del sol sobre la tierra, ó sobre un lugar determinado.*

Toda la energía de nuestro globo y de los seres que lo habitan, tiene su origen en la insolación. Los movimientos de la atmósfera son efectos de su diverso calentamiento; así, la más suave brisa, como el más impetuoso huracán, no son más que parte de la energía que el sol envía á la tierra en forma de ondas etéreas. Calientan los rayos solares la superficie de los mares, levanta vapores que, condensados, vuelven sobre la tierra en forma de gotas líquidas ó de nieve, alimentando las fuentes y ríos que vuelven á llevar su caudal á los mares, y en este ciclo devuelve el agua toda la energía que recibió del sol: las gotas de lluvia, la corriente que arrastra los barcos, la cascada que mueve los artefactos, que taladra las montañas y de que se sirve la industria, no son más que cambios de la energía solar. Por el calor que absorben de los rayos solares, las partes verdes de los vegetales, separan el ácido carbónico del aire, el oxígeno es devuelto á la atmósfera y el carbono es fijado en las partes sólidas

del vegetal. Así, en la madera de un árbol hay energía solar almacenada, que se pone de manifiesto en forma de luz y calor cuando por la combustión, es decir, por la unión de su carbono con el oxígeno, vuelve á formarse el ácido carbónico: los yacimientos de carbón de piedra, que no son otra cosa que restos de antiguos vegetales, constituyen grandes depósitos de energía solar, de la cual nos aprovechamos poniéndola de manifiesto por la combustión para calentarnos, alumbrarnos y mover nuestras máquinas y grandes medios de transportes. Los animales se alimentan inmediatamente de plantas unos, y otros de estos primeros; en resumen, el sostenimiento de toda vida animal, consiste en las plantas. El carbono que compone á éstas se combina en el cuerpo con el oxígeno respirado y es expelido como ácido carbónico, es decir, que la energía de los rayos solares, acumulada por las plantas, se trasmite á los cuerpos vivientes que la devuelven en calor y movimiento. El calor de nuestra sangre, las pulsaciones del corazón, la actividad de nuestros miembros para el trabajo, no son otra cosa sino energía que primitivamente estaba en el sol. Así, pues, el sol por la producción de las ondas en el Eter del Universo, es la fuente y origen de todo calor y movimiento en nuestro globo.

También suelen considerarse como orígenes de calor los procesos que cambian en calor otras formas de energía en que éste se transformó ya. En realidad, sólo deberían de considerarse estos procesos como medios de que tal cambio se realice. Así, el choque, el rozamiento, la compresión, la mayor parte de las combinaciones químicas, son procesos para volver á cambiar en calor, energía que estaba bajo otras formas.

**Radiación.**—Al hablar de los modos de propagarse el calor de unos cuerpos á otros, se dijo que además de la conducción, podría tener lugar de un modo análogo á como se propaga la luz, y por esto, tal medio se llama *radiación*.

La propagación del calor por radiación, puede efectuarse aun á través de espacios vacíos; así, puede llegar á la tierra el calor solar á través de los espacios interplanetarios. El vacío de tales espacios entendemos que es de materia ponderable, pues por otra parte, los consideramos llenos de Eter, cuyas vibraciones, no sólo son capaces de propagar y producir el fenómeno de luz, si que también el de calor.

El calor tiene además de común con la luz que puede atravesar algunos cuerpos ponderables sin calentarlos, como la luz atraviesa

á los diáfanos sin iluminarlos. Solamente hay calentamiento en aquellos cuerpos que absorben el calor radiante. Así, cuando nos acercamos á una hornilla encendida, cuya boca está destapada, sentimos un calor que dejamos de percibir en cuanto se tapa, ó se interpone una pantalla entre nosotros y la hornilla. El mismo fenómeno se experimenta respecto del calor del sol, el cual calienta la superficie de la tierra sin elevar mucho la temperatura del aire. Estos ejemplos muestran que el calor puede propagarse de unos cuerpos á otros, sin calentar el espacio intermedio, á manera que la luz puede atravesar propagándose un medio sin iluminarlo.

Si dos grandes espejos cóncavos parabólicos (fig. 104) ó esféricos

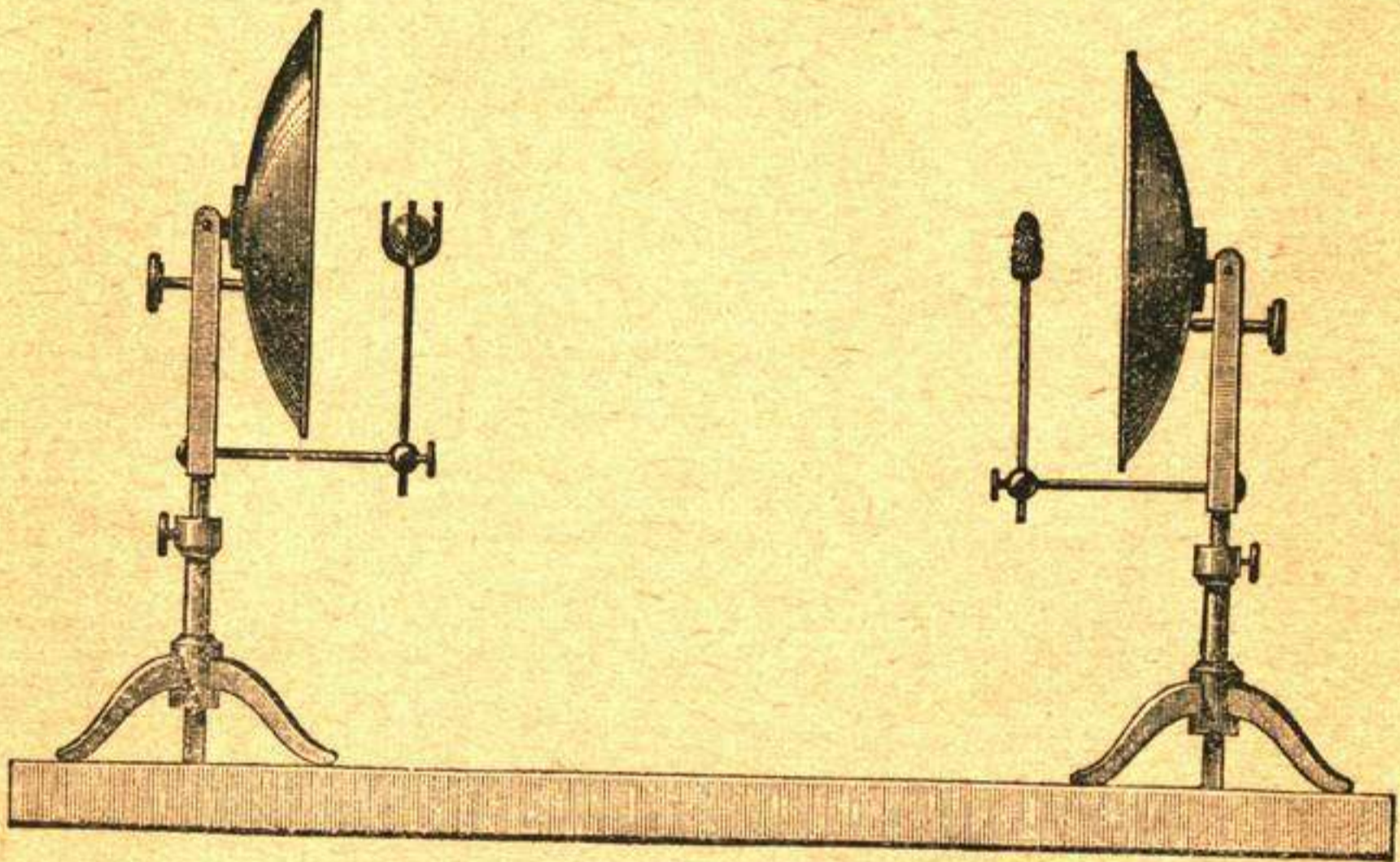


Fig. 104.

de metal, se ponen uno frente al otro á unos 5 metros de distancia, de modo que sus ejes se correspondan en una misma recta, y en el foco del uno se pone una esfera metálica casi incandescente ó una canastilla con carbón encendido, y en el foco del otro una paja de yesca, se observa que ésta se enciende en seguida, como si el foco de calor estuviese en el mismo punto. Esta experiencia muestra que el cuerpo incandescente radia calor y se propaga como la luz, por lo cual vienen á converger sus rayos al foco del otro espejo, porque es evidente que la yesca no se enciende hasta tanto que las capas de aire que inmediatamente la rodean no han elevado su temperatura hasta su punto de incandescencia, pues si la yesca se pone fuera del foco, no se enciende aun cuando el foco de calor se ponga más cerca, es decir, la distancia entre ambos espejos se aminore.



Si en vez del cuerpo incandescente se pone una bola ó esfera á 300°, y en vez de la yesca un termómetro, éste subirá rápidamente. Por tanto, la bola á 300° radia también calor. Si la esfera á 300° se sustituye por una vasija con agua hirviendo, ó á 90, 80 ó 70° puede suceder que no se observe elevación alguna de temperatura en el termómetro. Esto no se debe atribuir á que las paredes de la vasija á estas temperaturas no radien más calor, sino que en este caso el termómetro ordinario no es bastante sensible. Es preciso, pues, emplear instrumentos más sensibles, como son los llamados *Termómetros diferenciales* y los multiplicadores.

L. 47.

### Termómetro diferencial de Rumford

(fig. 105).—Consiste el instrumento que lleva este nombre en dos esferas de cristal *a* y *b*, ligadas por un tubo encorvado, cuya parte horizontal es de 3 á 5 decímetros de largo. En este tubo hay un índice de un líquido coloreado, que por ambos lados sufre la presión del aire de las esferas. Por tanto, sólo estará quieto en un sitio cuando las presiones por ambos lados sean iguales. Si, pues, una de las esferas se calienta más que la otra, el índice se moverá hacia la más fría.

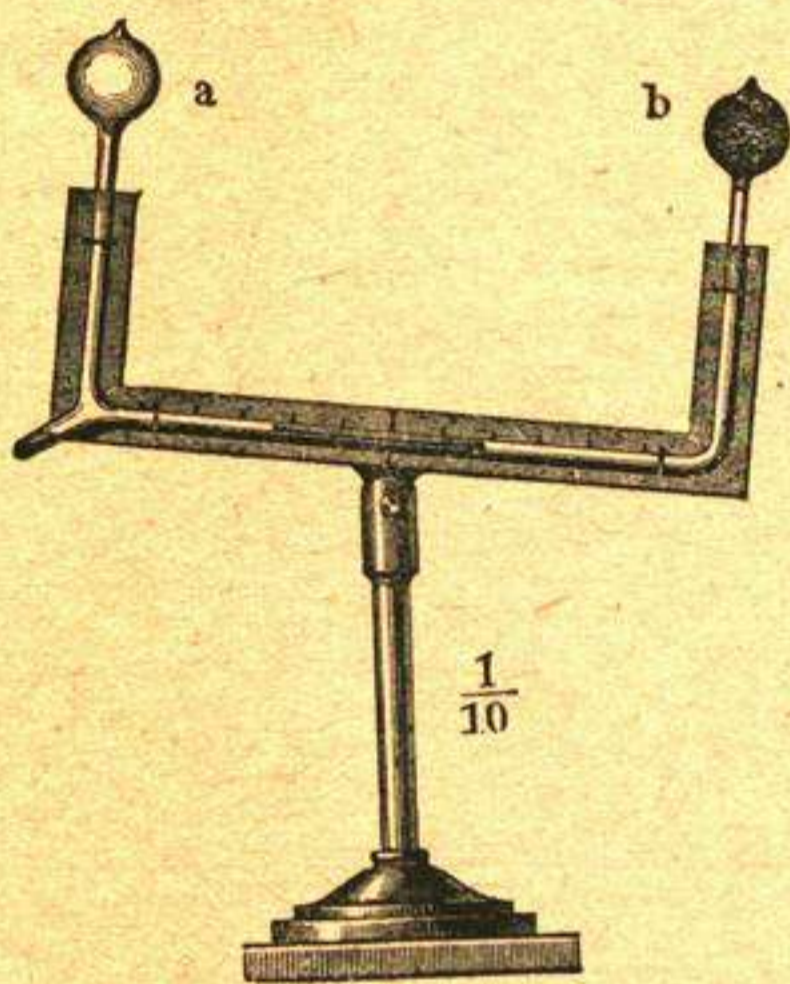


Fig. 105.

**Poder radiante de los cuerpos.**—La facultad de los cuerpos de radiar calor, es muy desigual y depende esencialmente del estado de su superficie. En general, la superficie de los cuerpos menos gruesos, radian más calor que los puestos en las mismas condiciones; pero de más grueso ó espesor. Para examinar la desigualdad del poder radiante de las distintas superficies, se usa como foco de calor el cubo hueco de hoja de lata, construído por Lestré, cuyas dimensiones son de 16 á 18 centímetros, y cuyas caras laterales están preparadas de modos diferentes. A saber: una de ellas es la del metal puro y bien pulido; la segunda está ennegrecida con humo de pez, la tercera cubierta de albayalde, y la cuarta con un paño.

Esto cubo hueco se llena hasta la mitad con agua caliente, la cual puede mantenerse á temperatura constante por medio de una lamparilla de alcohol que se pone debajo. Según que se vuelve una ú otra de las caras hacia un termómetro diferencial, así señala temperaturas

distintas. De la estimación de éstas, se deduce la relación en que están entre sí las facultades de emisión de las distintas caras. Bajo este aspecto, se ha determinado la facultad emisiva de los cuerpos siguientes:

Negro de humo.....	100	Paño... ..	85
Albayalde.....	100	Cara metálica.....	12

Cuyos números quieren decir, que si se designa con 100 el poder emisivo del negro de humo, entonces el de una superficie metálica pulida de iguales dimensiones, sólo es de 12; es decir, el 12 por 100 del de negro de humo.

**Absorción de los rayos de calor.**— Los rayos de calor que encuentran á un cuerpo pueden: 1.º, penetrar en su masa; 2.º, retroceder después de chocar con su superficie.

Los rayos que penetran en la masa del cuerpo, pueden á su vez, ó ser absorbidos y cambiarse en calor sensible, ó también sin producir calor en él, pasar á su través, como los rayos de luz á través de los cuerpos diáfanos.

Ya se ha visto un ejemplo de absorción de rayos de calor, en la experiencia con los espejos cóncavos.

La elevación de temperatura en el foco, no es otra cosa que el cambio en calor sensible de los rayos allí concentrados y absorbidos.

Todos los cuerpos sólidos y líquidos tienen en más ó en menos la facultad de absorber los rayos de calor, y esto demuestra desde luego que todos estos cuerpos puestos al sol toman una temperatura mayor que la del aire que los rodea.

La facultad de absorción no es la misma en todos los cuerpos, y fácilmente se demuestra por la experiencia.

Si se ennegrece la bola de un termómetro y se pone á la radiación de los rayos del sol, subirá mucho más que otro, cuya bola no esté cubierta de negro.

Es, pues, evidente que la superficie ennegrecida de la bola del termómetro absorbe más calor radiante que la brillante y pulimentada del otro.

El calor radiante que un cuerpo absorbe, es el que lo calienta; para conocer hasta dónde puede calentarse un cuerpo por el calor radiante, se le compara con un instrumento capaz de absorber mucho calor. Entre todos los termoscopios para este objeto, los mejores son las bolas del termómetro diferencial ó las caras de la pila termo-eléctrica, porque éstos son, entre todos los cuerpos conocidos, los que tienen mayor poder absorbente.

*El poder emisor de un cuerpo es igual á su poder absorbente.*—Esta ley se infiere desde luego, porque todo cuerpo, como negro de humo, albayalde, que radian más el calor, son también los que más se calientan cuando se les pone á la acción del calor radiante. Esto explica que las superficies brillantes de un metal que tienen muy poco poder emisor, también tengan muy poco absorbente.

**Reflexión y difusión del calor radiante.**—Todos aquellos rayos de calor que no penetran en la masa de un cuerpo, y por tanto, que ni son absorbidos ni pasan á su través, son reflejados en la superficie regular ó irregularmente, ó sea difundidos.

La reflexión de los rayos del calor radiante sigue las mismas leyes que las de la luz; es decir, que el ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales: esto lo demuestra la citada experiencia de los espejos cóncavos, pues no de otro modo podría resultar la concentración en su foco.

Cuanto más refleja la superficie de un cuerpo los rayos de calor, tantos menos puede absorber. En la experiencia de los espejos, si la yesca se enciende, es porque la superficie de los espejos reflejan regularmente la mayor parte de los rayos que sobre ellas inciden, por lo cual ellos mismos se calientan poco. Si, por el contrario, se les cubriese de negro de humo, todos los rayos incidentes serían absorbidos, y cesando la reflexión dejaría de realizarse el fenómeno de encender la yesca.

Si la superficie de los cuerpos no está pulimentada, el calor se refleja en todos sentidos y se verifica entonces en los rayos de calor lo que se llama *difusión*. La experiencia es sencilla. Si se hace entrar un haz de rayos solares en una cámara oscura de modo que incida en la pared de enfrente, se ve el espacio en ella iluminado desde todas partes, porque difunde la luz solar y también dispersa en todos sentidos los rayos del calor, como si ese espacio fuese un foco.

Esta difusión de rayos de calor se hace visible volviendo la bola de un termómetro diferencial al lugar iluminado, con lo que se tiene un movimiento en su columna, cualquiera que sea el lugar de la habitación en que se coloque el aparato. Este efecto no se produciría si la reflexión fuese regular. Tampoco puede atribuirse á un calentamiento del lugar de la pared herido por los rayos del sol, porque inmediatamente que se cierra la abertura por donde penetra el haz solar, la columna vuelve á su lugar.

**Facultad de los cuerpos para dejarse atravesar por los rayos de calor.**—Que los cuerpos sólidos pueden dejar paso á los rayos de

calor lo mismo que los diáfanos á la luz, lo prueba que se puede encender un cuerpo combustible puesto en el foco de una lente convergente que recibe los rayos del sol.

Aquellos cuerpos que no dejan pasar el calor (á semejanza de los opacos respecto de la luz), se llaman *atermanos*, y aquellos á cuyo través puede pasar y se comportan para los rayos del calor, como los diáfanos para los de la luz, se les llamó *diatermanos*. El aire es un cuerpo muy diatermano para el calor que viene acompañado de luz, y también otros muchos más cuerpos, así sólidos como líquidos, son diatermanos aunque en grados distintos.

## LECCIÓN 24

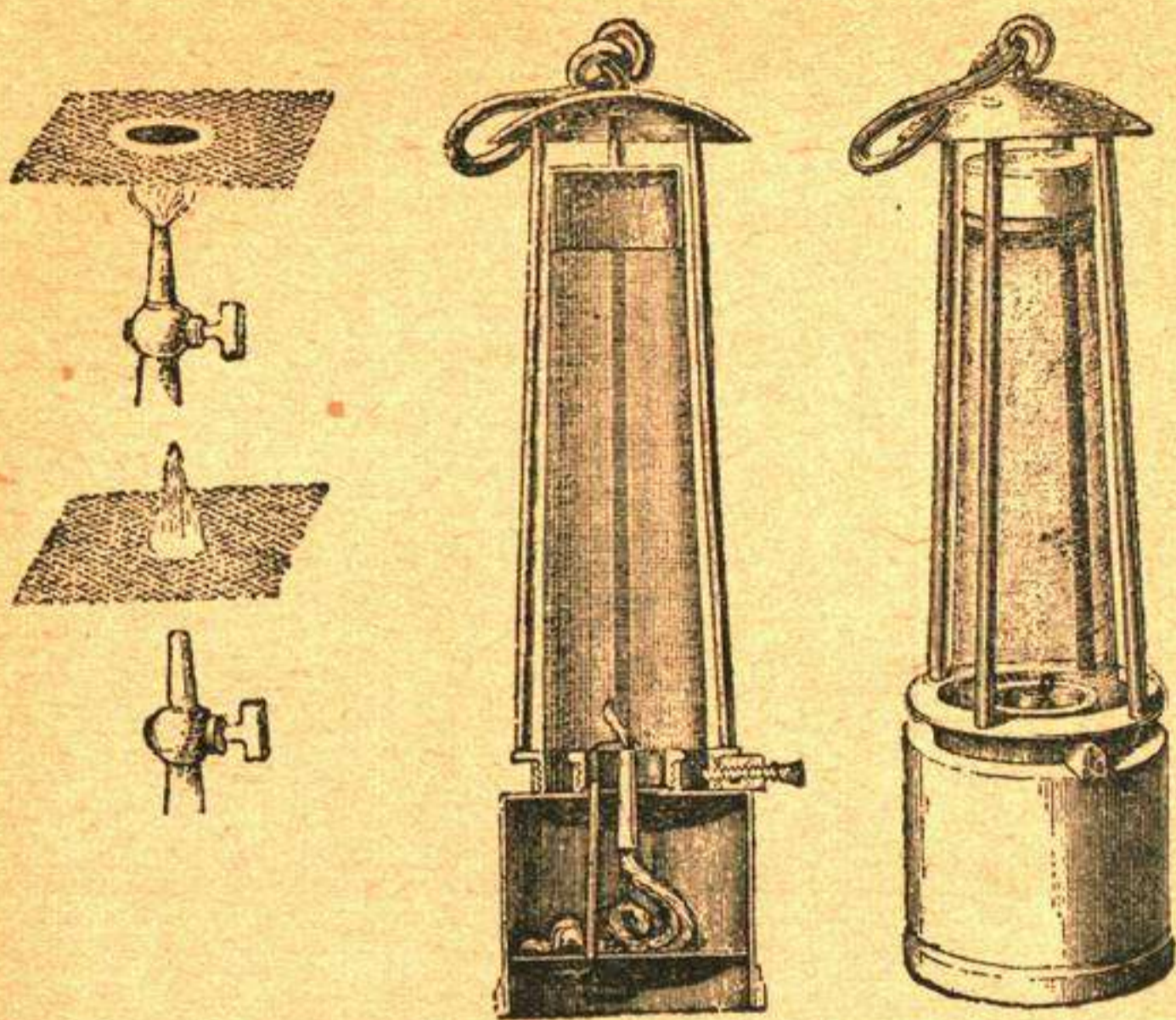
### De algunas aplicaciones de los fenómenos de calor

**Lámpara de Davy ó lámpara de seguridad.**—Este físico observó, que si se tiene una tela metálica de huecos pequeños, de modo que haya más de 50 ó 60 cuadros en un centímetro cuadrado, y se pone encima de una llama de gas encendida (fig. 106), aparece esta llama como cortada, porque la red metálica toma tanto calor de la llama al pasar á su través, que ya no le queda á ésta el suficiente calor para volver á encender los gases que pasan; viceversa si se deja pasar el gas sin encender á través de la malla metálica y después se enciende el que ha pasado, arde con llama la parte superior y no la inferior (figura 107).

Fundado en esto, construyó este físico su llamada «Lámpara de seguridad ó de mineros» (fig. 108), que consiste en una linterna de las ordinarias de aceite, pero cuya llama va rodeada por una rejilla de alambre, la parte alta la forma una cubierta maciza. Más convenientes son en esta clase de linternas (porque alumbran mejor) aquellas que tienen su parte inferior de cristal, y sólo tienen la tela metálica en la parte superior. A través de ésta no se puede transmitir la llama á la parte de fuera, aun cuando esté en una atmósfera cargada de hidrógeno carburado, (como ocurre con frecuencia en las galerías de las minas de carbón de piedra) y sólo se produce el efecto de que

el que penetra dentro de la lámpara á través de la malla, arde con llama azul.

No sólo se emplean estas lámparas en las minas, sino para alum-



Figs. 106 y 107

Fig. 108.

brar en todo recinto en que haya vapores fácilmente inflamables, como de Eter, Bencina, Petróleo, etc. Para hacer la experiencia que muestra la acción de estas linternas, se echan en una gran campana de cristal vuelta hacia arriba, unas gotas de Eter y se tapa cuidadosamente. Se introduce después la linterna encendida, y se ve arder sin que se inflamen los vapores de Eter que llenan la campana, lo cual ocurriría en cuanto se introdujese una luz descubierta. La llama de estas linternas puede apagarse rápidamente colocándoles su cubierta.

*Segunda aplicación del calor al vencimiento de resistencias ó sean máquinas térmicas.*—Se llaman máquinas de vapor, unos mecanismos dispuestos para producir grandes cantidades de vapor de agua y aprovechar su fuerza expansiva para el vencimiento de resistencias.

Constan todas de dos partes principales, que son: 1.<sup>a</sup> El *generador* del vapor á más presión que la atmosférica; 2.<sup>a</sup> El mecanismo en el que se trasforma su fuerza expansiva, en movimiento de masas. Nuestro objeto, al hablar de estas máquinas, se limita á dar una idea de los órganos y funciones esenciales y comunes á todas á fin de que

L. 48.

no sean del todo desconocidos unos aparatos tan importantes y repartidos por todo el mundo.

La siguiente tabla de experiencias, nos da una idea de la fuerza disponible en el agua en estado de vapor:

Grados C.º	F. E. del vapor en milímetros	Presión sobre un centímetro <sup>2</sup> , en kilogramos.	Presión en atmósferas.	Temperaturas.	Presión sobre un centímetro <sup>2</sup> en kilogramos.
0	5	0,007	1	100	1,00
10	9	0,013	2	121	2,07
20	17	0,023	3	133,9	3,10
30	30	0,042	4	145	4,83
40	51	0,072	6	160	6,20
50	89	0,126	8	172	8,26
60	145	0,196	10	182	10,33
70	229	0,311	15	200	15,49
80	352	0,478	20	215	20,66
90	525	0,714	25	226	25,82
100	760	1,033	30	238	30,99

Según esta tabla, se ve que el vapor de agua á 0º tiene una fuerza expansiva que es los 0,007 de la atmósfera, y que sólo supera á ésta cuando su temperatura es de más de 100º C.º, creciendo esta fuerza expansiva con la temperatura, de modo que en los 238º la presión es de 30 atmósferas, ó sea sobre un centm.<sup>2</sup> de cerca de 31 kilogramos.

Respecto del volumen que tomaría el agua en estado de vapor, también conviene tener presente algunos números: Un litro de agua ó sea un decímetro cúbico, á la temperatura y presión ordinarias, si se convierte en vapor á los 100º y 760 milímetros de presión, ocupa 1695 decímetros cúbicos de volumen con una densidad respecto de la del aire atmosférico que es á los  $\frac{5}{8}$  de la de éste.

Por cada grado que aumenta la temperatura del vapor de agua aumenta su volumen en  $\frac{1}{273}$  del que tenía y si encuentra oposición

á extenderse, ejerce una presión sobre las paredes de los recintos, que es lo que da origen á la fuerza que se ha señalado en la tabla anterior, y que se aprovecha en las máquinas haciendo entrar el vapor en un *cilindro* de paredes rígidas, dentro del cual hay un

émbolo movable, sobre cuyas bases se ejerce la presión del gas, y le mueve alternativamente á lo largo del cilindro, á esta parte de las máquinas se llama también *cuerpo de bomba*.

Las máquinas de vapor tienen una clasificación muy varia, según la variedad del modo de ejercer sus funciones el vapor, si se atiende á que actúe sobre una sola de las bases del émbolo, colocado en un cilindro vertical, de modo que suba por la acción del gas y baje por la gravedad, se llaman de *simple efecto*. Si, por el contrario, y cualquiera que sea la posición del cuerpo de bomba, el émbolo es movido siempre por el vapor que actúa alternativamente sobre sus bases, se llaman de *doble efecto*.

Si el vapor fluye en el cilindro en tanto que el pistón ó émbolo recorre toda su carrera, se dicen máquinas *sin expansión*, y si por el contrario el flujo de vapor cesa al llegar á cierto punto el émbolo, y en el restante trayecto actúa el que ya entró por sólo su fuerza expansiva, se dice máquina *con expansión*.

Con respecto á la presión con que el vapor llega al cilindro, si es menor de 4 atmósferas, se llaman máquinas de *baja presión*, y si es superior á 4 atmósferas se nombran de *alta presión*, si el vapor después de haber trabajado en el cilindro se hace salir al aire libre, se llaman *máquinas sin condensador*; si, por el contrario, se conduce el vapor desde el cilindro á una cámara, en la que se *condensa en líquido*, se dice *con condensador*.

Si en vez de ir los vapores desde el primer cilindro directamente al condensador van á otro ú otros cilindros, en los cuales se aprovecha el resto de su fuerza expansiva por medio de otros émbolos, se dice la máquina compuesta ó *Componud*. De modo que se puede nombrar una máquina, *Componud de doble efecto expansión, alta presión, y con condensador*.

Respecto de la manera de estar colocados los cilindros, se dicen las máquinas verticales, horizontales, oscilantes (movibles como péndulos), y respecto del montaje de toda ella se dicen *fijas, locomóviles, y locomotoras*.

**Generadores.**—Los generadores del vapor, son unos recipientes llamados calderas que se construyen generalmente de chapa de hierro, y en los que mediante la acción más ó menos directa de la combustión de ciertos cuerpos, principalmente el del carbón de piedra, se vaporiza el agua.

Las formas de estos recipientes han sido y son muy varias, pero pueden clasificarse en dos grupos, las calderas de un gran recipiente

2.49.

calentado por la acción directa del fuego y gases de la combustión y calderas Tubulares: en estas últimas el agua está en una serie de tubos por cuyo alrededor pasan las llamas y gases calientes.

También se llamaron tubulares unos tipos de caldera usadas en las locomotoras y máquinas de los buques, cuya figura en sección se representa (fig. 109) y que consiste en una serie de tubos que atra-

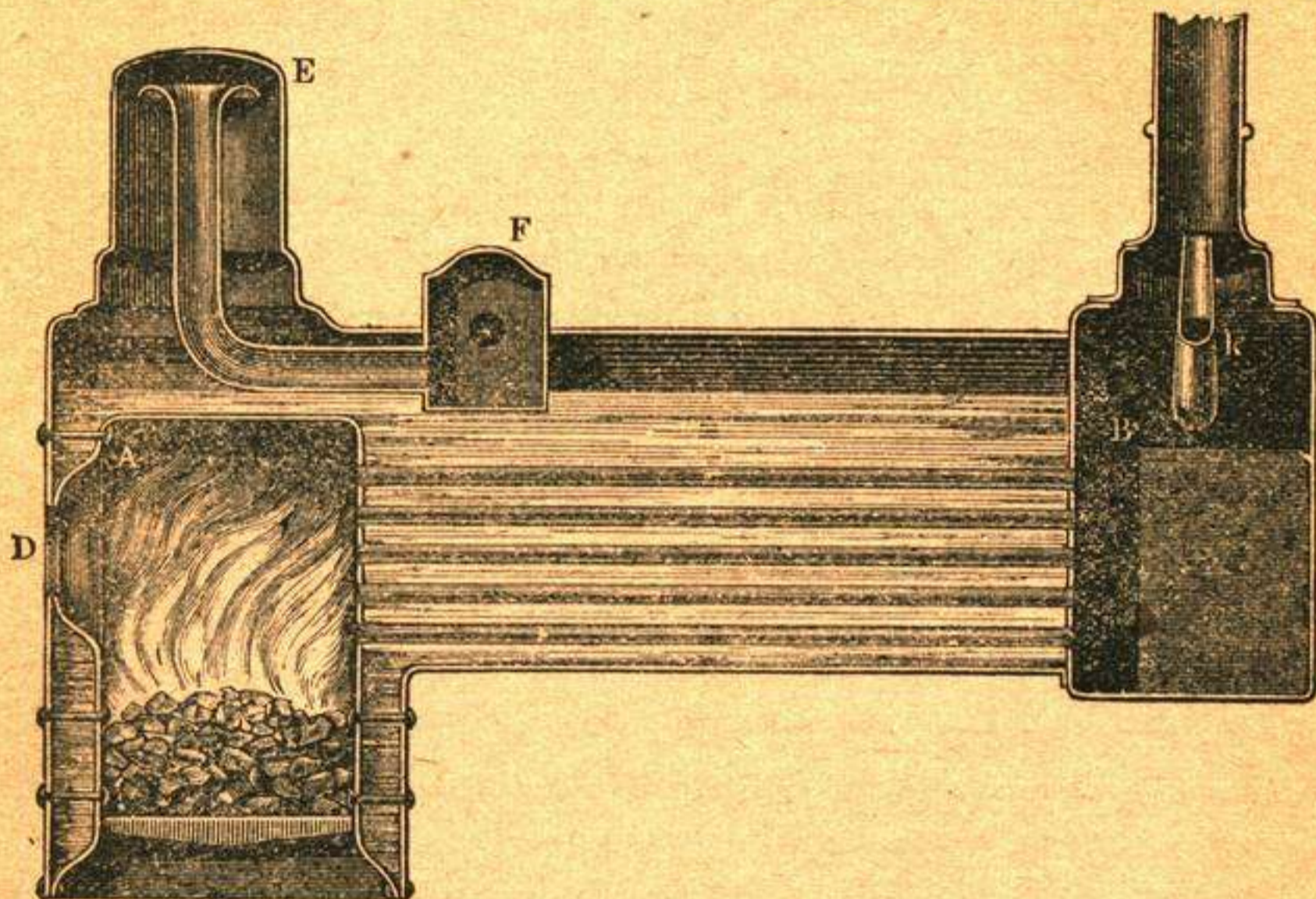


Fig. 109.

viesan el agua que está en un recipiente, y por cuyos tubos atraviesan los gases y humos de la combustión; se ve, pues, que aun con el mismo nombre de tubulares, la disposición es opuesta entre las de ambos tipos, pues en las primitivas los tubos sólo sirven para aumentar la superficie de calefacción del agua y en las últimas pasa y circula el agua por los tubos, y la calefacción es por el exterior de éstos.

En toda caldera que no sea tubular de esta última clase, se tienen ciertos aparatos accesorios de que no puede prescindirse: tales son los siguientes:

1.º Un medio de alimentación de agua para la vaporización, Esta alimentación se hacía antes de la invención de los condensadores, por medio de bombas movidas por la misma máquina, y hoy, en casi todas, se emplea un aparato llamado el inyector de Giffard, que automáticamente envía el agua de los condensadores á la caldera, y con tal fuerza, que el registro de si funciona es un corte del tubo por donde pasa el chorro de inyección y se ve que corre de una á otra boca, sin alterar su forma y como una barra sólida.



El 2.º es el indicador del nivel de agua en la caldera, que es tan importante, que no se contentan los constructores con poner un tubo de cristal comunicante con la parte alta y baja de la caldera, y en el que se ve el nivel, sino que ponen el registro llamado de las *tres llaves*, que son tres grifos situados, uno á la altura que *siempre* ha de estar cubierta con agua, otro con la que *siempre* ha de dar vapor, y el otro con el nivel que debe dar vapor y agua. Este es el registro más seguro, pues si se obstruyen los conductos, se nota su obstrucción por la falta de salida del gas ó agua.

3.º Un medio de limpieza de las incrustaciones que se depositan en las paredes de los recipientes, donde se vaporiza el agua, y que proviene de las sales é impurezas de ésta; estos depósitos son muy perjudiciales porque impiden la comunicación del calor al agua, y por su dilatación distinta de la del hierro pueden determinar la rotura de las chapas: es indispensable, pues, por ambos efectos perjudiciales, limpiarlos con frecuencia, toda vez que aún no se ha encontrado el medio eficaz de impedir que se realice el depósito.

4.º Los aparatos de seguridad que son las llamadas *válvulas* y *manómetros*, ya se sabe lo que son ambos aparatos; por los manómetros se conoce la fuerza expansiva del vapor en la caldera, ó sea lo que se llama Presión del vapor, y por los segundos, se impide que esta presión exceda de ciertos límites, mucho menor que la resistencia de la caldera, pues se abre por el mismo vapor, y le deja escapar.

Las calderas tubulares en que el agua está dentro de los tubos tienen las ventajas de ser inexplosibles, y de dar vapor con prontitud, pero gastan mucho combustible.

Sea cualquiera la forma del generador, la otra parte de las máquinas de vapor, es aquella en las que se trasforma su fuerza expansiva en movimiento de masas sólidas. También ha recibido formas variadísimas, pero en todas se pueden distinguir órganos comunes que son los cilindros en donde actúa el vapor sobre las bases del émbolo. La caja de distribución que hace llegar el vapor á la parte que conviene del cilindro, el mecanismo de regulación de la marcha del émbolo, y el de trasformación del movimiento alternativo en circular continuo: todas estas partes se distinguen fácilmente: sea por ejemplo (figs. 110 y 111) una máquina de vapor fija representada en sección y perspectiva, vista en dos posiciones, y veamos su modo de funcionar.

1.50.

Por medio del tubo *z* (fig. 110) viene el vapor desde la caldera

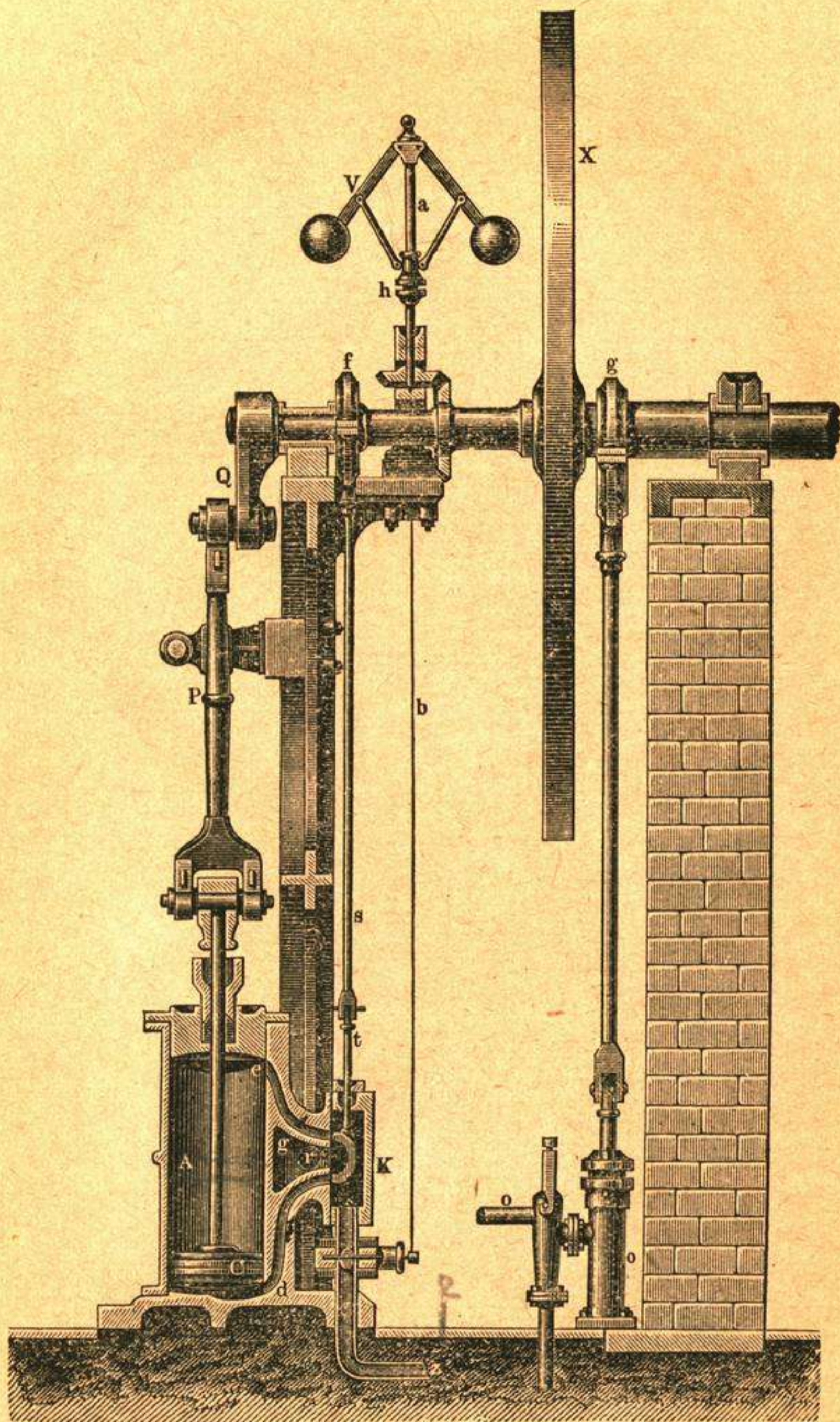


Fig. 110.

à la caja de vapor K, desde donde, por medio de dos canales, se

introduce en el cilindro A: uno de estos conductos desemboca en e,

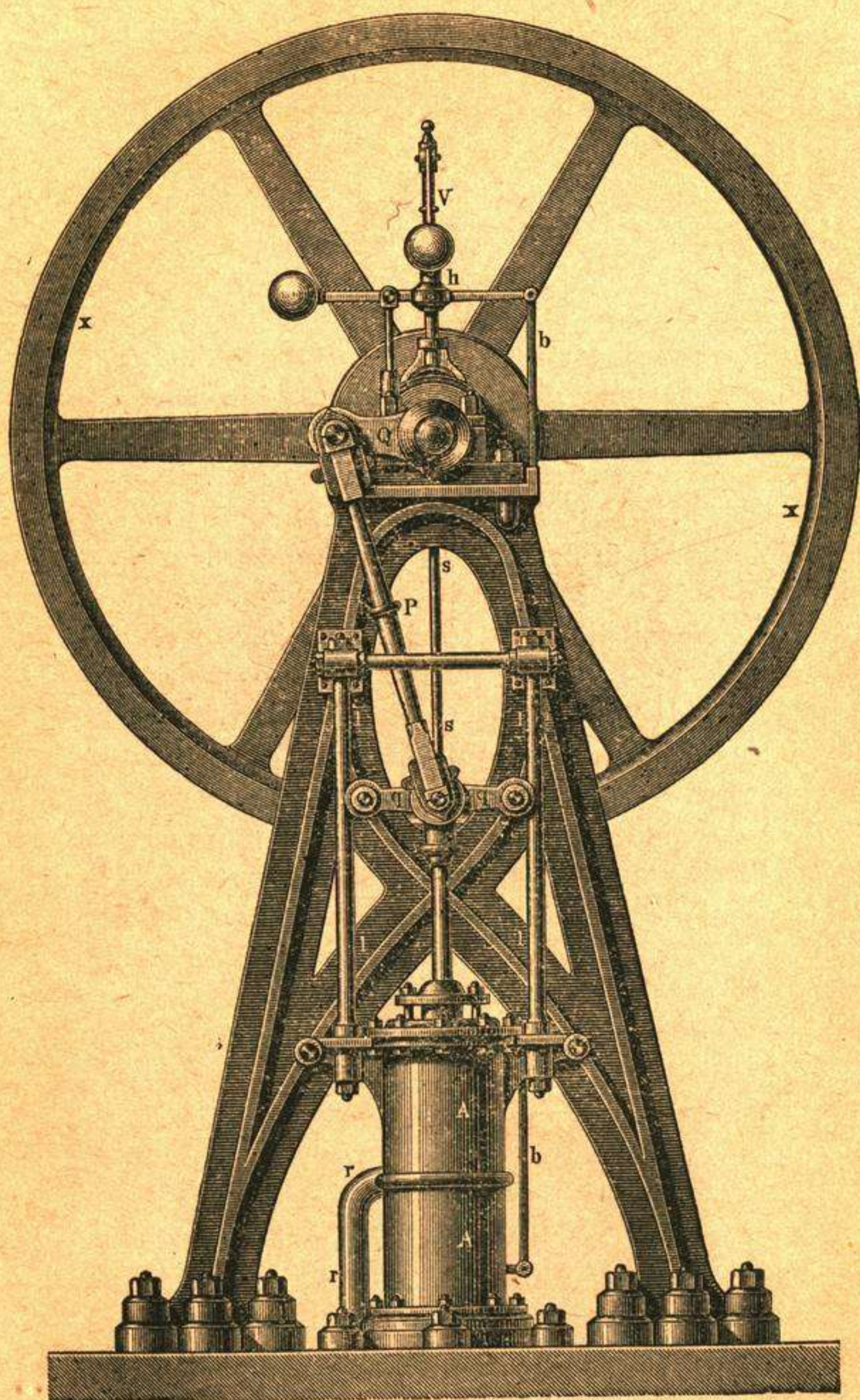


Fig. 111.

ó sea en la parte alta del cilindro; el otro en *d*, ó sea en la parte

baja de éste. Por medio del distribuidor (del que pronto se hablará), se logra que el vapor entre alternativamente en la parte alta ó baja del cilindro, y por tanto, que levante ó baje el émbolo. ~~~~~

La varilla del émbolo se mueve, atravesando una pieza llamada *apretador de estopa*, que va en la cubierta del cilindro: esta vara se articula inmediatamente con una barra P, llamada *biela*, que por intermedio de la pieza acodada Q, llamada *manivela*, cambia el movimiento alternativo del émbolo, en circular uniforme.

El eje de la manivela Q, es el que principalmente ha de ponerse en movimiento en la máquina: á este eje va unida rígidamente una rueda X, llamada *volante*, cuyo destino es regularizar las pequeñas irregularidades en la marcha de la máquina.

Para asegurar la marcha rectilínea de la barra del émbolo, se pone en su parte superior una pieza cruzada con su longitud *qq*, llamada *T del pistón* (fig. 111), la cual corre por sus extremos á lo largo de dos barras rectilíneas *l, l*, firmemente aseguradas, con lo cual se impide todo desvío de esta dirección en la barra del émbolo.

El movimiento del émbolo ó pistón C fácilmente se concibe que no es uniforme, pues en el principio y fin de su carrera tiene un momento de parada para cambiar el sentido de su movimiento: su mayor velocidad (como en todo movimiento de oscilación), está en el medio de su carrera; es decir, justamente cuando pasa por la sección media del cilindro, y desde ahí decrece tanto más cuanto más se acerca á la base superior ó inferior de éste. Si se considera ahora el movimiento de la manivela, se ve que en la velocidad uniforme de rotación, su movimiento, en el sentido vertical, es muy variable. El brazo de la manivela está horizontal cuando el pistón C llega á la mitad del cilindro: en este momento tiene una dirección al vertical el movimiento de la manivela; pero cuando el pistón llega á lo más alto ó más bajo de su carrera, la manivela se mueve en dirección al horizontal.

La parte del movimiento vertical de la manivela es enteramente igual á la del pistón; á medida que el movimiento de la manivela se hace más y más horizontal, decrece la velocidad del pistón, sin que por ello resulte una disminución en la velocidad de rotación de la manivela. Como fácilmente se comprende, el diámetro del trayecto de la manivela ha de ser idéntico á la altura del cilindro, teniendo en cuenta el espesor del pistón, es decir, restado este espesor. La longitud del brazo de la manivela es, por tanto, igual á la mitad de la carrera del pistón.

El volante X sirve para sostener uniforme el movimiento de la máquina, porque aun cuando la presión del vapor sobre el pistón fuese en todos los puntos invariable, no por eso se lograría que fuese uniforme el giro en todas las posiciones de la manivela. En la práctica, la presión que por medio de la biela P actúa sobre la manivela, se puede considerar descompuesta en dos fuerzas perpendiculares: la una actúa en la dirección del brazo de la manivela, ninguna acción ejerce sobre el giro de ésta, y es contrarrestada por la resistencia del eje; la otra, que se dirige tangencialmente al trayecto de la manivela, es la que produce el giro. Pero la intensidad de estas fuerzas varía á cada instante. Cuando el brazo de la manivela está vertical, toda la fuerza que proviene del pistón actúa única y solamente como presión sobre el eje de la manivela. Si la máquina está parada en esta posición, no habría esfuerzo alguno sobre el émbolo que la pudiese poner en movimiento: las dos posiciones en que el brazo de la manivela está vertical se llaman *puntos muertos* de la máquina. Ahora bien: si la máquina no se queda parada cuando el brazo de la manivela llega á un punto muerto, consiste en que todas las partes de ella, á causa de la fuerza viva que adquieren por el movimiento (de un modo análogo á un péndulo cuando llega moviéndose á su posición de equilibrio), actúan para que éste continúe, y sacan, por tanto, al brazo de esta posición.

La marcha de la máquina tendrá una aceleración cuando el pistón está cerca de la mitad del cilindro, por el contrario, sufrirá un retardo cuando aquél se aproxime á la base superior ó inferior de éste: estas variaciones son las que se disminuyen por la acción del volante, y tanto más cuanto mayor es su masa y radio.

El distribuidor del vapor, es decir, el mecanismo por el cual se consigue que el vapor que viene de la caldera entre alternativamente en la parte baja ó alta del cilindro, consiste en lo siguiente. En la parte de la superficie del cilindro que mira á la caja de vapor K hay tres orificios, de los cuales uno comunica con la parte superior de aquél y otro con la inferior; el del centro conduce á un hueco *g* (fig. 110) el vapor, que ya ha prestado su trabajo; y de aquí por un tubo *r* sale ó al exterior, ó á los condensadores, ó á otros cilindros. Delante de estos orificios se mueve el pasador distribuidor, cuya construcción representa la figura 112. En la posición en que se ha puesto esta pieza en la figura 110, ambos canales están tapados por el pasador, y ningún vapor entra en el cilindro, y justamente este es el momento en que el pistón ha llegado al punto más bajo de su carrera, y en el

que la máquina está en un punto muerto. Pero á medida que la biela sube, el pasador también asciende, y llega á su posición más alta; cuando el pistón pasa por el punto medio de su carrera, y por tanto, cuando ha alcanzado el máximo de su velocidad. En este instante el orificio inferior está completamente libre (fig. 113), de modo que el vapor puede entrar á fuerza plena en la parte inferior del cilindro; entre tanto, el vapor, que ya sirvió en la parte alta de éste, puede pasar por la canal *e* (fig. 110) y el hueco del pasador al espacio *g*, y de aquí por *r* sale (en las figuras 113 y 114 el tubo *r* está señalado con *a*).

Cuando se aproxima el pistón con velocidad, decreciente á la parte alta del cilindro, el pasador distribuidor va hacia abajo, cierra



Fig. 112.

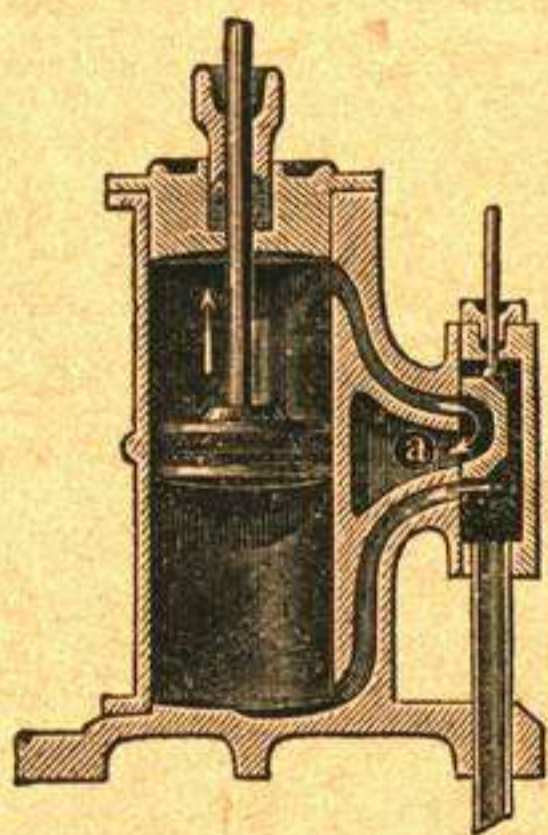


Fig. 113.

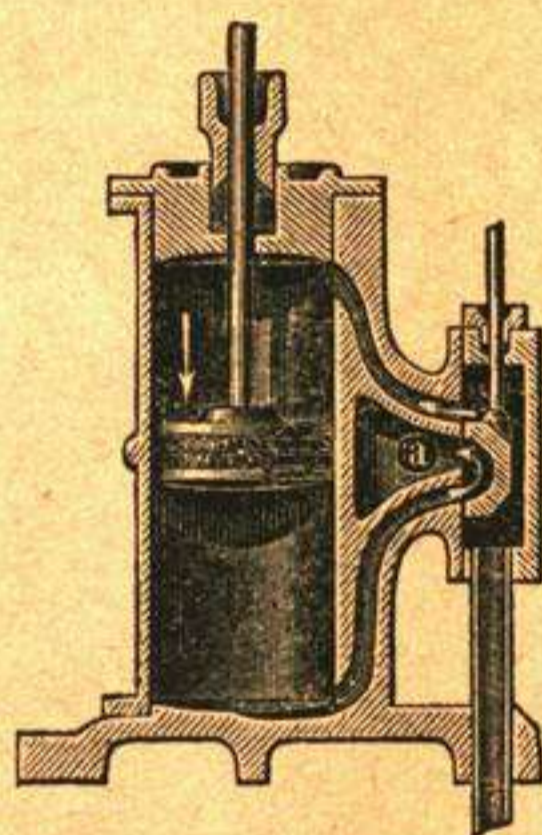


Fig. 114.

todos los orificios justamente en el instante en que el pistón llega al limite superior de su carrera. Al retroceder, entonces el pistón, aún continúa bajando el pasador distribuidor, hasta que el pistón llega á la mitad del cilindro, en cuyo momento queda completamente libre el orificio superior para la entrada del vapor en el cilindro, (fig. 114) y en tanto, el que está debajo del émbolo en la mitad inferior del cilindro, puede salir por el hueco de éste á la capacidad donde está el tubo *a*.

Por tanto, el movimiento del pistón y del pasador se pueden considerar como vibratorios, y en realidad difieren los de ambos en  $\frac{1}{4}$  de duración de la oscilación.

El movimiento del distribuidor se produce por la misma máquina y por medio de la pieza llamada *excéntrica f*, que en la figura 110 se

ve de lado; las figuras 115, 116, 117 representan la excéntrica vista

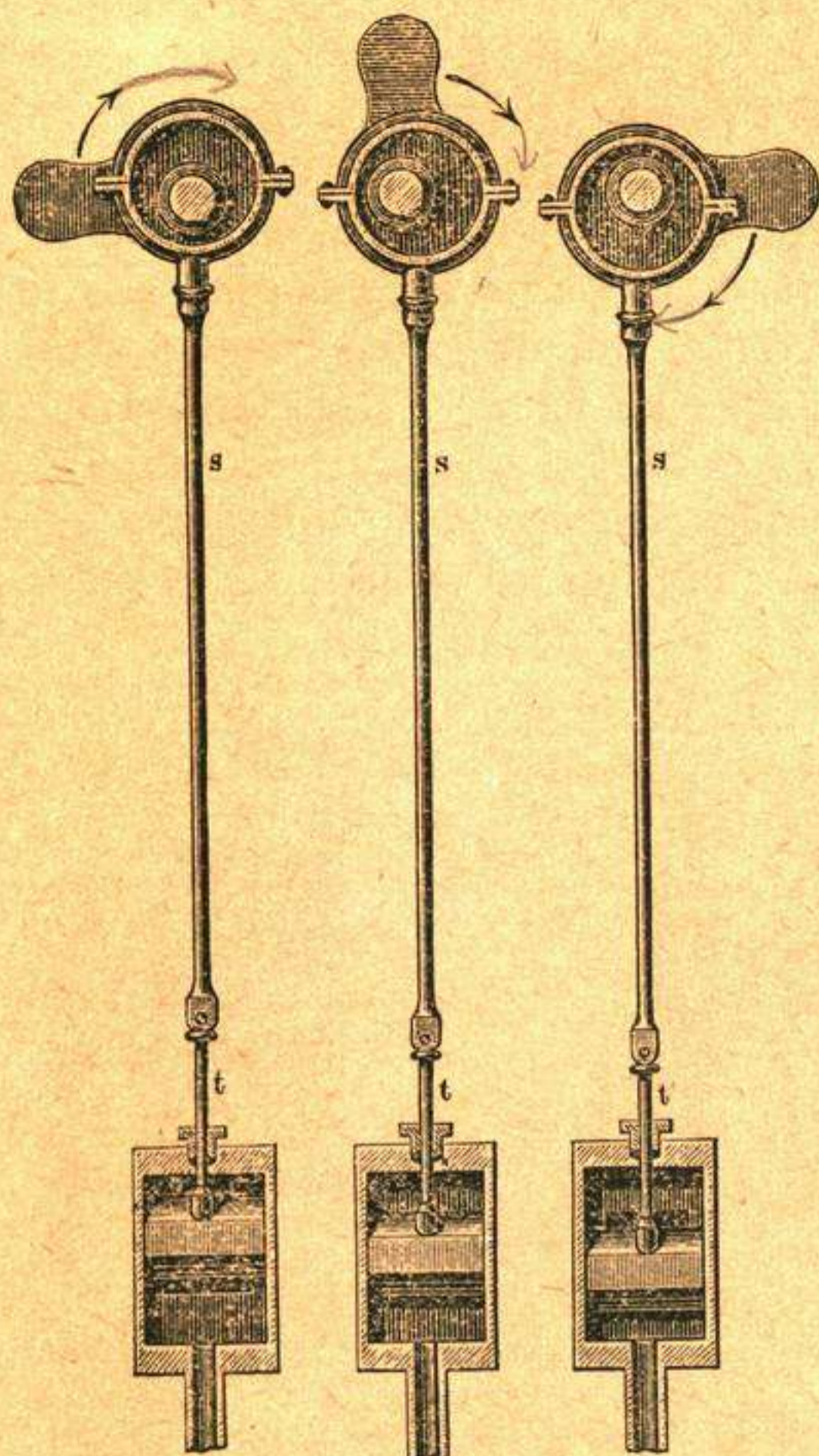


Fig. 115.

Fig. 116.

Fig. 117.

de frente en tres posiciones principales. La pieza llamada excéntrica consiste en un disco circular, atravesado y unido rígidamente con el eje principal de la máquina, y de tal modo unido á él, que el centro no está en el mismo punto que el del eje, por lo cual, y cada vuelta de éste, el centro de esta pieza describe una circunferencia cuya diámetro es justamente el trayecto que el pasador de distribución debe de recorrer en cada ida y vuelta de su movimiento alternativo.

Alrededor de este disco va un anillo, dentro del cual puede resbalar la excéntrica. El anillo se une á la varilla *s*, que á su vez se liga á la varilla *t* del distribuidor por medio de una articulación, y ya se comprende

fácilmente que el pasador ó distribuidor será arrastrado hacia arriba en la caja de distribución, mientras que el centro del disco, á causa del giro del eje, sube de su más baja posición á la más alta: inversamente el distribuidor va hacia su más baja posición, cuando el centro de la excéntrica viene de lo más alto á lo más bajo de su trayecto.

Si el vapor ha de entrar libremente en la parte de debajo del pistón, cuando éste llegue á la mitad del cilindro en su marcha ascendente, preciso es que el centro del excéntrico tenga su posición más alta, justamente cuando el brazo de la manivela está en posición horizontal (fig. 115). Cuando este brazo está en lo más alto de su carrera, es decir, en la vertical hacia arriba, entonces el centro del disco está á la misma altura que el del eje, de modo que el

distribuidor llega con esto á la mitad exacta de su carrera, y cierra todos los orificios (fig. 116) del cilindro. Cuando el pistón, marchando hacia abajo, llega á la mitad del cilindro, el brazo de la manivela vuelve á estar horizontal y el disco excéntrico toma su posición más baja, con lo cual el distribuidor llega también á lo bajo de su carrera, poniéndose en la posición (fig. 116), con lo cual queda libre la entrada del vapor de la caja á la parte alta de cilindro y encima del pistón.

Según que aumentan ó disminuyen, las resistencias que vence la máquina, así ésta se retarda en su marcha ó se acelera; estas perturbaciones son instantáneas y vencidas por el volante. Una disminución importante del trabajo y durante un tiempo apreciable, ocasionaría (supuesta la acción del vapor en condiciones invariables) una aceleración en la marcha de la máquina. Con el objeto de precaver esto, á saber: que la velocidad de la máquina no pase de cierto límite, se pone en el tubo de conducción del vapor una chapa ovalada como la sección del tubo, atravesada por un eje, á cuyo alrededor puede girar, la cual constituye una especie de *válvula*, por su figura se llama *de Mariposa*, y que por su giro permite que pase más ó menos vapor á la caja del distribuidor. El giro de esta chapa también lo origina y regula la misma máquina, y se ha conseguido por medio de un mecanismo que se llama *Regulador* de fuerza centrífuga y que consiste en lo siguiente:

El movimiento del eje principal por medio de ruedas dentadas en ángulos, se cambia en el movimiento de un eje vertical *a* (fig. 110), sobre el cual va un *péndulo cónico* *V*, que consiste en dos esferas pesadas unidas al extremo superior de la barra *a*, de tal modo, que se puedan separar una de otra por la fuerza centrífuga que se desarrolla en ellas por un giro rápido del eje *a*. Cuando esto ocurre, arrastran y levantan el anillo *h*, y éste arrastra hacia arriba á la varilla *b* (en la figura 110, esta varilla está indicada por una sola línea), y por este medio la *válvula de Mariposa* gira alrededor de su eje, dejando pasar tanto menos vapor á la caja de distribución, cuanto la máquina marcha más deprisa.

**Locomotoras.**—Son máquinas de vapor de alta presión, cuyo cilindro es horizontal.

La fig. 118 representa una locomotora en la posición en que más visibles son las piezas de su mecanismo. La masa y volumen principal de una locomotora los constituye la caldera de vapor, cuya sección está representada en la figura 109. El vapor producido en la caldera



pasa al espacio F, y es conducido de aquí por medio de tubos (que van á cada lado de la caldera, y que en la figura no se ven porque

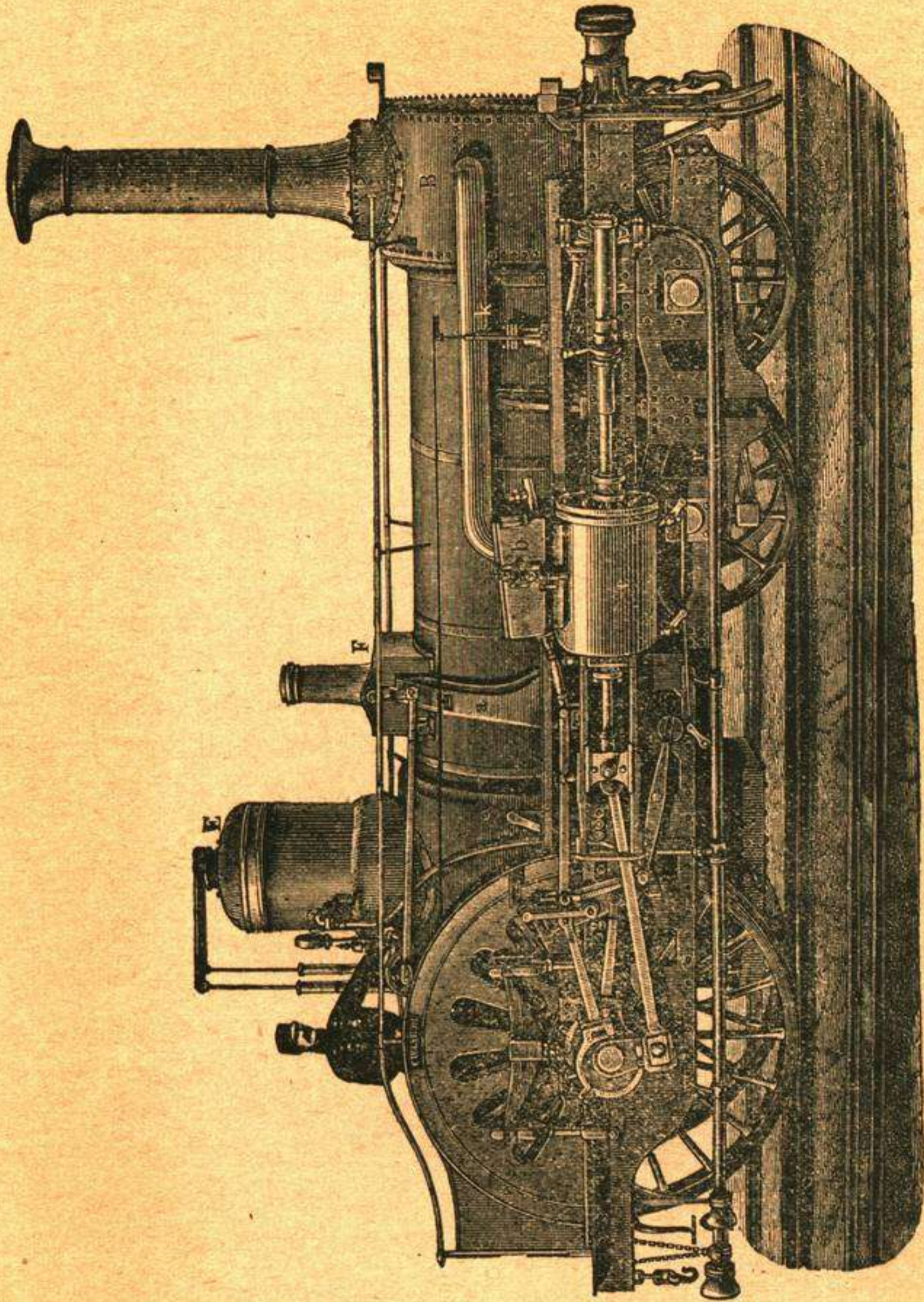


Fig. 118.

están debajo de las cubiertas *a* que son como unas cajas), á la caja de vapor *b*, en la que y contra la cara horizontal vuelta al suelo está el pasador distribuidor que hace penetrar el vapor una vez á un lado y otra al otro del cilindro *c*. En este cilindro es movido entonces un pistón tan pronto á un lado como al otro, y su movimiento se tras-

mite á una manivela, como se ha visto en las máquinas de vapor examinadas, con la sola diferencia que aquí el cilindro es horizontal, y tanto el pistón como su base van y vienen horizontalmente, en tanto que en las otras máquinas su dirección es vertical.

En la fig. 118 y á la izquierda del cilindro *c* se ven la biela y la manivela: el eje de ésta es á su vez el de las ruedas sobre que se apoya el aparato, y su giro ocasiona la traslación de todo el carro sobre que está el mecanismo.

La marcha del distribuidor es también aquí originada por discos excéntricos. En la figura, se ven dos, uno detrás de otro y cuya marcha difiere en 180°, de modo que simultáneamente están uno respecto del otro en dos posiciones extremas. La barra del excéntrico de delante está ligada al extremo de la parte alta, y el del excéntrico de detrás al extremo de la parte baja, de la *chapa* de hierro *f d* que pueda girar alrededor de su centro en plano vertical. Esta *chapa* toma por la marcha del mecanismo un movimiento de vaivén, de modo que *d* está en su posición más exterior ó hacia la izquierda, justamente cuando *f* está lo más echada hacia la derecha; (tal momento es el que en la figura se representa) y por un medio giro de la manivela se invierten las posiciones, siendo *d* la posición extrema hacia la derecha y *f* á la de la izquierda.

A esta *chapa* se articula uno de los extremos de la barra *hi*, que por el otro va unida á la del *aparato distribuidor*. Como se ha indicado, la figura representa el momento en que la parte *d* está más echada hacia la izquierda, y por tanto la barra *hi* y el pasador, también tienen la posición extrema de este lado: el vapor entra por consiguiente ahora en la parte de la derecha del cilindro y el pistón es impelido hacia la izquierda; así, la manivela y las ruedas giran con respecto al que mira la figura como las manecillas de un reloj: la consecuencia es que la máquina vaya hacia delante.

Si se quiere que fuese hacia atrás por un mecanismo especial se haría bajar el extremo *h* de la barra *hi* hasta que viniese *h* á coincidir con el extremo inferior de la *chapa d f*. Con esto, la marcha del pasador distribuidor es regida por el excéntrico de detrás, con lo que el sentido del giro de la manivela se invierte, y el movimiento de traslación que se produce es hacia detrás.

El vapor que ya ha prestado su trabajo es expelido por medio del tubo *h* á la chimenea 118 y 109.

El pistón que va y viene dentro del cilindro de vapor, lleva unida por su cara derecha una barra que entra y sale por una caja de

estopas que va en la tapa y á poca distancia entra en otro cilindro espeso de cobre, dentro del cual va el émbolo de la bomba *p* de inyección. Esta bomba aspira el agua por medio del tubo *r* del depósito del *Tender*, y la inyecta por el tubo corto *s* en la caldera, de modo que constantemente repona el agua que en ésta se consume por la producción del vapor.

La fig. 109, representa una sección vertical en el sentido de la longitud de la caldera. El hogar A donde se queman los materiales que se echan por la puerta D, va rodeado por todas partes de las paredes que están en inmediato contacto con el agua, y además por el lado derecho lleva una serie de tubos de hierro fundido, que atraviesan la masa de agua, y por los cuales pasan el aire y los gases calientes hasta llegar á la base de la chimenea B por donde escapan. Los dos tubos K que por ambos lados de la cámara de aire B inclinan sus bocas uno hacia la del otro, despiden el vapor que ya ha prestado su trabajo en el cilindro, con tal fuerza, que á causa de ella una parte del aire de la cámara sale con él. Esto produce una viva corriente de aire caliente desde el hogar A que actúa, calentando los tubos y manteniendo activa la combustión de aquél, como si la chimenera fuese de mucha mayor altura.

El vapor producido en la caldera se va acumulando en la cúpula E, de donde por un tubo ancho va á la caja F. Desde F parten los dos tubos que lo conducen á la máquina. La boca de estos tubos se puede cerrar por medio de una tapadera que el conductor puede abrir ó cerrar á voluntad por medio de la palanca *tu* (fig. 118), según que la máquina haya de moverse, ó de estar parada.

## LECCION 25

### Cuerpos iluminados

251.

**Luz.**—La experiencia nos muestra que la radiación de los cuerpos calentados se nos revela, no sólo por las percepciones del tacto, si que también cuando llegan á cierto grado de calor, por las de la *vista*:

para que podamos experimentar tales sensaciones, es preciso que *algo* venga del cuerpo, á esto llamamos *luz*. Si la luz falta, también falta la sensación correspondiente, y esta falta la nombramos *obscuridad*.

**Ondulaciones etéreas.**—La explicación de los fenómenos de la luz, y por tanto, la naturaleza de ésta, se ha fundado en dos hipótesis, conocidas con los nombres de *teoría de la emisión ó emanaciones* la primera, y con el de las *vibraciones ú ondulatoria* la segunda.

La teoría de la emisión supone que existe una materia luminosa de las condiciones atribuídas al éter, y que los cuerpos luminosos la reparten en partículas finísimas en todos sentidos, con tan extraordinaria velocidad, que en un segundo recorrería una de estas partículas un espacio de 315000 kilómetros.

La teoría ondulatoria supone que la facultad luminosa de los cuerpos consiste en un rapidísimo movimiento de sus *átomos ponderables*, y que la propagación de los rayos de luz se efectúa por medio de las vibraciones que comunican al éter.

Si, pues, el éter estuviese en reposo en todo el Universo, en todas partes dominaría la más completa obscuridad; pero conmovido de un modo eficaz en un punto, se propagan las ondas luminosas de allí en todos sentidos.

De estas dos hipótesis la generalmente seguida hoy es la segunda, pues la primera, no sólo ha sido insuficiente para explicar multitud de fenómenos de un modo satisfactorio, sino que sus consecuencias teóricas están en abierta contradicción con hechos experimentados: tales son, por ejemplo, todos los de interferencias de luz, en virtud de los cuales, una cantidad de luz, entrecruzándose en dirección determinada con otra cantidad de luz, produce disminución en la intensidad de iluminación y hasta obscuridad, como mostró Grimaldi; hecho que está en abierta oposición con que la luz sea materia luminosa, pues materia más materia no se comprende que resulte menos materia que tiene cualquiera de los sumandos, y aun menos comprensible es que de su adición resulte cero; en cambio, tal fenómeno es perfectamente explicable por la hipótesis de ser la luz un movimiento, en cuyo caso no sólo no repugna concebir que la interferencia de dos ondulaciones en fases opuestas anulen el movimiento, si que también bajo tales condiciones ha sido calculado teóricamente y producido el fenómeno: no menos decisivo fundamento para el abandono de la teoría de la materia luminosa ha sido la experiencia de Focault; en efecto, según las consecuencias precisas de las hipótesis, en virtud

de las cuales, la teoría de la emisión explicaba la marcha particular de la luz al pasar, por ejemplo, del aire al agua, se tenía que admitir que la luz se propagaba con más velocidad en el agua que en el aire: por el contrario, de los principios de la teoría ondulatoria se deriva como consecuencia inmediata que la luz, vibración del éter, ha de ser más lenta en su propagación á través del agua que del aire. Foucault verificó en una célebre experiencia que justamente ocurre lo que se infiere de la segunda teoría, y por tanto, lo contrario de lo que es consecuencia de la hipótesis de la primera.

Estos hechos ineludibles, y todos los hasta ahora observados y experimentados, están en completa conformidad con las consecuencias teóricas de la segunda hipótesis, y de aquí su general admisión por los físicos.

Por otra parte, nada más conocido de nosotros que el movimiento de un agente impresione nuestros sentidos, ya en forma de sonido, ya en la de calor, sin que materia alguna ponderable haya de conmovernos por su traslación, pues se vió por el experimento de las bolas de marfil cómo se propaga un movimiento sin que la materia se traslade.

La luz y el calor radiante son estudiados por algunos físicos como consecuencia de una misma causa, actuando en grados distintos, distinguiendo rayos de calor obscuro y luminoso: así, por ejemplo, una plancha de hierro, una vasija de porcelana, mientras no tienen ciertos grados de calor, sólo nos envían rayos que afectan nuestro tacto, pero no nuestros ojos; pero es sabido que calentados hasta esos estados que se llaman rojos, los grados de calor que antes eran oscuros pasan á ser luminosos, ó á afectar nuestra vista.

**Equivalente mecánico de la luz.**—Bajo la hipótesis admitida de consistir la luz en el movimiento de los átomos de éter, se ha buscado el medio de trasladarlo á otros cuerpos, haciéndolo perceptible por un cambio de lugar de éstos, ó en una palabra, que ocurrió lo probable que era que la luz pudiera trasformarse en un trabajo mecánico.

Julio Thomsen en Copenhague trató de determinar esta equivalencia, cambiando la luz en calor radiante, haciéndola que fuese absorbida por una superficie ennegrecida y no pulimentada. Del calentamiento que los rayos de luz (libres de los de calor radiante) producen, y conocido el equivalente mecánico del calor, calculó Thomsen el de la luz deduciendo que «los rayos de luz que en un segundo salen de la llama de una bujía de esperma de ballena, que

en este tiempo consume 8,2 gramos, son equivalentes á  $\frac{1}{35}$  kilogramos; esto es, equivalente á una fuerza capaz de elevar en un segundo á 1 kilogramo de peso á  $\frac{1}{35}$  de metro de altura (ó sea á unos 29 milímetros próximamente).

Este resultado muestra que los rayos de luz pueden prestar un trabajo mecánico reducido en relación al que pueden prestar los de calor, y de ahí el no tomar á los rayos de luz como fuente de trabajo mecánico.

**Velocidad de la luz.**—La luz no es *instantánea* en su propagación, por más que su velocidad sea tan extraordinaria que ninguna distancia considerada en la tierra es suficiente para que tarde un tiempo apreciable en recorrerla.

Cuatro métodos se emplean para medir la velocidad de propagación de la luz, dos de ellos fundados en principios y observaciones de Astronomía, y los otros dos en experiencias físicas.

Los primeros son debidos á Olaf Römer y Bradley, y los dos segundos á Fizeau y Foucault.

La conformidad (próximamente) de los resultados de las experiencias en los cuatro métodos, demuestran que la luz del sol, así como la de las estrellas fijas, ó de las fuentes luminosas terrestres, se propaga con una velocidad, en números redondos, de 301500 kilómetros por segundo. Las diferencias en las medidas astronómicas, se explica por falta de exactitud en la estimación del diámetro de la órbita de la tierra.

No es fácil formarse exacta idea de esta velocidad de propagación y se suelen presentar algunas comparaciones para ello; tal es, que tardando la luz en recorrer el espacio que hay de la tierra al sol 8 minutos y 13 segundos, una bala de cañón, animada de una velocidad de 400 metros por segundo, tardaría en recorrer la misma distancia doce años.

**Rayo luminoso.**—Generalmente se dice que la luz se propaga en *línea recta* y se llama *rayo de luz* la recta que une el punto luminoso con otro cualquiera del medio en que se propaga.

Estas no son más que las abreviaciones convencionales del principio de Huyghens, sobre la propagación del movimiento ondulatorio de un punto en un medio isotropo.

**Conductibilidad.**—Los cuerpos no *luminosos* ú *oscuros* se dividen en *opacos*, *diáfanos* y *traslucidos*.

*Opacos* son los que no dejan pasar luz á través de su masa. La *opacidad* depende siempre del espesor de los cuerpos, porque todos suficientemente adelgazados dejan algún paso á la luz. Así, por ejemplo, una lámina de oro de las que se usan para dorar pegada á un cristal, deja ver una luz verde azulada, cuando á su través se mira la claridad del cielo ó de una bujía. Lo mismo acontece con las maderas, rocas y demás metales en láminas muy delgadas.

*Trasparentes ó diáfanos* son los que dejan paso á la luz, y á través de ellos se puede distinguir claramente la forma de los objetos. Los gases, los líquidos y la mayor parte de los cuerpos cristalizados, se consideran como perfectamente diáfanos, tomados en masas pequeñas, porque entonces aparecen incoloros, y no sólo permiten ver á su través la forma, sino también el color de los objetos. Pero estos mismos cuerpos diáfanos parecen *coloreados*, cuando se consideran grandes masas, lo que prueba que absorben parte de la luz. Así, una gota de agua pura, parece perfectamente incolora, y una masa de agua con sólo dos metros de profundidad, aparece coloreada de un azul verdoso.

*Traslucidos ó semitrasparentes* son los que siempre dejan algún paso á la luz, pero á través de ellos no se puede distinguir la forma ó el color de los cuerpos.

**Sombra y penumbra.**—Una consecuencia de la propagación rectilínea de la luz, es que un rayo de ella que cae sobre un cuerpo opaco proyecta sombra, ó sea espacio no iluminado directamente por los rayos que caen sobre el cuerpo. La construcción de la sombra de un cuerpo es fácil de marcar cuando el luminoso se considera reducido á un punto, pues basta considerar trazadas desde éste, rectas que sean tangentes á la superficie del cuerpo, las cuales forman una especie de cono, en cuyo vértice está el punto luminoso, y prolongadas



Fig. 119.

las generatrices del otro lado del cuerpo opaco, marcan el contorno de su sombra (fig. 119.)

Si el cuerpo luminoso consta de muchos puntos, es decir, tiene una magnitud apreciable, los rayos que vienen de todos ellos quedan en parte interceptados, y además del espacio, detrás del cuerpo opaco en que no penetra rayo alguno directo del luminoso, hay otro rodeándolo, en el cual penetran algunos, y por tanto, tienen cierta

iluminación; esta media sombra, que así se produce y circunda á la otra, se llama *penumbra*.

Así, si la esfera A es la luminosa y B la iluminada (fig. 120), cla-

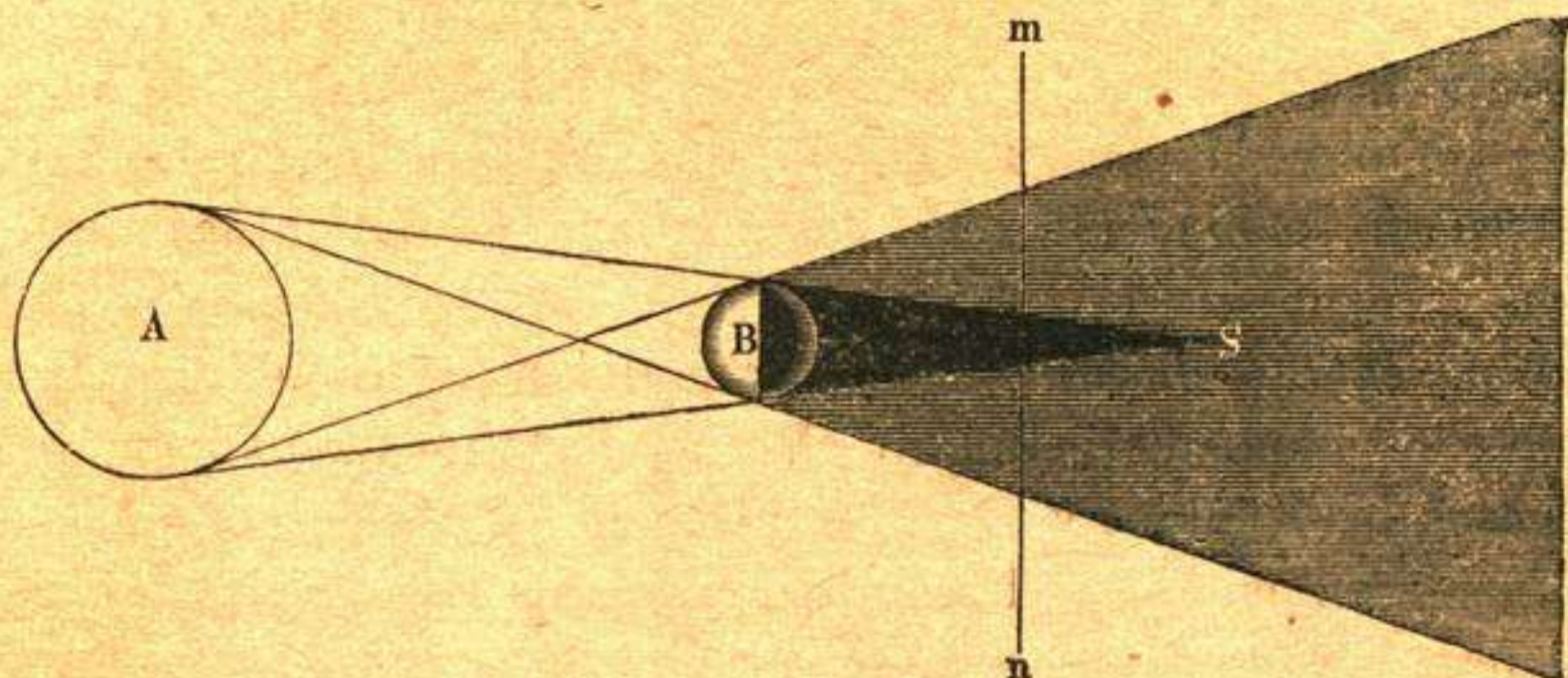


Fig. 120.

ramente se ve la sombra y la penumbra, pues proyectadas perpendicularmente sobre una pantalla *mn*, tendrían la figura 121.

La sombra propia de todos los cuerpos está siempre rodeada de la penumbra, que es muy estrecha en la proximidad del cuerpo, y crece y se hace visible al alejarse de él; de aquí que cerca está cortada en sus límites la sombra; y lejos el paso de la sombra á la iluminación completa, es sucesiva y como desvaneciéndose. Por esto la sombra de los cuerpos muy delgados y á alguna distancia del plano en que se proyectan es indeterminada, como la del extremo de la aguja de una torre sobre el suelo cuando la ilumina el sol, ó la de un cabello sobre una pantalla puesta de 10 á 15 centímetros de distancia.



Fig. 121.

**Fotometría.—Intensidad de la iluminación á diferentes distancias del cuerpo luminoso.**—Si se considera un punto luminoso en el centro de una esfera hueca, la superficie de ésta interceptará toda la luz que despide. Si el mismo punto luminoso se colocase en el centro de una esfera de un radio doble ó triple del de la anterior, las superficies de éstas interceptarían también toda la luz que partiese del centro. Ahora bien; las áreas de las superficies de las esferas están en razón directa de los cuadrados de sus radios, y como la misma cantidad de luz se reparte entre ellas, claro es que la que se recibe en la unidad de superficie de cada una de las dos esferas, están en la misma relación que sus superficies totales.

En otros términos: Sean  $E$ . y  $E_1$  las superficies de dos esferas cuyos radios son como 2 : 3; se tiene por Geometría  $E : E_1 :: 4 : 9$ . La

L. 52.



cantidad de luz que recibe un centímetro cuadrado de la superficie de la esfera E y de la esfera E<sub>1</sub>, cuando un mismo foco luminoso se coloca en su centro común, está evidentemente en razón directa de

las superficies; luego llamando L y L<sub>1</sub> á esta cantidad respectiva de luz que la misma unidad de superficie recibe en la de las dos esferas, será  $L : L_1 :: E : E_1$ , y por tanto,  $L : L_1 :: 4 : 9$ .

Y como los radios miden las respectivas distancias del punto luminoso á la superficie iluminada, se deduce que la *intensidad de la iluminación decrece en la relación del cuadrado de la distancia á que se aleja el foco luminoso*.

Para confirmar esta ley por la experiencia, se usa del siguiente aparato (figura 122). Un banco de madera de unos 2<sup>m</sup>,5 de largo, y graduado en uno de sus costados, lleva una pieza entre sus lados que sostiene una pantalla de papel de figura circular, y en cuyo centro hay una mancha producida por una gota de estearina.

La mancha ha de ser casi invisible para una igual iluminación por ambas caras, y para ello ha de ser pequeña. Otras dos piezas

análogas á la de la pantalla, y que, como la de ésta, pueden correr á lo largo del marco, están sobre el banco soportando cada una un candelero, donde pueden colocarse varias bujías.

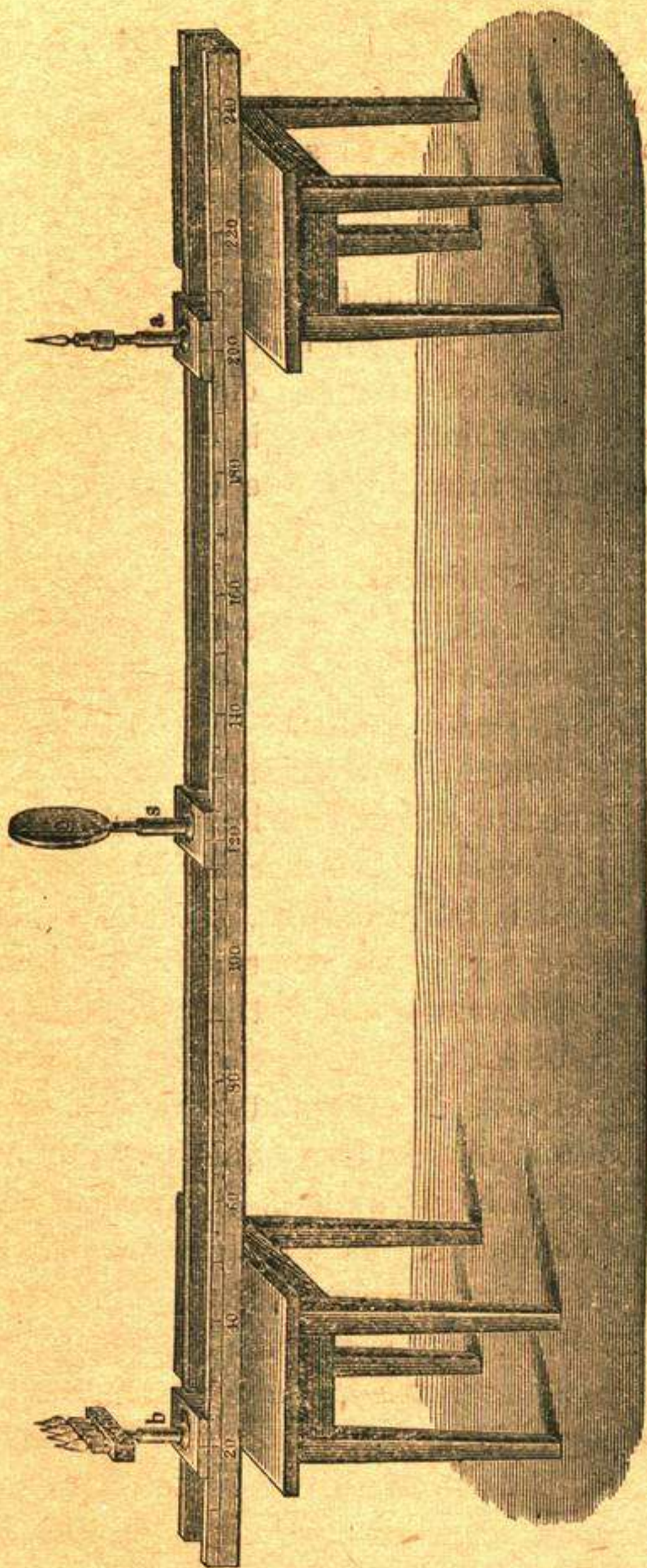


Fig. 122.

Para hacer la experiencia se pone el aparato en un recinto obscuro, y en cada candelero una bujía encendida, todo lo idénticas posible, colocándolos próximamente á 2 metros uno de otro; hecho esto, se mueve la pantalla, hasta que la mancha no se conozca; es decir, que mirada por uno y otro lado, no aparezca la mancha clara sobre obscuro, ni obscura sobre claro. Cuando tal acontece, es que ambas caras están iluminadas con igual intensidad. Si ahora se mide la distancia de la pantalla á los dos candeleros, se verá que es igual. Si después se colocan en el candelero de la izquierda de la pantalla, cuatro bujías iguales á las primeras, se ve que es menester alejarla de éste á doble distancia para que la iluminación sea igual por ambos lados, es decir, para que sin variar las demás circunstancias la mancha desaparezca. Por tanto, cuatro bujías á doble distancia dan una claridad sobre la pantalla de la misma intensidad que una sola á la mitad.

Si, pues, se llaman  $I$  é  $i$  las intensidades  $D$  y  $d$ , las distancias respectivas á que se produce igual iluminación, se tiene  $I : i = D^2 : d^2$ .

**Fotómetros.**—Llámanse así los aparatos ideados para comparar las intensidades de iluminación de focos distintos.

El anteriormente descrito es el conocido con el nombre de fotómetro de Bunsen: su uso como fotómetro consiste en lo siguiente: Escogida (como para toda medida) la luz cuya iluminación ha de servir de unidad (regularmente es la llamada bujía normal, que es una bujía de naturaleza, forma, dimensiones y pesos determinados de su substancia y de su mecha), y considerando como 1 la iluminación que produce sobre la pantalla, colocada á la distancia arbitraria  $d$ , se sitúa el otro foco luminoso al otro lado de la pantalla y se mueve sobre el banco hasta que llegue á una distancia de aquella  $D$ , tal que la ilumine por su lado, lo mismo que la luz unidad. Si, pues, se llama  $I$ , la intensidad de este foco, se tiene entre las intensidades  $I$  y 1; y las distancias respectivas  $D$  y  $d$  á que producen idéntica iluminación, la relación siguiente:  $I : 1 = D^2 : d^2$ ; y si se toma á  $d = 1$ , será, en fin,  $I = D^2$ ; cuyas magnitudes se miden la  $I$ , con la unidad bujía normal, y  $D$  con la longitud  $d$  por unidad.

## LECCIÓN 26

**Reflexión y difusión. — Reflexión regular.**—Si en una habitación obscura se deja penetrar por un agujero pequeño un haz de rayos solares que venga á incidir con una plancha metálica plana pulimentada, se observa generalmente que del punto en que incide en la lámina parece que sale un haz idéntico al que cae, y el cual, interceptado por un cuerpo opaco, dibuja en el mismo la imagen del sol (con más ó menos claridad, según el pulimento de la lámina), y como si directamente el haz hubiese caído sobre el cuerpo opaco sin el intermedio de la lámina.

Este haz se llama *reflejado regularmente*.

**Reflexión irregular ó luz difusa.**—Aún todavía el fenómeno presenta otra particularidad en algunos casos, y es que si se mira á la lámina desde lugar diferente á aquel por el en que pasa el haz *regularmente reflejado*, se ve la imagen del sol sobre ella; esto depende de que en el punto de incidencia del haz, parte de él se refleja irregularmente, es decir que allí se divide ó difunde á todos lados. Estos fenómenos tienen entre sí una relación recíproca en su manifestación; esto es, que si la lámina está muy bien pulimentada, aun cuando no sea un plano matemático perfecto y unido, el ojo no distingue entonces la poca luz *difusa* que se origina de la reflexión irregular, y por el contrario, la regular es más intensa y la imagen sobre el cuerpo en que incide el haz reflejado es casi tan brillante como si viniese sobre él directamente.

Viceversa, si la superficie está muy poco pulimentada ó mate, entonces la reflexión regular no aparece, sólo se percibe la *irregular ó luz difusa*, que es la que permite ver la lámina con claridad.

Así, pues, por la reflexión regular vemos generalmente el cuerpo luminoso; por la irregular vemos los objetos.

**Definición de espejos.**—Se llaman espejos todas las superficies pulimentadas que reflejan la luz regularmente. La generalidad de los cuerpos que nos rodean no tienen tales superficies pulimentadas, y por la difusión ó irregular reflexión de la luz se hacen visibles.

**Terminología de la reflexión.**—Para formular las leyes de la reflexión regular, explicaremos cierta terminología.

Se llama *rayo incidente* el que viene del cuerpo luminoso sobre el espejo; *rayo reflejo ó reflejado* la dirección que toma después de llegar al espejo; *punto de incidencia* aquel del espejo en donde concurren; *normal* es la perpendicular á la superficie del espejo en el punto de incidencia; *ángulo de incidencia* es el que el rayo incidente forma con la normal; *de reflexión* el que el rayo reflejado forma con la misma normal. La ley de la reflexión, cuando las ondas llegan oblicuamente contra un obstáculo fijo, es la siguiente:

**Ley de la reflexión de la luz.**—*El ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales, y ambos están en un mismo plano.*

Esta ley fundamental de todos los fenómenos de reflexión de la luz (que son muchos y muy importantes), se comprueba experimentalmente y desde muy antiguo con numerosos aparatos. Todos consisten en un espejo colocado en el centro, de un arco de círculo graduado, de modo que en él tenga su vértice el ángulo que forman los rayos de luz incidente y reflejado; por la graduación se ve siempre que la normal biseca ese ángulo, y la dirección de los rayos hacen ver que están en el plano del arco de círculo. También se deduce esta ley teóricamente, de la hipótesis ondulatoria del Eter.

**Espejos planos y curvos.**—La formación de las imágenes en los espejos, es una consecuencia geométrica de estas leyes y lo mismo todas sus derivaciones.

Las más sencillas son las que se ocupan de investigar las de los espejos planos y curvos esféricos. Para los que conocen la Geometría, bien conocidas son las formas á que estos nombres se refieren.

**Imágenes en los espejos planos.**—*La imagen de un punto luminoso sobre un espejo, se encuentra detrás de éste en la prolongación de la perpendicular bajada desde el punto al plano, y á una distancia igual á la del cuerpo que está delante.*

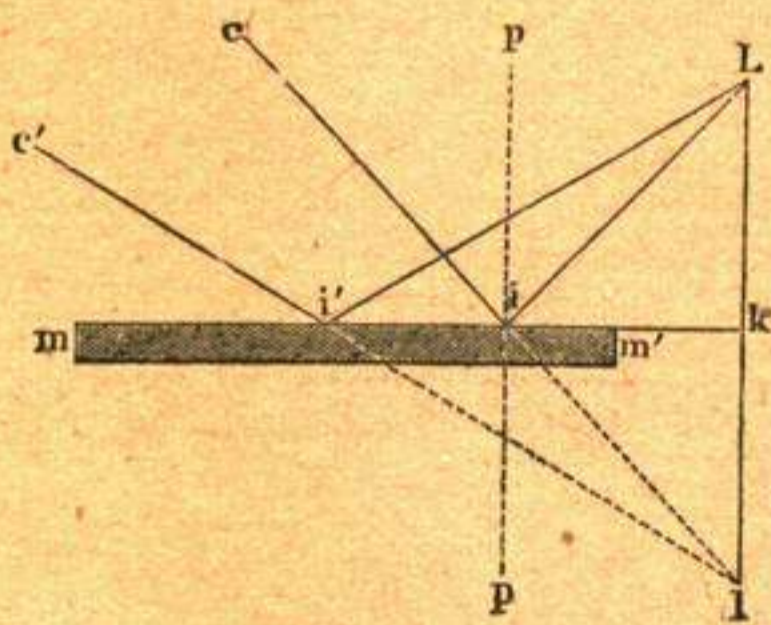


Fig. 123.

Esto es lo que en Geometría se llama *punto simétrico de otro*, respecto de un plano.

En efecto, si delante de un espejo  $mm'$  (fig. 123) se pone un punto luminoso  $L$ , que arroja sobre él infinidad de rayos tales como  $Li$ ,  $Li'$ , etc.,

los cuales se reflejan siguiendo la ley demostrada, según  $ic$ ,  $i'c'$ , etc. Si el ojo recibe alguno de ellos, á causa de la costumbre de ver en línea recta, le produce la misma sensación que si el punto  $L$  estu-

viere detrás del espejo en un punto tal como  $l$ ; y siempre lo ve en el mismo sitio, cualquiera que sea el rayo reflejado que reciba. Esta apariencia se llama la imagen del punto  $L$ .

La demostración de las condiciones geométricas de la posición de la imagen  $l$ , es la siguiente:

De la igualdad de los ángulos que los rayos incidentes y reflejados forman con la normal, se deduce la de los que forman con la intersección de su plano con el del espejo (por complementos). Luego  $Lik = cim$ ; y como  $cim = lik$  por opuestos, es claro que  $Lik = lik$ , por otra parte, el ángulo  $Lii' = lii'$ , como compuestos de ángulos iguales, luego los triángulos del mismo nombre son iguales, y por tanto  $Li = li$ , de aquí que los triángulos  $Lki$  y  $lki$  sean iguales (pues ángulo  $Lik = lik$  y los lados que le forman), luego los dos ángulos en  $k$  son iguales, y por tanto rectos, y  $Lk = lk$ .

Esto demuestra que la imagen  $l$  se encuentra sobre la prolongación  $kl$  (por detrás del espejo) de la perpendicular  $Lk$ , trazada á éste desde el punto luminoso y á igual distancia.

Fácil es ya de determinar geoméricamente la imagen dada por un espejo plano, de un cuerpo cualquiera, ya sea luminoso por sí ó que envíe rayos de la luz difusa, pues bastará construir la de sus diferentes puntos. En efecto (fig. 124), sea  $MN$ , un espejo plano;  $AB$ , una flecha delante de él. La imagen de la punta estará sobre la prolongación de la perpendicular  $Ak$  en un punto  $a$  tal, que  $ak = Ak$ ; lo mismo se determina la de  $B$  en  $b$ ; luego la imagen es  $ab$ . Ahora todo rayo de luz que parta de  $A$  y caiga sobre el espejo, se refleja, y recibido por el ojo, le representa como si el objeto estuviese en  $a$ ; lo mismo acontece á los que salen de  $B$ , que aparecen en  $b$ ; luego la flecha se ve por el observador como si estuviese en la posición  $ab$ . La imagen es, por tanto, *simétrica del objeto* con respecto al plano del espejo.

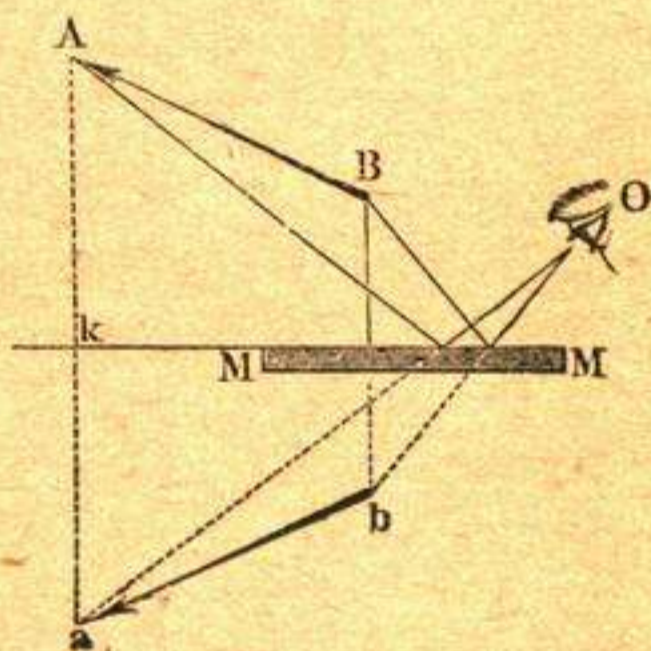


Fig. 124.

**IMÁGENES DE UN OBJETO ENTRE DOS ESPEJOS PLANOS.**—En general, cada imagen del objeto sobre uno de los espejos, viene á ser como un objeto para el otro, con esto se tiene un gran número de imágenes de un solo objeto.

Así, por ejemplo, si los dos espejos son paralelos, teóricamente el número de imágenes debería ser infinito; pero como en cada refle-

ción hay una pérdida de luz, el número de las imágenes en este caso es tanto menor cuanto más débil es la iluminación del objeto.

Si los dos espejos forman un ángulo, que es parte alícuota de  $360^\circ$ , se tiene un número de imágenes igual al denominador de la parte alícuota menos uno.

Por ejemplo: si el ángulo es  $\frac{1}{5}$  de  $360^\circ$  ó sea de  $72^\circ$ , se tiene  $(5-1)$  imágenes. Si los espejos son perpendiculares (ángulo de  $90^\circ$  ó  $\frac{1}{4}$  de  $360$ ), las imágenes serán 3.

El primer caso se representa en la figura 125, en que el objeto

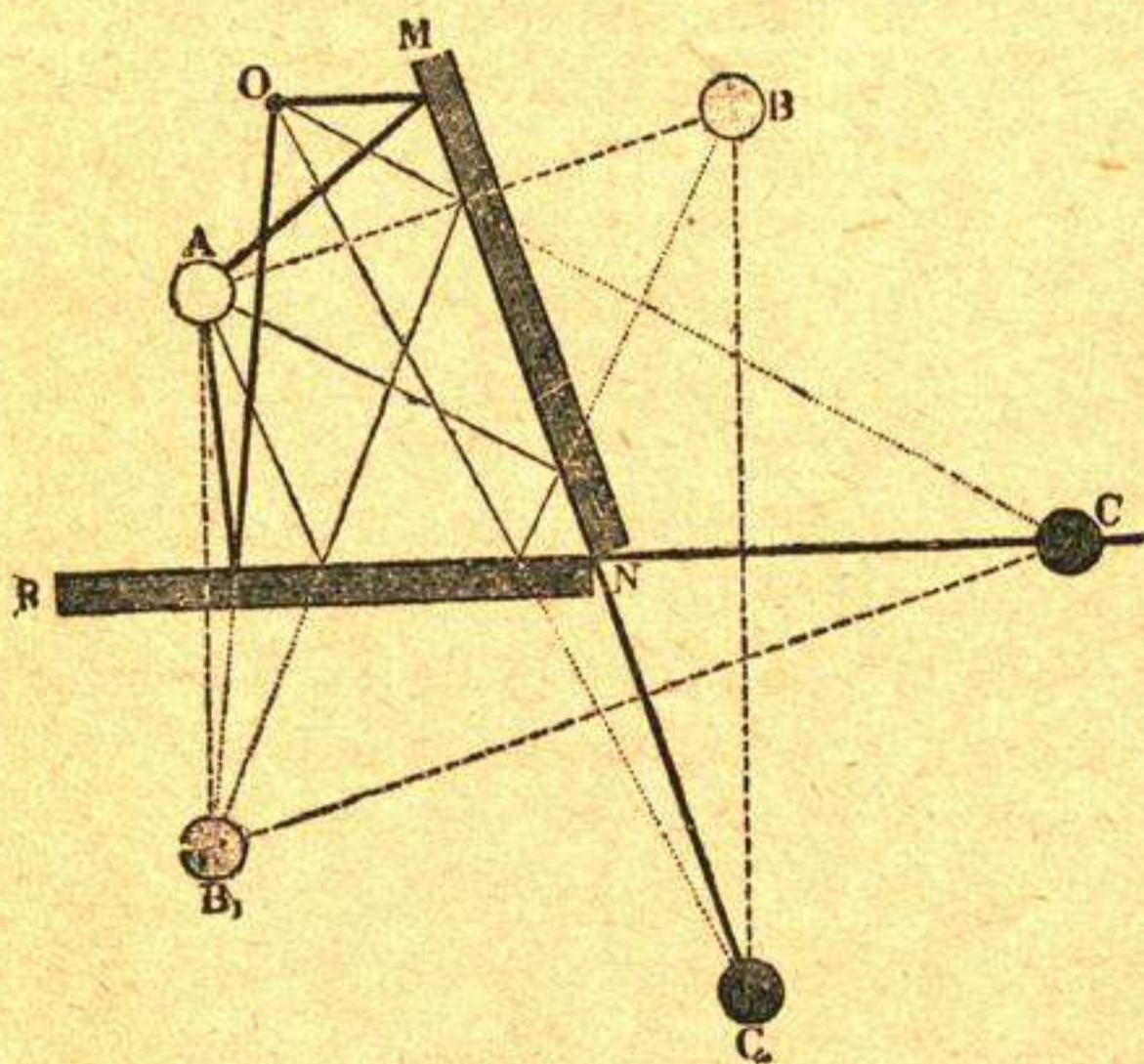


Fig. 125.

es A, y sus imágenes dadas por los dos espejos angulares MN y RN, son B, B<sub>1</sub>, C, C<sub>1</sub>.

Los puntos correspondientes de estas imágenes múltiples y del objeto, están en una circunferencia, cuyo centro es el vértice del ángulo de los espejos, (considerando esto, en cada plano determinado por los rayos de un punto y los reflejados).

## LECCION 27

Llámanse *espejos curvos* aquellos en que la superficie reflejante es curva.

Los más usuales son los llamados *esféricos*, ó sean aquellos cuya superficie se puede considerar que es parte de la de una esfera, cortada por un plano: si la superficie reflejante es la convexa, se llaman *espejos convexos* ó de *dispersión*, y si es la cóncava, se nombran *espejos cóncavos* ó de *convergencia*.

En los espejos curvos para investigar geoméricamente la marcha de los rayos luminosos, después de su reflexión en la cara del espejo,

se considera el elemento infinitamente pequeño de superficie en que incide el rayo, como parte del plano tangente á la superficie en ese punto, que es el de contacto, y como normal á la superficie curva, la perpendicular al tal plano tangente en el punto de contacto: después de estas consideraciones, basta aplicar las leyes de la reflexión regular, á la sección del espejo por un plano que pasa por el centro y eje; esto es lo que se representa en los dibujos; pero claro es que se debe considerar aplicado á las infinitas secciones que constituyen el espejo, ó lo que es lo mismo, que lo que pasa en la sección representada, si se hace girar sobre el eje, es lo que ocurre en el espejo con los haces cilíndricos ó cónicos de rayos incidentes.

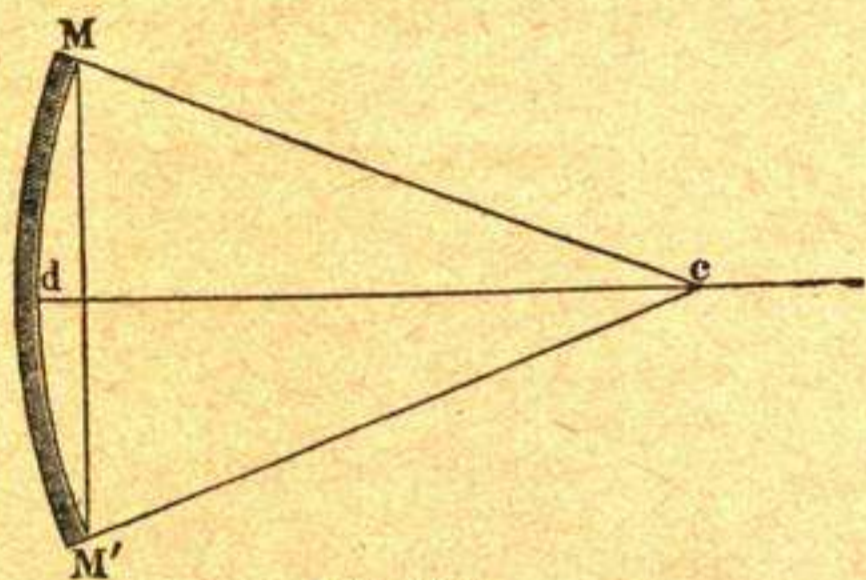


Fig. 126.

Esto supuesto (fig. 126), si  $c$  es el centro de la esfera de cuya sección por el plano  $MM$  ha resultado el espejo curvo, se llama **EJE PRINCIPAL** del ESPEJO, á la recta  $cd$  bajada desde el centro perpendicularmente al plano  $MM'$  de sección y el punto  $d$  en que toca al espejo se dice **VÉRTICE** de éste.

**ABERTURA** del espejo es la recta  $MM'$ , que es uno de los diámetros del círculo de sección: en la práctica, esta abertura es muy pequeña en relación al radio de la esfera.

**EJE SECUNDARIO**, es toda recta que pasando por el centro de curvatura toca en el espejo. Es claro, que en los espejos curvos esféricos, la dirección de la **NORMAL** en todo punto de incidencia, es la que marca el radio de la esfera ó su prolongación.

**Reflexión sobre un espejo curvo esférico convexo de los rayos de luz de un punto.** —

**PRIMERO.** Si los rayos incidentes sobre un espejo *convexo* vienen paralelos al eje principal (fig. 127), después de refle-

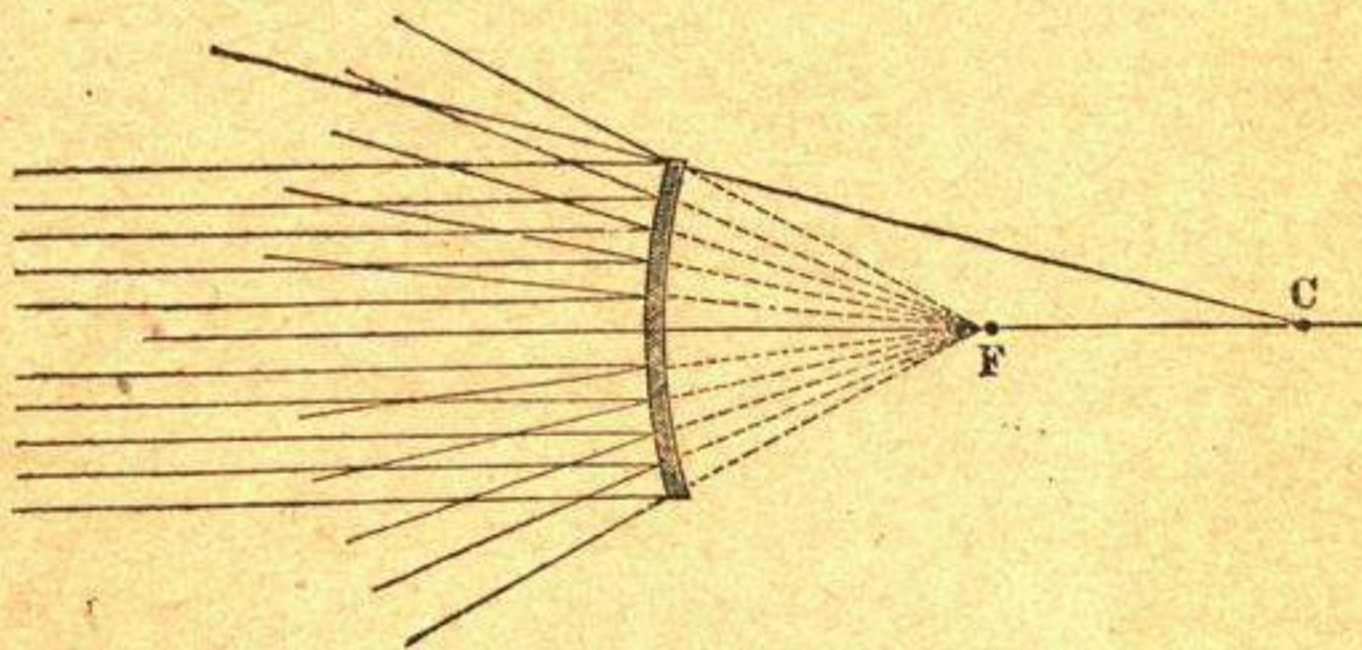


Fig. 127.

jados, salen divergentes y como si proviniesen de un punto  $F$ , situado en la parte cóncava del espejo, sobre el eje y á la mitad de la dis-

2.54.

tancia desde el centro de curvatura C, al espejo. Este punto se llama *Foco principal de divergencia*.

SEGUNDO. Si los rayos inciden paralelos entre sí, pero en otra dirección cualquiera que la del eje principal, también después de reflejados salen divergentes, y como proviniendo de un punto situado en el *eje secundario correspondiente* (entendiendo que se llama así á la recta trazada por el centro la curvatura paralela á la dirección de los rayos paralelos incidentes), también á la mitad de la distancia entre el centro y el espejo. Este punto es un *Foco de dispersión secundario*.

Estos haces de rayos incidentes paralelos se consideran provenientes de un foco luminoso situado á distancia infinita del espejo, por ejemplo, del sol.

TERCERO. Si el punto luminoso está á distancia finita del espejo sobre el eje, por ejemplo (fig. 128), en A, después de reflejados, divergen como provenientes de un punto *a*, situado en el lado cóncavo sobre el eje correspondiente (que es la recta que une á A con el centro C), y más cerca del espejo que el foco *F'* respectivo. Entre las distancias del punto *F'* á los A, *a* y C hay la relación  $CF'^2 = AF' \times aF'$ ; es decir, que el *producto de las distancias del foco de dispersión respectivo, al punto luminoso, y al punto de que parezcan provenir después de reflejados, es igual al cuadrado de la mitad del radio*.

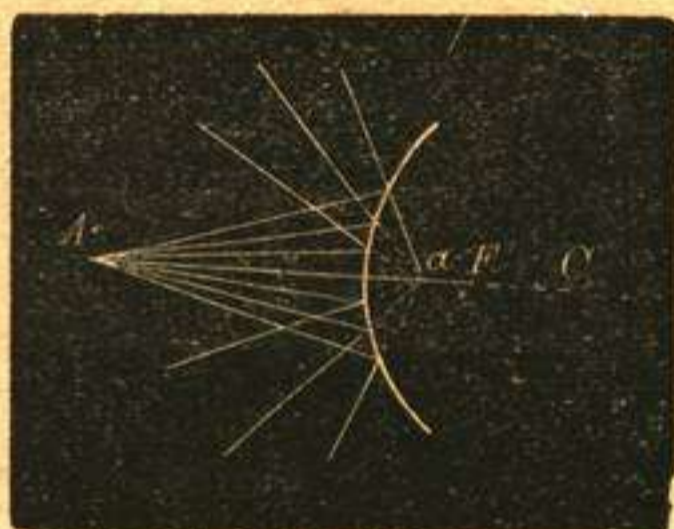


Fig. 128.

**Imágenes en los espejos convexos.**—Las imágenes en los espejos convexos esféricos se obtienen gráficamente, construyendo la de los puntos que determinan el objeto. De tales construcciones resulta:

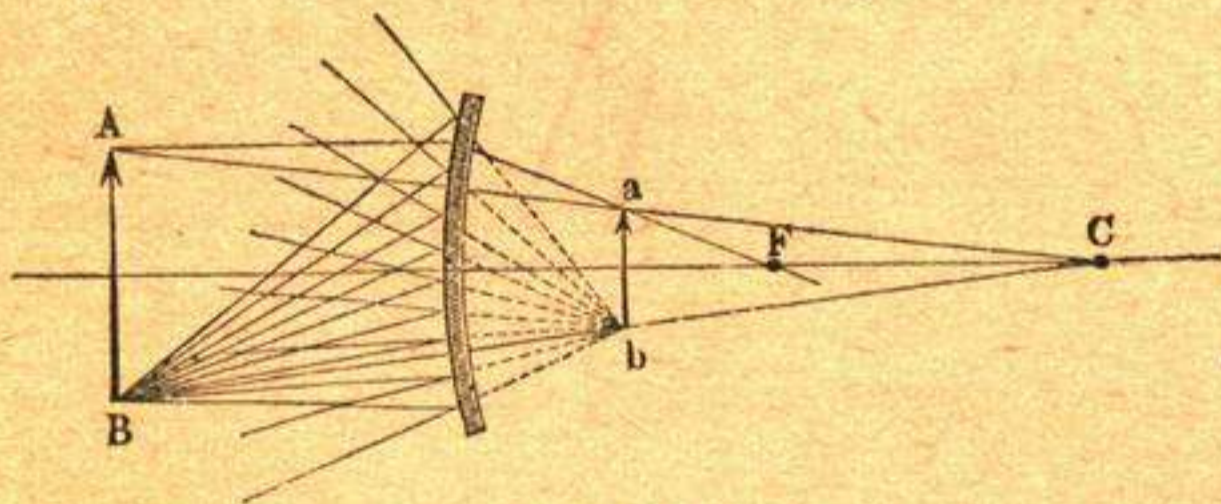


Fig. 129.

La imagen *ab* (figura 129) de un objeto AB, puesto delante del espejo á distancia finita, aparece detrás (ó sea en el lado cóncavo) derecha y menor.

Cuanto más se aproxima el objeto al espejo, su imagen también se aproxima por el otro lado, y crece, pero siendo siempre menor que el objeto.

La construcción para hallar la imagen *ab* de un objeto AB, consiste



en hallar la de los puntos que le determinan; y para la de éstos si se trata, por ejemplo, de la del A, se dirá: la imagen de A precisamente ha de estar en el punto en que se corten las direcciones (después de reflejados) de todos los rayos que van desde A al espejo; mas para fijar tal punto de concurrencia, basta hallar el de *dos rayos*; sean éstos: primero, el que partiendo de A va al espejo en la dirección de la normal del punto de incidencia; ó lo que es lo mismo, el que se dirige al centro de curvatura; como el AC, pues tal rayo ha de aparecer reflejado en su prolongación, luego la imagen *a* del punto que se busca ha de estar sobre alguno de la recta AC. El segundo rayo que se considera es el que partiendo de A va paralelo al eje, cuyo rayo después de reflejado, tiene la dirección como viniendo del foco de dispersión; por tanto, la intersección de las dos direcciones y determina el punto *a*. De un modo análogo, se determinaría la del B; y de la marcha empleada, se deduce la regla antedicha para la posición y tamaño de las imágenes respecto del objeto en los espejos *curvos esféricos convexos*.

**Imagen de un punto en los espejos cóncavos esféricos.**

PRIMERO. Todos los rayos incidentes en el espejo paralelamente entre sí, después de reflejados, pasan por un punto situado sobre el eje (principal ó secundario) correspondiente y á la mitad de la distancia entre el centro de curvatura y el espejo.

Este punto se llama FOCO, que se dice PRINCIPAL ó SECUNDARIO según el eje sobre que esté. Tal se representa (fig. 130) en el rayo *ab* pa-

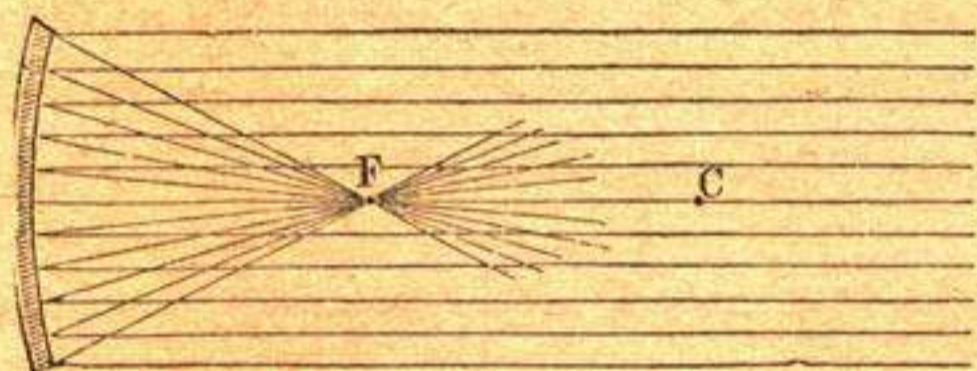


Fig. 130.

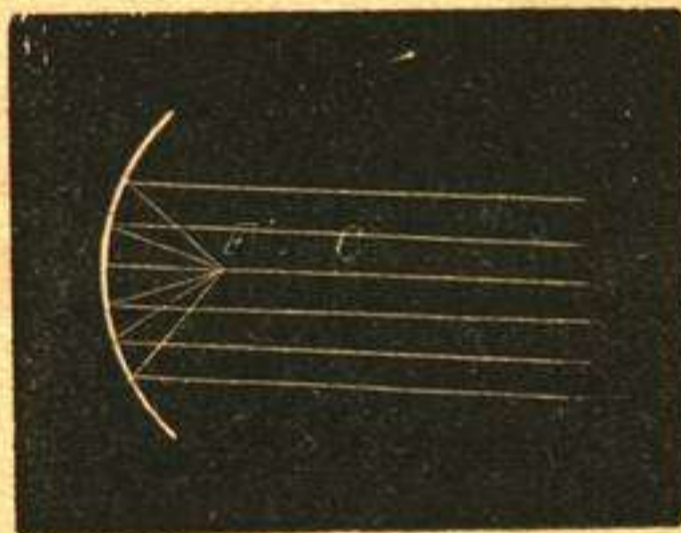


Fig. 131.

ralelo al eje principal que va á pasar por F, y en la fig. 131 por los que van á pasar por F'

SEGUNDO. Todos los rayos que vienen de un punto A (fig. 132) situado á distancia finita del espejo, después de reflejados, pasan por un punto *a* situado sobre el eje (principal ó secundario) en que esté situado el A. La posición del punto *a* está siempre hacia el mismo lado del foco del eje correspondiente que el luminoso A, y ligado por

L.S.S.

la relación  $FA \times Fa = CF^2$ ; de esta regla general se deduce: que si

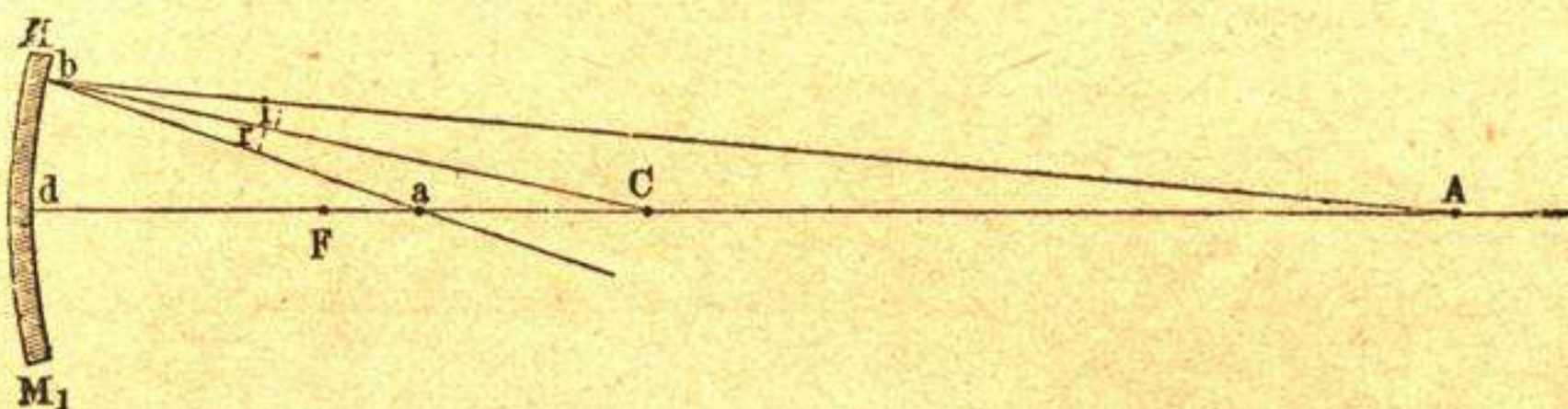


Fig. 132.

el punto luminoso A se pone entre el foco y el espejo (fig. 133), su

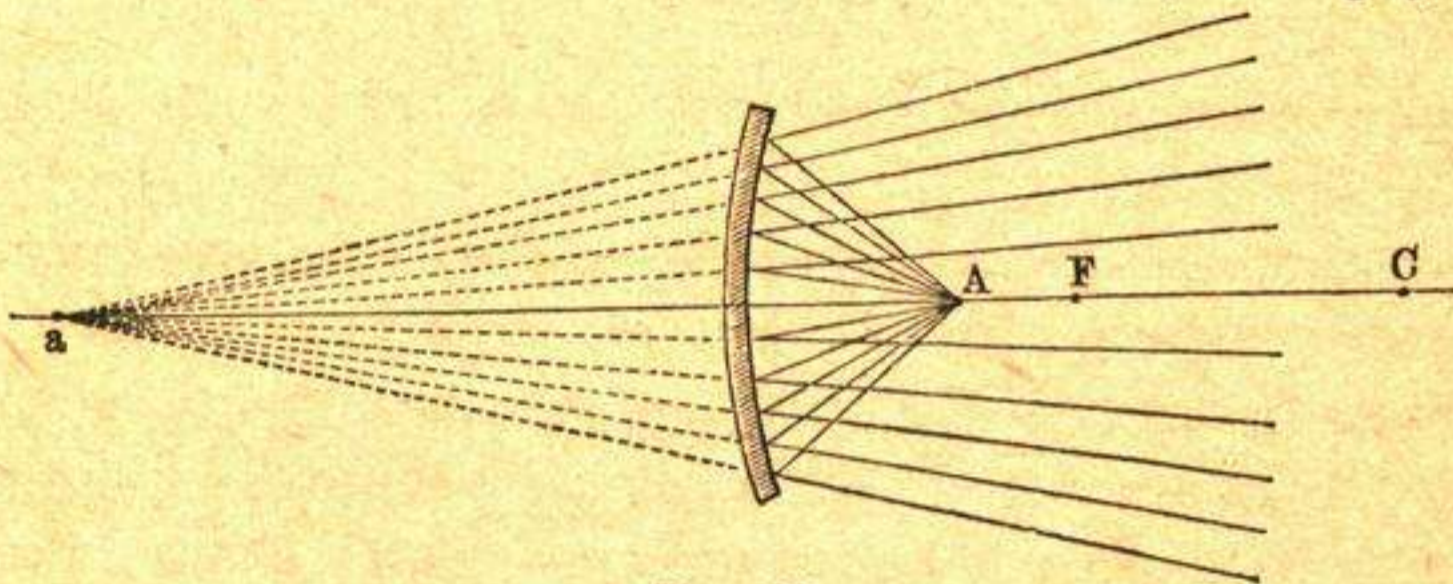


Fig. 133.

imagen  $a$  está hacia el otro lado del espejo; que si el punto A se pone en el mismo foco, los rayos reflejados sa-

len paralelos á su eje; que si el punto  $a$  retrocede desde el foco al centro de curvatura su imagen va también retrocediendo hacia el centro hasta que el punto luminoso é imagen se confunden cuando el primero está en el centro; por último, si el punto luminoso, alejándose del espejo, se pone más allá del centro de curvatura, su imagen retrocede desde el centro hasta el foco.

**Imágenes en los espejos esféricos cóncavos.**—De estas leyes se deducen las construcciones geométricas necesarias y suficientes para tener gráficamente la imagen de un objeto puesto delante de un espejo cóncavo esférico.

PRIMERO. Un objeto AB, (fig. 134) puesto entre el foco y el espejo

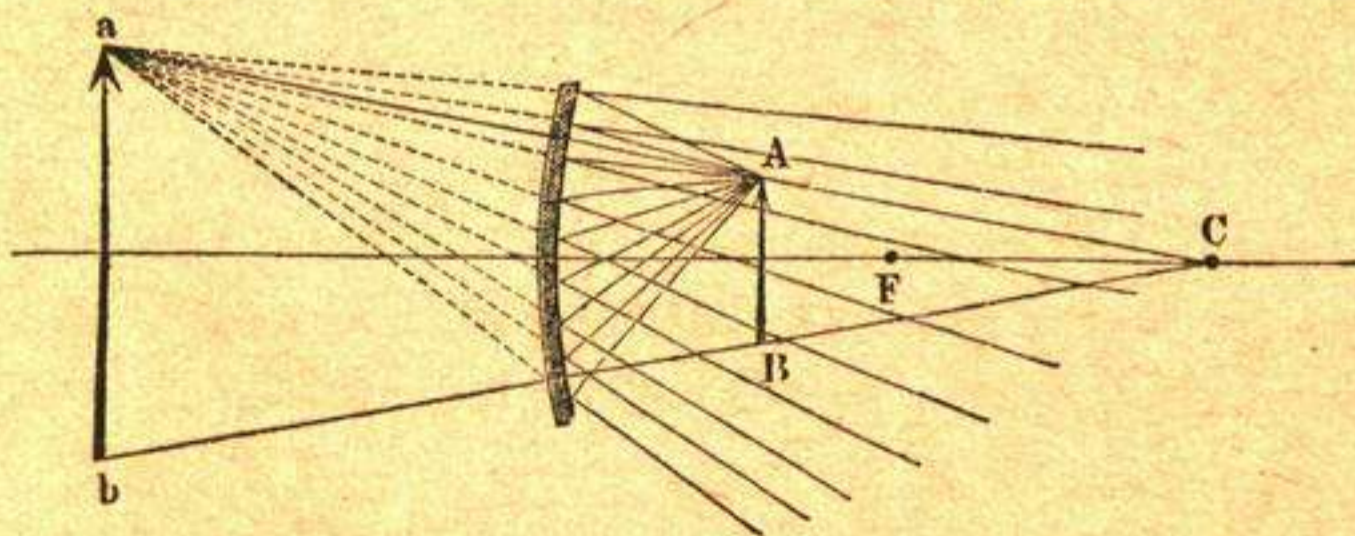


Fig. 134.

da una imagen  $ab$  derecha mayor y al otro lado del espejo.

SEGUNDO. Un objeto AB, (figura 135) puesto entre el foco y el centro, da

una imagen  $ab$ , mayor invertida y del mismo lado del espejo.

TERCERO. Un objeto *ab* (fig. 135) puesto más allá del centro de curvatura, da una imagen *AB* menor invertida, y entre el centro y el

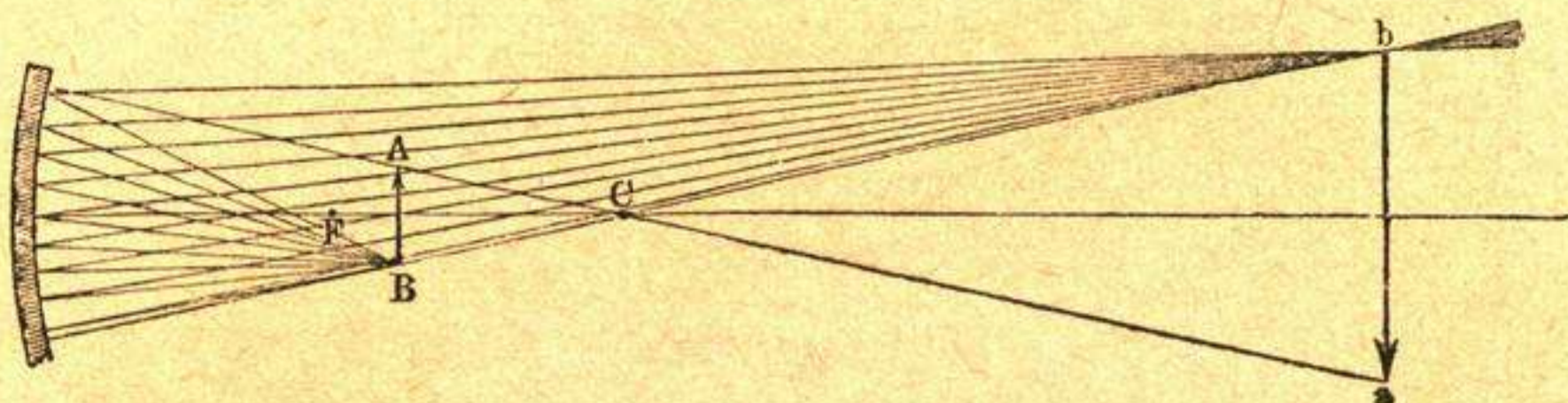


Fig. 135.

foco. Si el objeto se aleja mucho del espejo, su imagen viene próximamente sobre el foco.

Indicaremos también aquí las consideraciones que llevan á construir las imágenes de los puntos que determinan la de un objeto.

Sea, por ejemplo, (fig. 135) el objeto *AB*: la imagen del *B* se encuentra en el punto en que después de reflejados sobre el espejo se encuentran todos los rayos que parten de *B*; mas para hallar tal punto, basta considerar la dirección de dos rayos. Uno de ellos, sea el que incide en la misma dirección que el radio de curvatura ó normal *CB* que pasa por *B*: es claro, que después de su reflexión vuelve en la dirección en que incide; así, pues, el punto que se busca estará en la prolongación de la línea *CB*; también es evidente que si se traza desde *B* el rayo que incide paralelo al eje correspondiente, después de reflejado, va á pasar por el foco *F* correspondiente; si, pues, se traza esta dirección reflejada por los dos puntos dados, (de incidencia y foco correspondiente) y se prolonga, su intersección con la dirección *CB* dará el punto *b*, imagen del *B*. Lo mismo se halla la del *A*.

**Imágenes virtuales y reales.**—Todos los rayos que de un punto luminoso caen sobre un espejo plano son reflejados de tal modo, que aparecen como si provinieran de un punto colocado detrás del espejo; es decir, como un haz divergente de un punto. Pero éste no existe, ni jamás se reúnen allí los rayos que proceden del cuerpo; es mera ilusión del ojo que recoge los rayos reflejados. La imagen que se ve en la prolongación de estos rayos es aparente, ó según la terminología usada, *virtual*.

Por el contrario, en los casos 1.º, 2.º y 3.º que hemos considerado en los espejos cóncavos, todos los rayos que proceden de un punto del objeto, real y efectivamente por su reflexión en el espejo, se han re-

unido y vuelto á coincidir en un punto donde pintan la imagen de él. Esta se llama *real* por diferencia con la aparente de los espejos planos.

Si en el lugar donde se reúnen los rayos por reflexión de un espejo cóncavo, es decir, donde se produce la imagen real, se coloca una pantalla (plano de papel ó tela blanca ó de cristal deslustrado), sobre ella se pinta, y se comporta, respecto del ojo, como el objeto mismo, porque los puntos de la pantalla más iluminados por la concentración de los rayos, se distinguen de los demás, difunden la luz en todos sentidos y se hacen perceptibles á la vista, aun cuando no reciba ésta directamente los rayos reflejados por el espejo.

Por tanto, las imágenes reales son visibles de dos maneras distintas; una recogiénolas, como se ha dicho, sobre una pantalla, y la otra recibiendo directamente en el ojo los rayos reflejados en el espejo.

**Error de esferoicidad y cáustica por reflexión.**—Hemos dicho que los rayos paralelos al eje principal ó á uno secundario se reúnen en un punto de éstos llamado *foco principal de los espejos cóncavos*, pero bajo el supuesto de ser éstos de corta amplitud; pero si el espejo tiene más de  $6^\circ$  á  $8^\circ$ , por ejemplo (fig. 136), los rayos que inciden muy

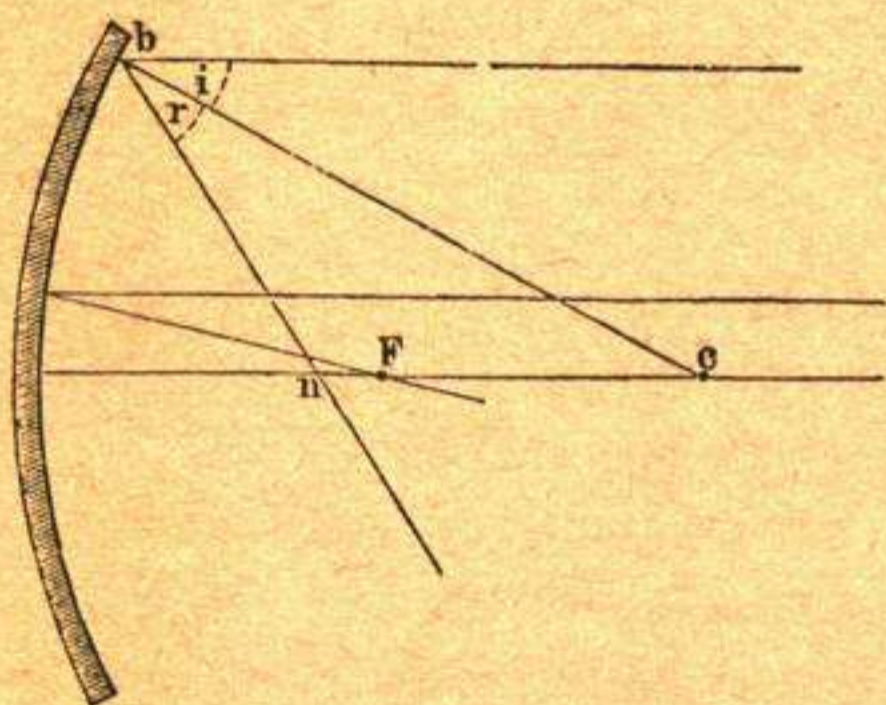


Fig. 136.

cerca de los bordes, dan, para los ángulos  $i$  y  $r$  de incidencia y reflexión, un valor apreciable, lo mismo que para la diferencia entre el radio de curvatura y la suma de los lados  $nc$  y  $bn$ : el punto  $n$  se acerca al espejo más que el foco  $F$ , que es donde se reúnen los rayos que caen más hacia el centro del espejo. Esta falta de coincidencia en un mismo punto de todos los rayos pa-

ralelos (después de reflejados) que caen sobre el espejo, se llama su *error de esferoicidad*.

Si conforme con las leyes de la reflexión se construye en este caso la de los diferentes rayos paralelos al eje, se tiene, representando gráficamente las intersecciones de cada dos cercanos á los bordes, por la fig. 137, que los puntos de intersección están tanto más próximo cuanto más rayos se consideren, y uniéndolos por un trazo continuo constituyen una línea curva plana que se llama *cáustica por reflexión*.

Como la misma línea se origina en los infinitos planos en que se

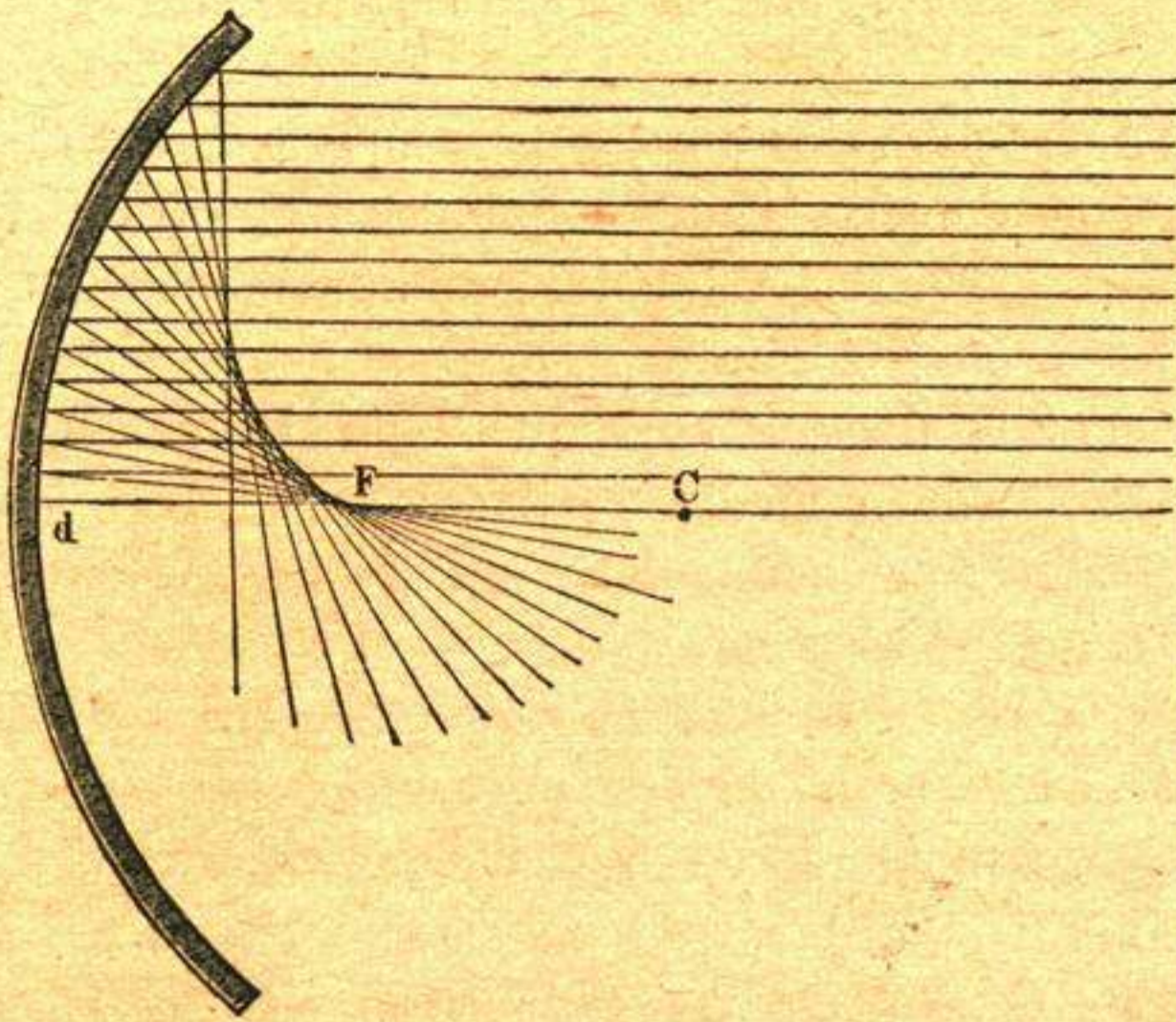


Fig. 137.

pueden considerar que caen sobre el espejo cóncavo esférico los rayos paralelos, la reunión de todas ellas forman una superficie curva que se llama *superficie cáustica*. Esta superficie nos la podemos representar, engendrada por la revolución de la línea curva cáustica, alrededor del eje principal; tiene una for-

ma como de corazón, y su vértice en el foco principal; en ella es donde la intensidad de la luz es mayor.

## LECCION 28

L. 16.

**Dióptrica: refracción de la luz** es la desviación que sufre un rayo luminoso en un medio diáfano, en el cual penetra, respecto de la dirección rectilínea que traía, en el medio anterior en el cual llega.

Esto acontece siempre que ambos son de distinta densidad: muchas son las experiencias que manifiestan este fenómeno, por ejemplo, si se pone (fig. 138) en una vasija vacía una moneda, de modo que los

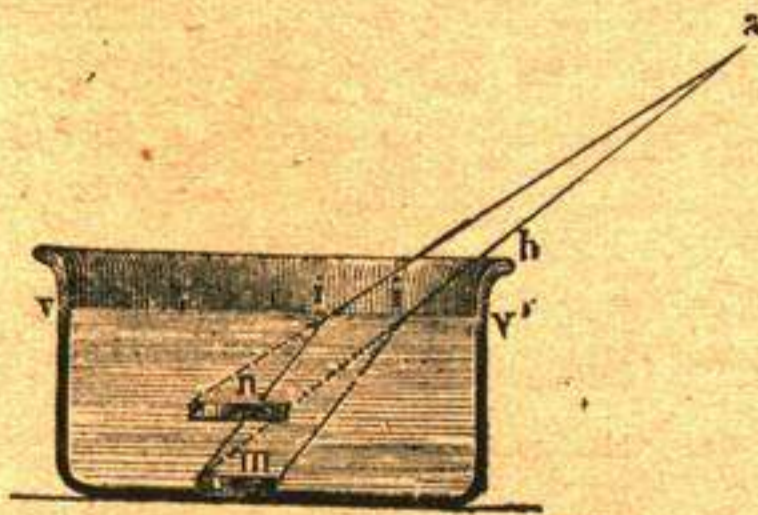


Fig. 138.

rayos que van en la dirección *ma* tropiecen con los bordes y la oculten al ojo situado en *a*; si se echa agua, la moneda se ve desde *a*, y como si la moneda ni el ojo han variado de posición por echar agua en la vasija, claro es que si se hace visible es porque el rayo rectilíneo *mi*, cuando marcha por el agua, al salir al aire, se ha quebrado en *i*, tomando en el aire la nueva dirección rectilínea *ia*.

La visión ó imagen de la moneda la ve el ojo en la prolongación del rayo refractado  $ia$ , ó sea en  $n$ , más alta en este caso de lo que está en realidad.

**Terminología** (fig. 139).—Sean dos medios diáfanos de distinta densidad, tales como aire y agua,  $ln$  un rayo de luz incidente oblicuamente sobre ella; el punto  $n$  se llama de *incidencia*; la dirección  $ns$ , que toma el rayo en el nuevo medio, se llama *rayo refractado*; la perpendicular  $p'p$  á la superficie en el punto de incidencia se llama la *normal*, y los ángulos  $i$  y  $r$ , que respectivamente forman con ella en cada medio el rayo incidente y el refractario, se llaman *ángulos de incidencia y de refracción*.

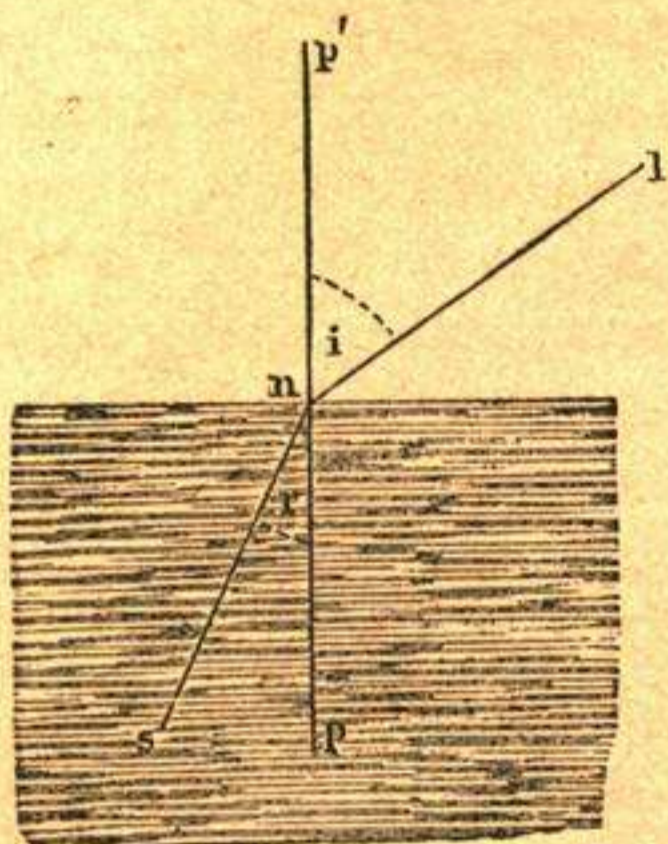


Fig. 139.

**Índice de refracción.**—Entre estos dos ángulos existe, para cada dos medios, una relación constante y determinada,

la cual se expresa por la de sus senos, tomando el radio por 1 y dividiendo el del ángulo de incidencia por el del ángulo de refracción. Así, por ejemplo, al pasar del aire al agua, que es el caso representado por la fig. 139, esta relación es  $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$ , y siempre tiene el mismo valor

para las mismas substancias, cualesquiera que sean los ángulos; ha bastado, pues, medirlos en un caso para reducir á números este quebrado simbólico. Así, en el supuesto del radio igual 1, se tiene para el aire y agua que  $\text{sen } i=4$ , entonces  $\text{sen } r=3$  y  $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{4}{3}$ .

Este número  $\frac{4}{3}$  se llama el *índice de refracción* del aire al agua, y siendo como es constante para todos los casos, es decir, para todas las inclinaciones en que caiga el rayo incidente del aire al agua; si se designa por  $n$ , se tendrá la igualdad  $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n = \frac{4}{3}$ ; y como  $\frac{4}{3}$  próximamente es igual á 1,334, se puede escribir  $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = 1,334$ . Las leyes de la refracción tienen también su deducción teórica, según la hipótesis de la teoría ondulatoria.

NOTAS. 1.<sup>a</sup> Si la dirección de un rayo de luz es perpendicular á la superficie de separación entre los dos medios, á pesar de que en

ellos tenga distinta elasticidad el éter, su marcha, á través del segundo medio, no se desvía de la dirección que tiene en el primero, porque siendo  $\text{sen } i = n \times \text{sen } r$ , si  $i = 0$  se deduce  $r = 0$ , es decir, que el ángulo de refracción es nulo.

2.<sup>a</sup> Entre los medios de caras paralelas, los rayos de luz pasan sin desviarse de su primera dirección; en efecto, siendo las normales en  $n$  y  $n'$  (fig. 140) paralelas, y no debiéndose de alterar la marcha del rayo antes de entrar, dentro y fuera del medio de caras paralelas  $B B$  rodeado de uno idéntico  $A, A, A, A$ , porque consideremos como incidente  $l n$  ó al  $l' n'$ ,

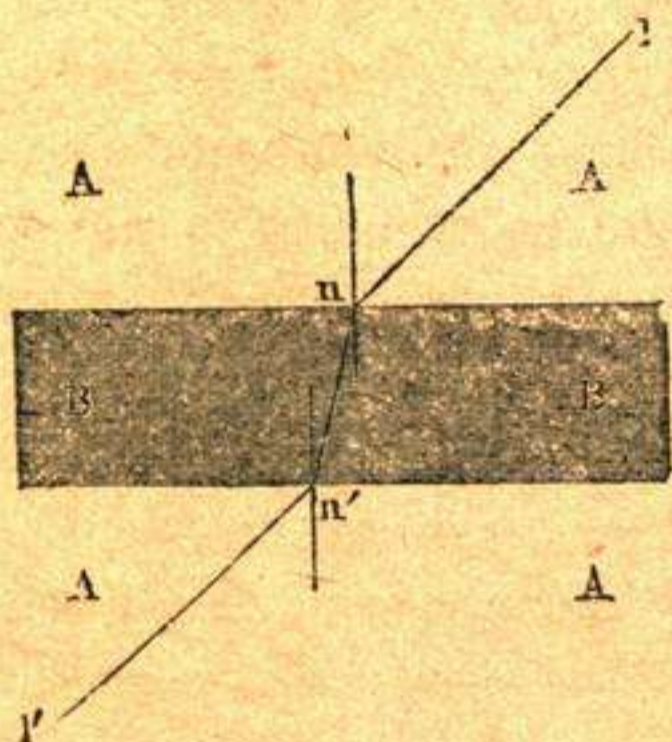


Fig. 140.

es claro que los ángulos que una y otra dirección han de formar con las normales paralelas han de ser idénticos, sin lo cual el índice de refracción de la substancia  $B, B$  no sería el mismo al penetrar el rayo por la cara superior que al incidir por la inferior.

REFLEXIÓN TOTAL.—Si un rayo de luz se hace incidir sobre la cara de separación de dos medios, cada vez bajo un ángulo  $i$  mayor, y el desvío en el segundo es aproximándose á la normal, crece también el ángulo de refracción  $r$ , pero en menor grado; de modo (fig. 139) que si  $l n p' = i$  crece en una cantidad  $\epsilon'$  el  $p n s = r$  crece también en una cantidad  $\epsilon$ ; pero siendo  $\epsilon'$  menor que  $\epsilon$ , pues

solamente en este caso es cuando puede ser  $\frac{\text{sen } (i + \epsilon)}{\text{sen } (r + \epsilon')} = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$  como

las leyes de refracción imponen, lo cual no tendría lugar si  $\epsilon$  fuese  $= \epsilon'$  porque cuando dos ángulos desiguales crecen en cantidades iguales el seno del menor ( $r$ ) aumenta más rápidamente que el seno del mayor ( $i$ ) y con más razón ocurriría esto si el ángulo menor creciese más rápidamente que el mayor. Por consiguiente, cuando el ángulo  $i$  crece desde  $0^\circ$  á  $90^\circ$ , el ángulo de refracción  $r$ , sólo puede crecer desde  $0^\circ$  hasta un cierto ángulo menor que  $90^\circ$ . Este ángulo de refracción *límite* correspondiente en cada medio á un ángulo de incidencia de  $90^\circ$  es lo que se llama el *ángulo límite* de la substancia de que se trata. Si se designa por  $\varphi$  y por  $n$  el índice de refracción, es claro que  $\frac{\text{sen } 90^\circ}{\text{sen } \varphi} = n$ , por tanto  $\text{sen } \varphi = \frac{1}{n}$ .

Con esto, conocido que sea el valor numérico del índice de refracción de una substancia, se conoce el valor de su ángulo límite.

Así del aire al cristal crown-glas se tiene que  $n = 1,533$  y se deduce que  $\varphi = 40^{\circ}43'$ ; para aire y agua  $n = 1,336$ , de donde  $\varphi = 48^{\circ}28'$ ; y para aire y diamante  $n = 2,414$ , de donde  $\varphi = 24^{\circ}28'$ .

**REFLEXIÓN TOTAL.** Se llama la que sufren los rayos (cuando caen con cierta inclinación) sobre los medios diáfanos, y por la cual el rayo reflejado tiene casi la total intensidad del incidente.

Este caso particular ocurre en los medios diáfanos, porque según lo anterior, el mayor desvío de la normal que puede tener, (por ejemplo en el agua) un rayo de luz que viene del aire, es formando el ángulo límite de  $48^{\circ}28'$ , y para esto el rayo de luz en el aire ha de venir rasando ó coincidiendo con la misma superficie del agua; y recíprocamente, un rayo de luz que en el agua lleva una inclinación respecto de la normal de  $48^{\circ}28'$ , se refracta al salir al aire, formando un ángulo de  $90^{\circ}$  ó sea rasando la superficie. Ahora bien, ¿qué sucederá si el rayo que va por el agua en dirección á salir al aire, lleva una inclinación con la normal de más de  $48^{\circ}28'$ ? Sencilla es la contestación. Al salir y refractarse habrá de formar con la normal un ángulo mayor que  $90^{\circ}$ ; no rasará la superficie, sino que tendrá que volver á penetrar en el agua desde el mismo punto de incidencia; todo él, por consiguiente, vuelve en el mismo medio. La superficie del agua, por la inclinación particular del rayo y por la refracción, al pasar al otro medio, se convierte en una especie de espejo y casi toda la luz se refleja, siguiendo la ley de este fenómeno.

*Ejemplos de reflexión total.*—Experimentalmente se verifica esto de muchas maneras.

Si se hacen pasar los rayos de una bujía por las paredes de una vasija de cristal llena de agua, de modo que atravesando el agua incidan por debajo con la superficie libre de ésta, con una inclinación mayor de  $48^{\circ}28'$ , la imagen de la bujía puede observarse por el mismo lado de la superficie, como por reflexión sobre un espejo plano, apareciendo casi tan brillante como vista directamente.

La propiedad de reflejar la luz totalmente, también las tienen las capas del aire, como se observa en las llanuras de los países cálidos en las horas de calor. La explicación de este espejismo se explica del modo siguiente: El suelo fuertemente calentado por el sol, calienta á su vez la capa de aire inmediata á él, ésta á la superior y así en orden descendente de temperatura, de modo que hay una serie de capas superpuestas de distinta densidad. Los rayos oblicuos de un objeto cercano á la tierra, en vez de dirigirse hacia el suelo, como sucedería si la densidad de las capas de aire fuese



homogénea, sufren una refracción al entrar en las menos densas, y consiste en separarse más de la normal que á la entrada; así sigue refractándose sucesivamente, por lo que se concibe que puedan llegar al ángulo límite, siendo entonces reflejados y recibidos por el ojo, donde pinta la imagen del objeto en la prolongación de la última dirección del rayo, apareciendo como si fuese la aparente de un espejo plano.

**Refracción en los prismas.**—Se llama *prisma* en óptica todo medio diáfano determinado por dos superficies planas no paralelas. Ambos planos se llaman *caras del prisma*; su intersección *arista* y el diedro que forman *ángulo refringente*; la cara opuesta á la arista, á la cual es

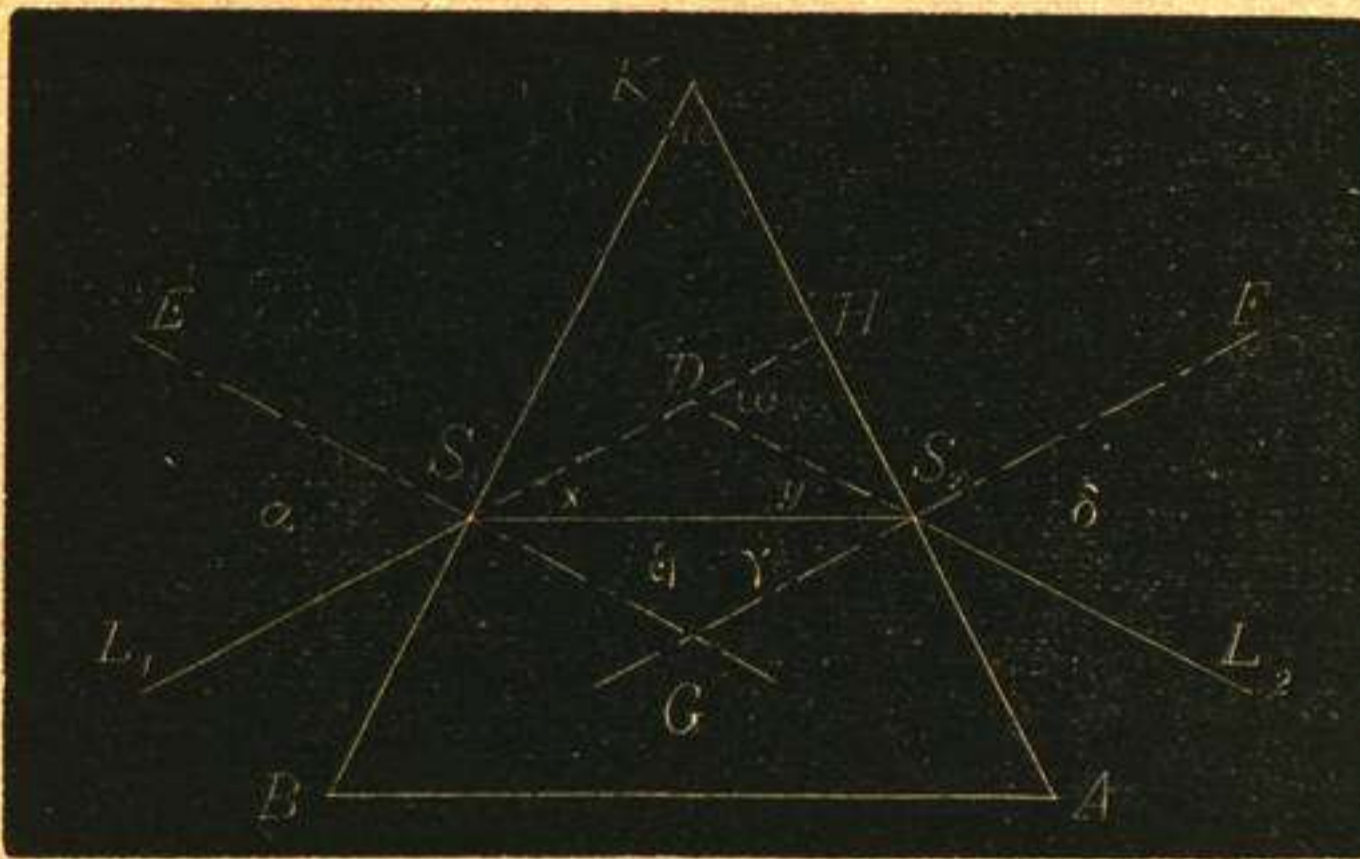


Fig. 141.

paralela, ya exista ó no, se llama *base*. La sección plana perpendicular á la arista se nombra *sección principal*. En general, ésta tiene la forma de un triángulo (figura 141).

La marcha de

los rayos atravesando un prisma, depende del ángulo de incidencia  $\alpha$ , del ángulo refringente  $u$  y del índice de refracción  $n$  de la substancia que le compone. Se llama *ángulo de desviación*, ó simplemente *desviación de un prisma*, el ángulo que forman las dos direcciones del rayo incidente y del rayo emergente. Si, por ejemplo,  $ABK$  es la sección principal de un prisma, y  $L_1S_1$  el rayo incidente, y  $L_2S_2$  el emergente, se tiene que el ángulo  $w$ , ó sea  $HDS_2$  (fig. 141), que forman  $L_1D$  con  $L_2D$ , es el que mide la desviación del prisma. La magnitud del ángulo de desviación varía según la posición del prisma, respecto de la dirección del rayo incidente. Pero tiene su valor *mínimum* cuando el ángulo de incidencia es igual al ángulo de refracción  $S$ , es decir, cuando la dirección de la marcha del rayo á través del prisma forma ángulos iguales con las caras, ó en suma (si el prisma es isósceles) cuando esta trayectoria es paralela á la base del prisma.

**NOTA.** Cuando el ángulo refringente del prisma es muy pequeño, la magnitud de su desviación es casi la misma, cualquiera que sea la dirección del rayo incidente.

## LECCIÓN 29

*Se llama LENTE todo medio diáfano limitado por dos superficies esféricas.*

*EJE de una lente, es la recta que une los centros de curvatura de ambas superficies esféricas.*

La lente es simétrica alrededor del eje (y por la analogía de las biconvexas con la forma de la lenteja recibió tal nombre): las figuras con que se representan las lentes en el dibujo son las secciones, en cuyo plano está el eje.

VÉRTICES de una lente son los puntos de intersección de sus caras con el eje; GROSOR es la distancia entre las vértices.

Las lentes reciben varios nombres, según el concepto bajo el cual se consideren.

Por su acción óptica se distinguen en CONVERGENTES y DIVERGENTES.

Por su forma (fig. 142) en BICONVEXAS, PLANO-CONVEXAS y CAVO-

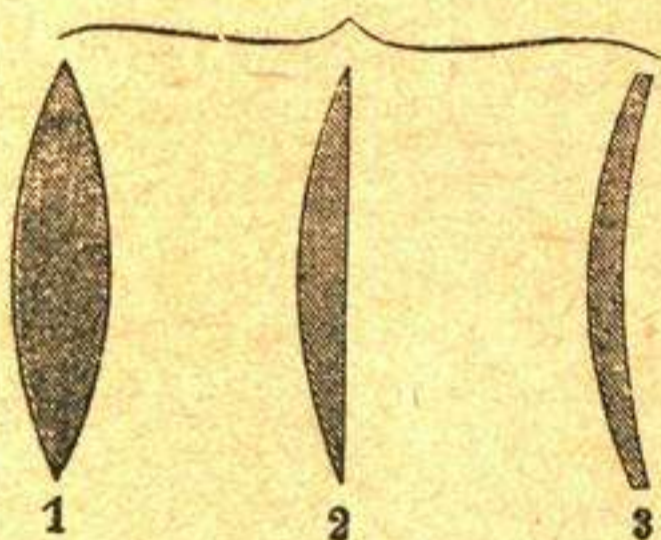


Fig. 142.

CONVEXAS ó MENISCO-CONVERGENTE (figuras 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup>), estando constituidas la biconvexa núm. 1 por dos superficies esféricas con su convexidad hacia afuera; la plano-convexa núm. 2 por una superficie esférica convexa y un plano, y la cavo-convexa núm. 3 por dos superficies curvas con la curvatura hacia el mismo lado; pero de mayor radio la envolvente

ó cuya convexidad está hacia afuera, de lo que resulta ser más grueso el cuerpo de la lente por el centro que por los bordes.

Estas tres clases son convergentes.

Hay otras tres (fig. 143) análogas, que son BICÓNCAVAS núm. 1, PLANO-CÓNCAVAS núm. 2 y CAVO-CÓNCAVAS núm. 3, cuyas definiciones, parecidas las dos primeras á las del núm. 1 y 2 de la clase anterior, con la variación de tener su convexidad hacia el cuerpo de la lente, omitimos, fijándonos sólo en el núm. 3,

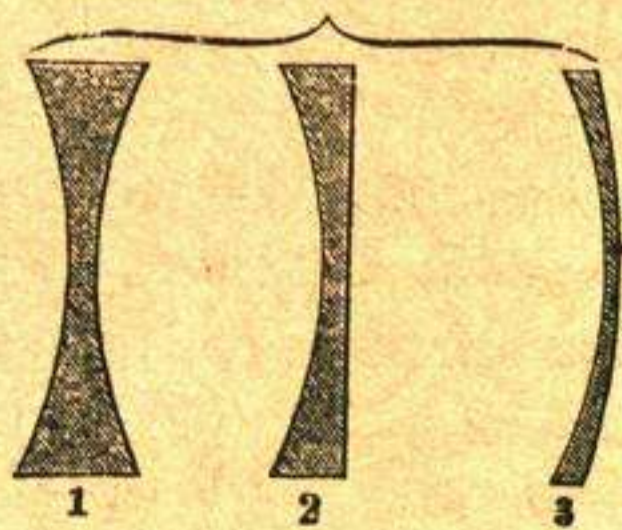


Fig. 143.

llamado también *menisco divergente*, cuya distinción del convergente consiste en ser el radio de la superficie esférica cóncava mayor que el de la otra cara convexa, lo cual produce el que sea la lente más delgada por el centro que por los bordes. Estas tres clases son las llamadas *divergentes*.

Estos nombres de *convergentes* y *divergentes* de los efectos ópticos de las lentes enumeradas, quieren decir que las convergentes, ó disminuyen la divergencia de los rayos que entran por una de sus caras y salen por la opuesta, ó enteramente les hacen que vayan á converger á un punto; y las divergentes, ó aumentan la divergencia, ó disminuyen la convergencia de los rayos que reciben.

En las lentes plano-convexas ó cóncavas, el eje es la recta que, pasando por el centro de curvatura de la cara curva, es perpendicular al plano.

CENTRO ÓPTICO de las lentes es el punto situado sobre el eje, que tiene la propiedad de que las rectas que pasan por él forman ángulos iguales con las normales á las dos caras de la lente en los puntos en que las cortan.

Examinando la acción óptica de las lentes biconvexas, se tiene:

PRIMERO. Los rayos de luz que caen sobre una cara paralelos al eje (fig. 144), después de su paso á través de la lente, van á cortarse

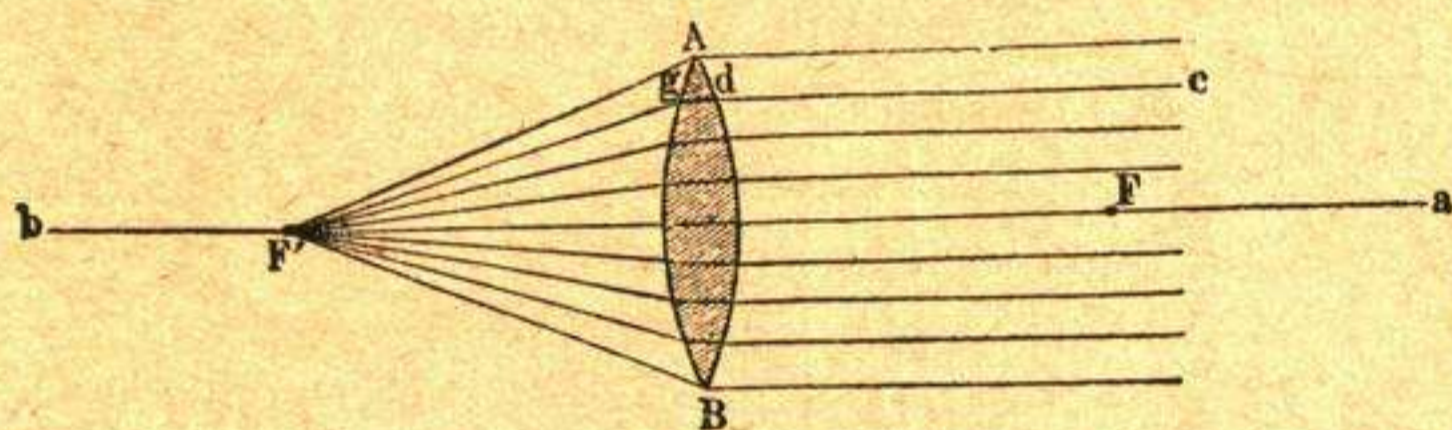


Fig. 144.

ó reunirse en un punto  $F'$  situado sobre el eje, al otro lado de la cara de entrada, el cual se llama *foco de la*

*lente*, y su distancia á ésta, *distancia focal*.

SEGUNDO. Si el punto  $S$  (fig. 145), del cual suponemos que salen los rayos luminosos, se acerca á la lente sobre el eje, los rayos refractados también van á reunirse en el otro lado en un punto  $R$  sobre el eje.

TERCERO. En tanto que el punto luminoso  $S$  está más lejos de la lente que el DOBLE DE LA DISTANCIA FOCAL, el punto de reunión  $R$  está más lejos de la lente que la distancia *focal sencilla* y *menos que la doble*.

CUARTO. Si la distancia del punto  $S$  justamente es la doble distancia focal, la del punto de reunión  $R$  también es la doble distancia focal (fig. 146).

QUINTO. Si el punto S se acerca aún más á la lente poniéndose entre la distancia focal sencilla y la doble, el punto de reunión R se aleja más que la doble focal: la fig. 145 puede representar esto, considerando á R como el punto luminoso y S como el de reunión de los rayos.

SEXTO. Si S se pone justamente en el foco, los rayos salen por la otra cara paralelos al eje. Esto se representa en la fig. 144, considerando que de F' parten los rayos.

SÉPTIMO. Si el punto S se acerca á la lente de modo que se pone entre ella y el foco (fig. 147), como, por ejem-

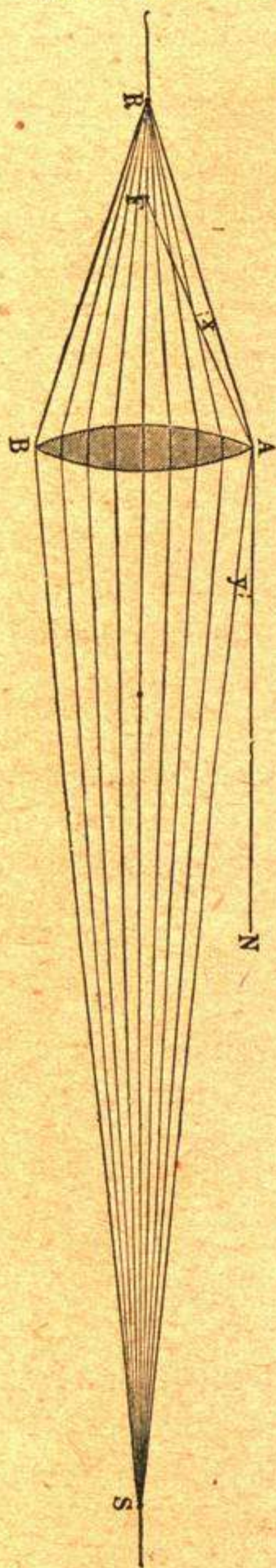


Fig. 145.

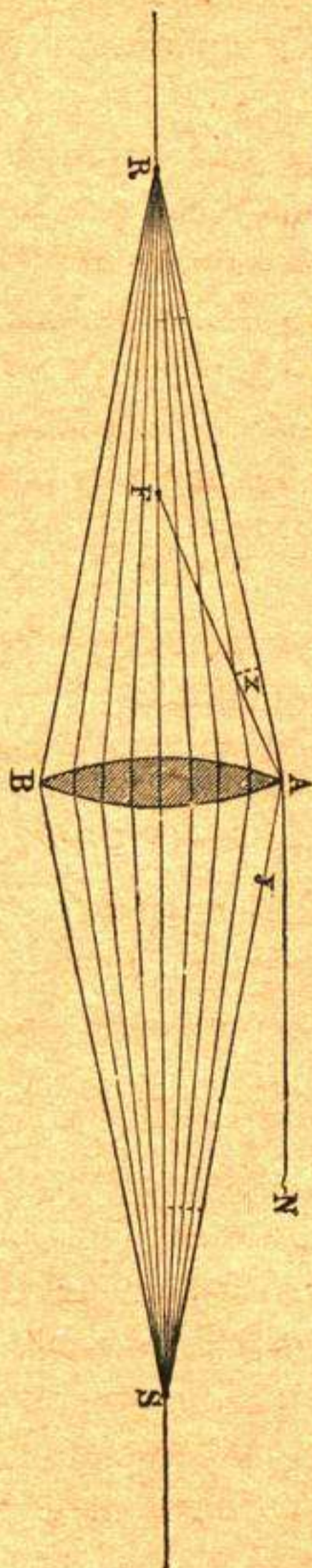


Fig. 146.

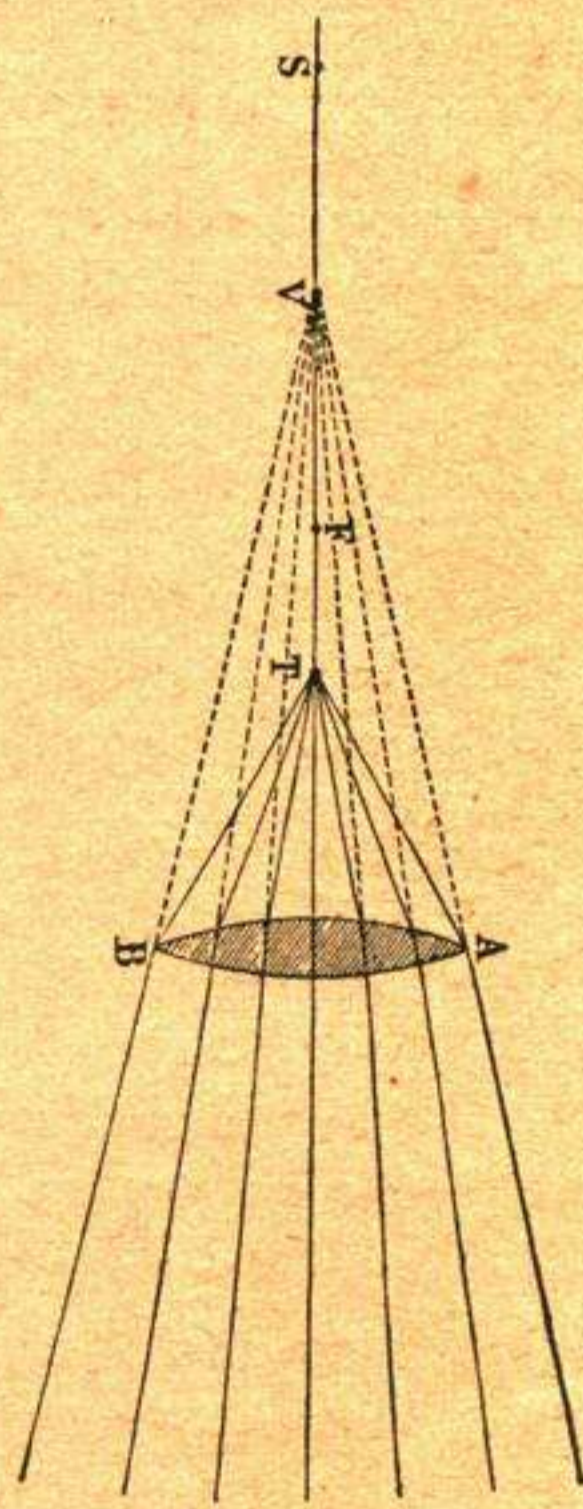


Fig. 147.

plo, en T, los rayos al salir por la otra cara, divergen como si viniesen de un punto V situado del mismo lado que el luminoso, pero más lejos de la lente que éste.

**Ecuación focal.**—Si se designa por  $f$  la distancia desde el foco en la lente, por  $a$  la del punto luminoso S, y por  $b$  la del punto R de reunión de sus rayos, entre las longitudes de estas tres líneas existe la relación  $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ , la cual se llama la ecuación focal.

Es claro que dados los valores de dos de sus variables se determina el de la tercera, advirtiéndose que los valores  $a$  y  $b$  se deben de tomar en direcciones opuestas cuando ambos resultan positivos.

Cuando el punto luminoso no está sobre el eje, si se traza por él y el centro óptico de la lente una recta, ésta se llama *eje secundario*; sobre éste se halla el punto de reunión de los rayos siguiendo las mismas reglas, según los casos, que las dichas para cuando se trata del eje principal.

*Investigación de la distancia focal de una lente biconvexa.*—Para investigar por el cálculo la distancia del foco principal de una lente biconvexa, se tiene la fórmula  $\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right)$ , en la cual  $f$  es la distancia del foco,  $r$  y  $r'$  los radios de curvatura y  $n$  el índice de refracción de la substancia de la lente.

Si se supone  $r' = \infty$ , quiere decir que la cara correspondiente es plana, y la fórmula se reduce á  $\frac{1}{f} = (n - 1) \frac{1}{r}$ , que es la ecuación correspondiente á las lentes plano-convexas.

Por último, si  $r'$  se supone negativo, ó sea la curvatura de la cara correspondiente en sentido contrario al que tendría en la biconvexa, resulta la cavo-convexa, y se tiene  $\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right)$ , que es la ecuación correspondiente para la distancia focal del menisco convergente.

Por la experiencia se puede averiguar también la distancia focal de una lente convergente, y para ello se hacen incidir sobre una de las caras los rayos de un punto luminoso lejano (más de 100 veces el radio de curvatura de sus caras), y poniendo detrás de la lente una pantalla, ésta se aproxima ó aleja hasta obtener la imagen más clara y distinta: esa distancia es la focal.

**Imágenes en las lentes convergentes.** — PRIMERO. Si un objeto está muy lejos de una lente convergente más de 100 radios de curvatura, se tiene su imagen en el foco, y es menor é invertida.

SEGUNDO. Si el objeto se acerca desde el infinito á la lente hasta llegar á la doble distancia focal, su imagen retrocede desde la focal sencilla hasta la doble, siendo menor é invertida.

TERCERO. Si el objeto se pone justamente á la doble distancia focal, su imagen está al otro lado á igual distancia, del mismo tamaño é invertida.

CUARTO. Si el objeto se acerca desde la doble distancia focal hasta la sencilla, su imagen invertida se aleja por el otro lado desde la doble focal al infinito; pero aumentando de tamaño cada vez más.

QUINTO. Si el objeto se pone en el mismo foco, no se tiene imagen por el otro lado; es decir, está en el infinito.

SEXTO. Si el objeto se acerca á la lente á menos distancia que la focal sencilla, su imagen aparece del mismo lado más distante de la lente, y es derecha y mayor que el objeto.

Todos estos casos pueden experimentarse con el aparato llamado *banco óptico* (fig. 148), que consiste en el banco descrito para el fotó-

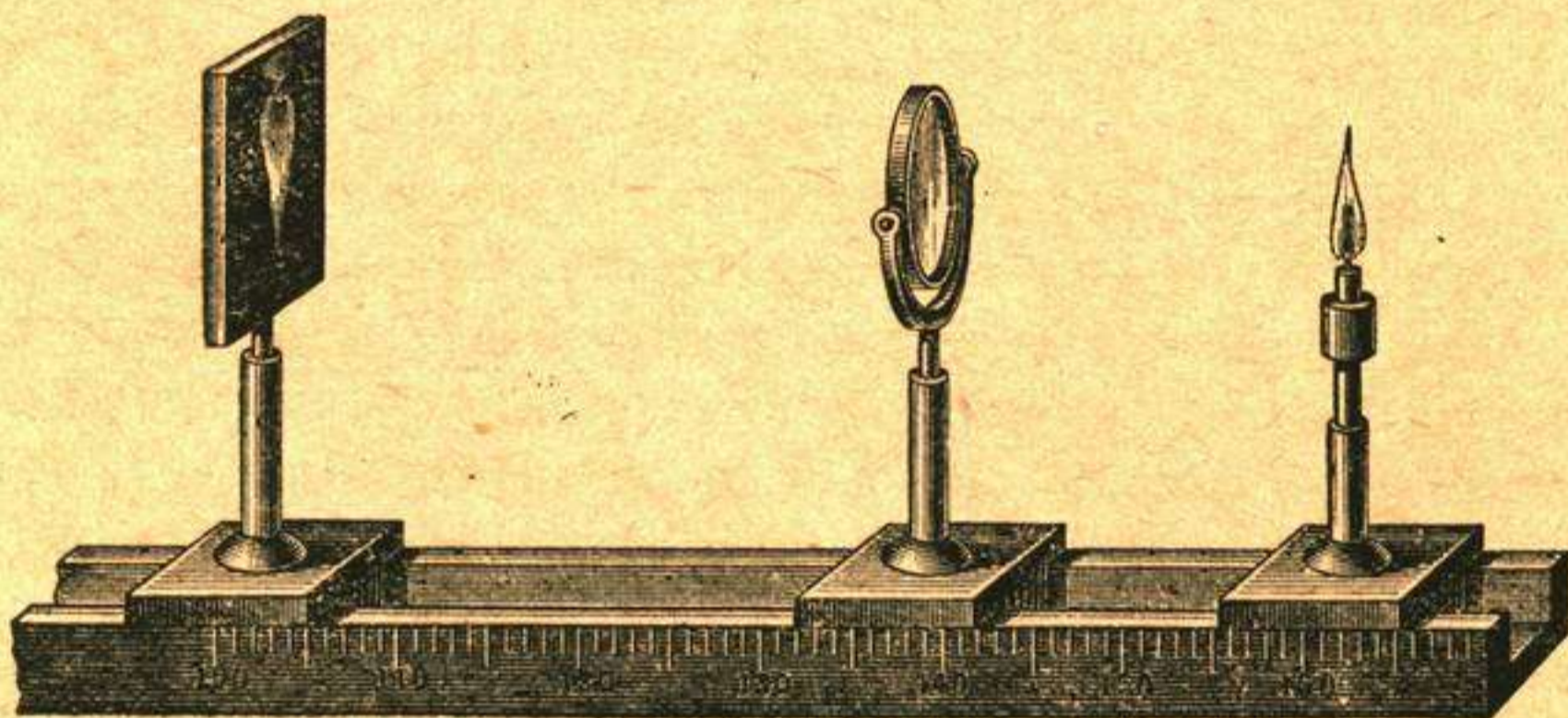


Fig. 148.

metro de Bunssen, sobre el cual se colocan los sostenes de una lente convergente, y de una pantalla y una bujía.

58. **Diferencia en la esencia de las imágenes dadas por las lentes convergentes.**—Las imágenes dadas por las lentes convergentes se distinguen en REALES y VIRTUALES: las primeras son las producidas por una real y efectiva convergencia de los rayos luminosos que parten de un punto producido por la lente, tal es la de los cinco primeros casos examinados; éstas pueden recogerse sobre una pantalla. Las segundas son meras apariencias que percibe el ojo si mirando al

objeto á través de la lente, recibe los rayos divergentes que envía. Las imágenes reales son invertidas, las virtuales derechas.

Fácil es de experimentar esto: si en el banco óptico puesta una pantalla en un lado y una bujía encendida por el otro de la lente, se sitúa primero muy lejos la bujía, se puede recoger su imagen sobre la pantalla por el otro lado, y será menor é invertida, y casi en el foco; se le va acercando la bujía, y para recoger la imagen hay que ir alejando la pantalla: esta imagen, aunque invertida y menor que el objeto, crece; cuando la bujía llega á la doble distancia focal, la imagen sobre la pantalla es del mismo tamaño; sigue acercándose la bujía, pero sin llegar á la focal sencilla, y para recoger su imagen, hay que alejar la pantalla más allá de la doble focal; pero esta imagen, que va aumentando, va perdiendo en distinción hasta llegar la bujía al foco; desde allí, y poniendo aún más cerca la bujía de la lente, ya desaparece toda imagen sobre la pantalla, y á cualquier distancia que se coloque no se puede recoger; pero si el observador contempla la bujía á través de la lente, puede ver su imagen virtual que le aparece derecha y mayor que la bujía.

Muy común es, por otra parte, esta experiencia: en efecto, si con una de esas lentes que el vulgo llama de aumento se miran las letras de un impreso que está muy cerca de la lente, se ven aumentadas de tamaño y al revés; esa es la imagen virtual, porque las letras están más cerca de la lente que su foco; si se aleja la lente, las letras van creciendo de tamaño y perdiendo de distinción, hasta que á una cierta distancia desaparece su imagen; entonces se han puesto en el foco; si manteniendo el ojo á conveniente distancia de la lente se alejan más las letras, se ven invertidas y mayores; entonces están entre la doble y sencilla focal; por último, si aún se alejan más, se ven invertidas y menores, que es cuando están más distantes que la doble focal de la lente, teniendo cada vez que acercar más el ojo á la lente.

Existen unas lentes convergentes llamadas CILÍNDRICAS, cuyas caras tienen la misma sección que las esféricas, pero cuya superficie lateral, que limita su espesor, son cilíndricas; de modo que vienen á ser cilindros cuyas bases son casquetes esféricos ó uno de ellos un plano; su efecto óptico es análogo al de las lentes esféricas, con la diferencia, sin embargo, de que la imagen de un punto luminoso no aparece como otro punto luminoso, sino como líneas rectas luminosas en dirección de las generatrices del cilindro.

**Efectos ópticos de las lentes cóncavas ó divergentes.**—Si los

rayos luminosos de un punto inciden en una lente biconcava

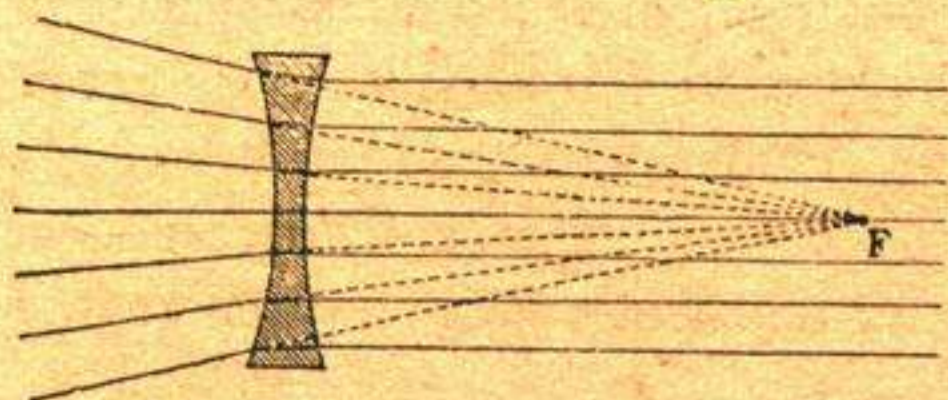


Fig. 149.

paralelos al eje principal (figura 149), al salir por la otra cara, divergen como si proviniesen de un punto *F*, situado del lado en que vienen: este punto se llama *foco principal de divergencia*.

Si el punto luminoso se acerca desde el infinito hacia la lente, poniéndose tal como en *B* (fig. 150), también los rayos que emergen

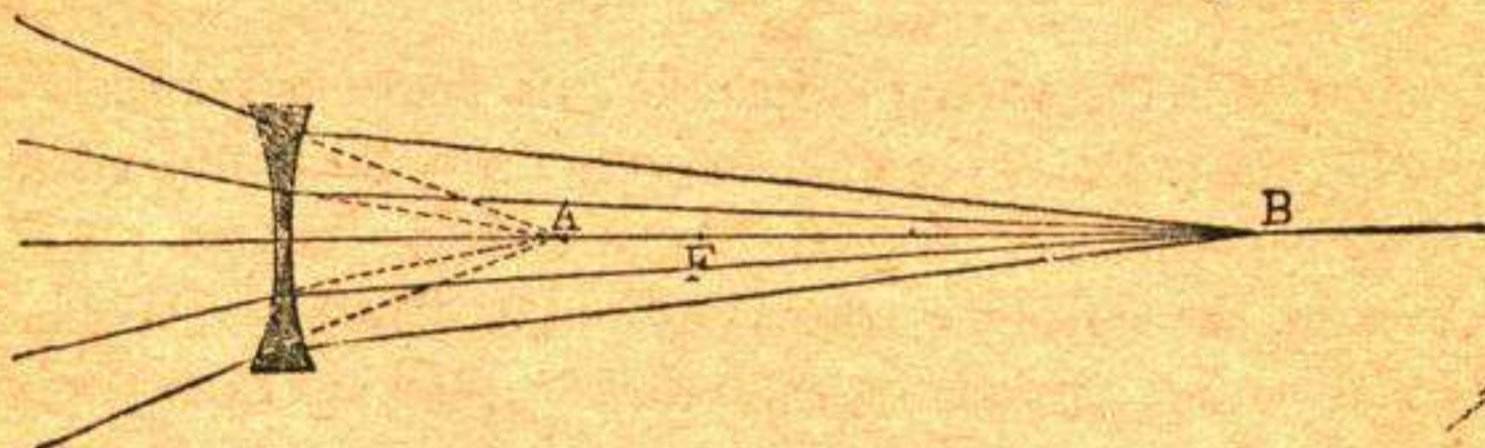


Fig. 150.

por la otra cara, salen divergentes y con más desviación que cuando incidían paralelamente al eje: el foco de divergencia *A*, también se acerca á la lente.

Cuando los rayos *incidentes* van *convergentes* hacia la lente, se pueden considerar tres casos:

1.º Si los rayos *incidentes* convergen hacia el *foco de dispersión* (fig. 149), (ahora se consideran á los rayos representados en el lado izquierdo del plano de la figura como los incidentes) emergen por la otra cara (representados por las líneas llenas de la derecha) paralelamente al eje principal.

2.º (Fig. 150). Cuando el punto *A*, hacia el cual se dirigen á coincidir, está más cerca de la lente que el foco principal de dispersión *F*, entonces los rayos emergentes (que se marcan por las líneas llenas de la derecha) convergen en un punto *B* sobre el eje, más distante de la lente que el foco principal de divergencia.

3.º (Fig. 151). Cuando el punto *t*, hacia el cual convergen los rayos

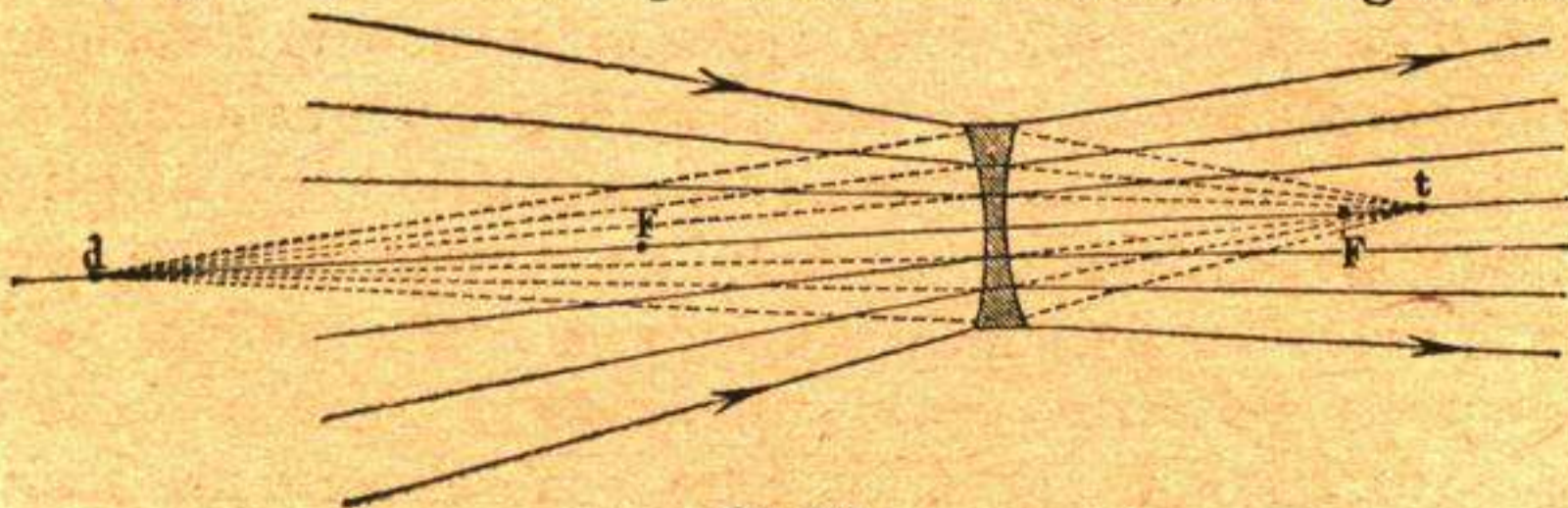


Fig. 151.



incidentes, está más lejos de la lente que el foco principal de divergencia  $F$ , entonces los rayos emergen divergentes (como se representa por las líneas llenas de la derecha) (fig. 151), y como si proviniesen de un punto  $d$  del lado por donde inciden, y situado sobre el eje principal más distante de la lente que el foco principal de divergencia de ese lado. Y cuanto más se acerca  $t$  á la lente, tanto más se aleja  $d$  de ella.

La relación que existe entre la distancia  $f$  del foco principal de dispersión, la distancia  $a$  del punto luminoso, y la  $b$  del foco de divergencia correspondiente es  $\frac{1}{f} = \frac{1}{b} - \frac{1}{a}$ .

La ecuación de la distancia del foco de una lente divergente es la misma que la puesta antes para las convergentes, teniendo en cuenta que donde allí se dice cara convexa, ahora se dice cóncava.

**Imágenes en las lentes bicóncavas.**—Las lentes divergentes no dan imágenes reales, sino virtuales, toda vez que los rayos que parten de un punto, y atraviesan la lente, salen más divergentes, de modo que aparecen como provenientes de un punto virtual más cerca de la lente

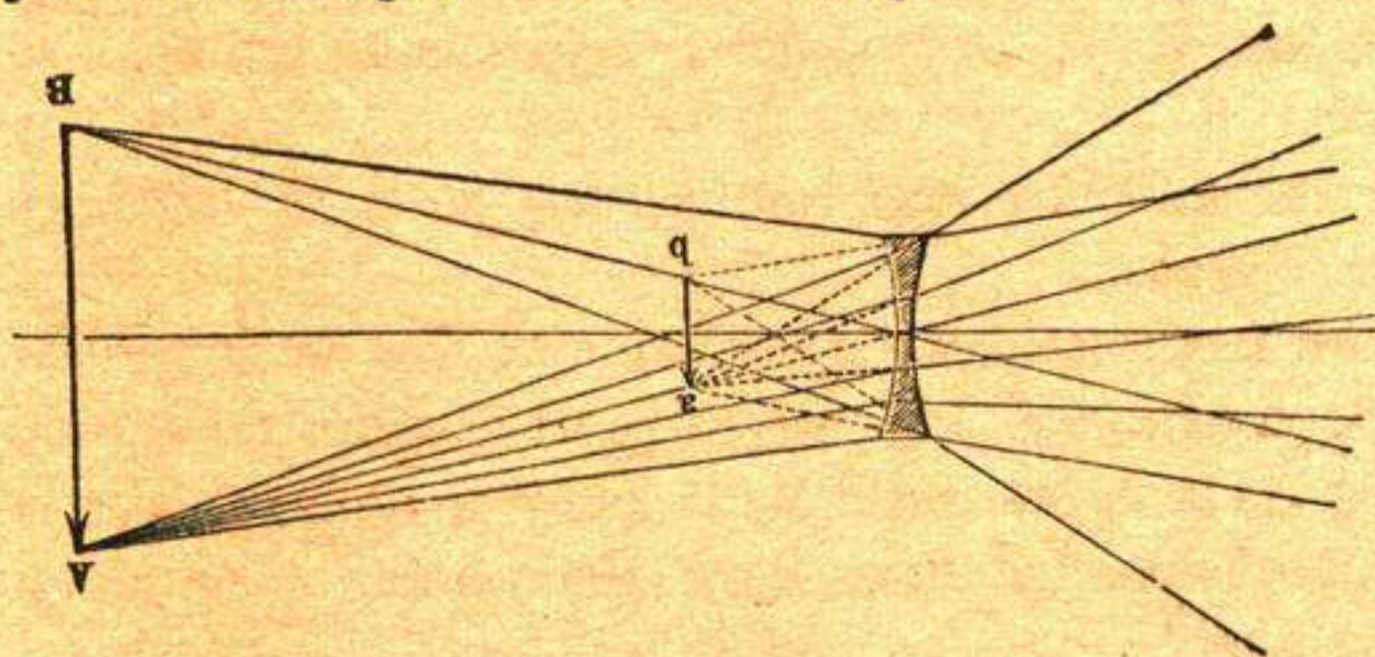


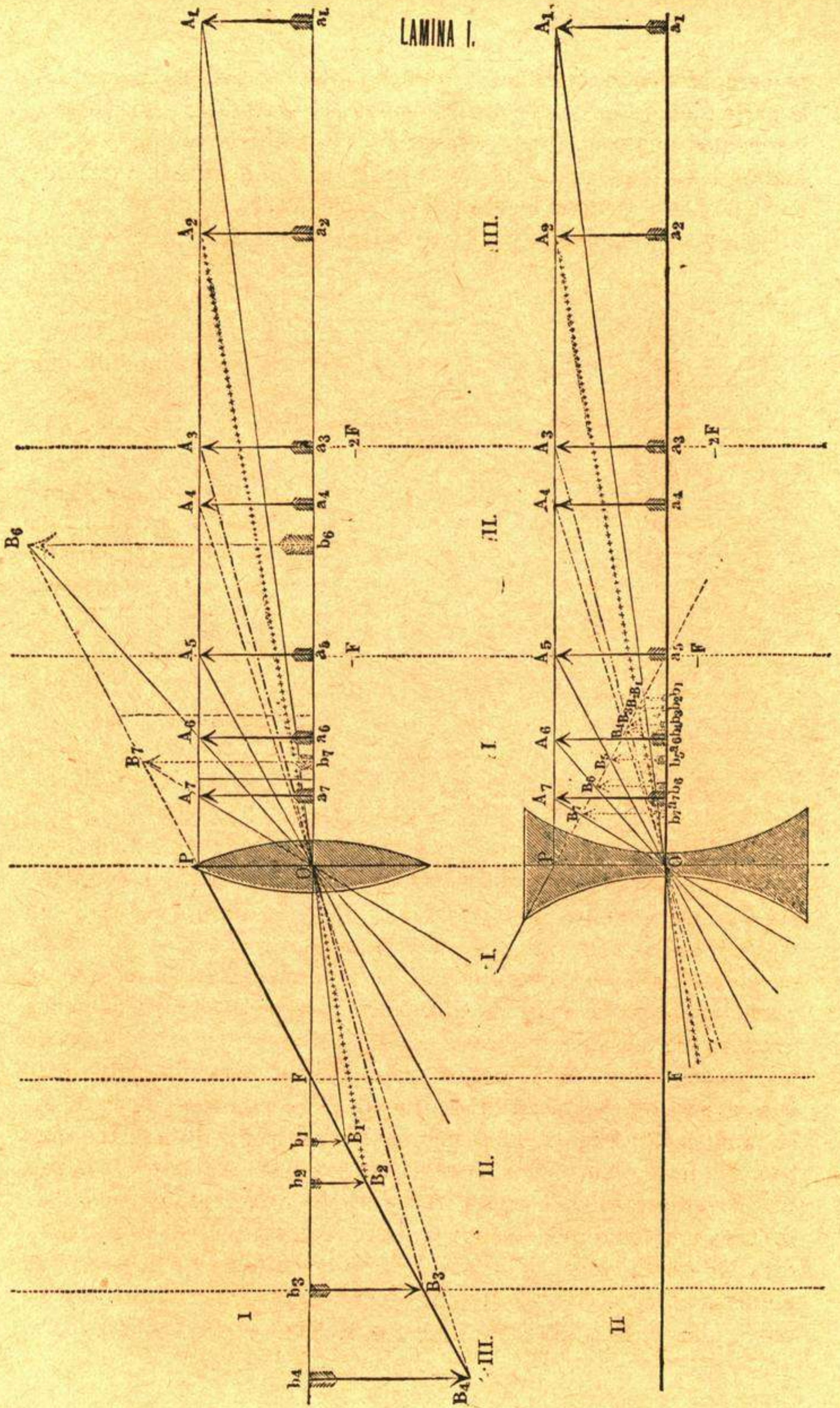
Fig. 152.

que el que corresponde al objeto; es, pues, evidente que las lentes divergentes sólo pueden dar imágenes menores que el objeto (fig. 152.)

En la adjunta lámina se representan todos los casos de imágenes en una lente biconvexa y bicóncava, según las distintas distancias del objeto á la lente (Lámina I.)

**Aberración de esfericidad.**—En la marcha de los rayos á través de las lentes esféricas convergentes se supone que inciden muy próximos al eje, porque sólo tales rayos son los que próximamente se reúnen en un punto del otro lado de la lente. Los que inciden cerca de los bordes llamados rayos de los extremos, al emerger se separan más ó menos del punto de reunión de los otros, según que la abertura ó amplitud ó diámetro de la lente es mayor. Con estos nombres se designa en una lente el ángulo que forman dos rectas trazadas desde su foco á los extremos de un mismo diámetro. Para aminorar esta abertu-

LAMINA I.



ra ó amplitud, ó se cortan los límites naturales de la lente, ó se reduce la parte diáfana, privando artificialmente de su claridad á los bordes: los medios empleados, son, ya raspando ó cegando la superficie ó por diafragmas, que vienen á ser unas pantallas con aberturas circulares en su centro que tapan las cercanías de los bordes.

La figura 153 explica cómo el foco de los rayos paralelos que caen cer-

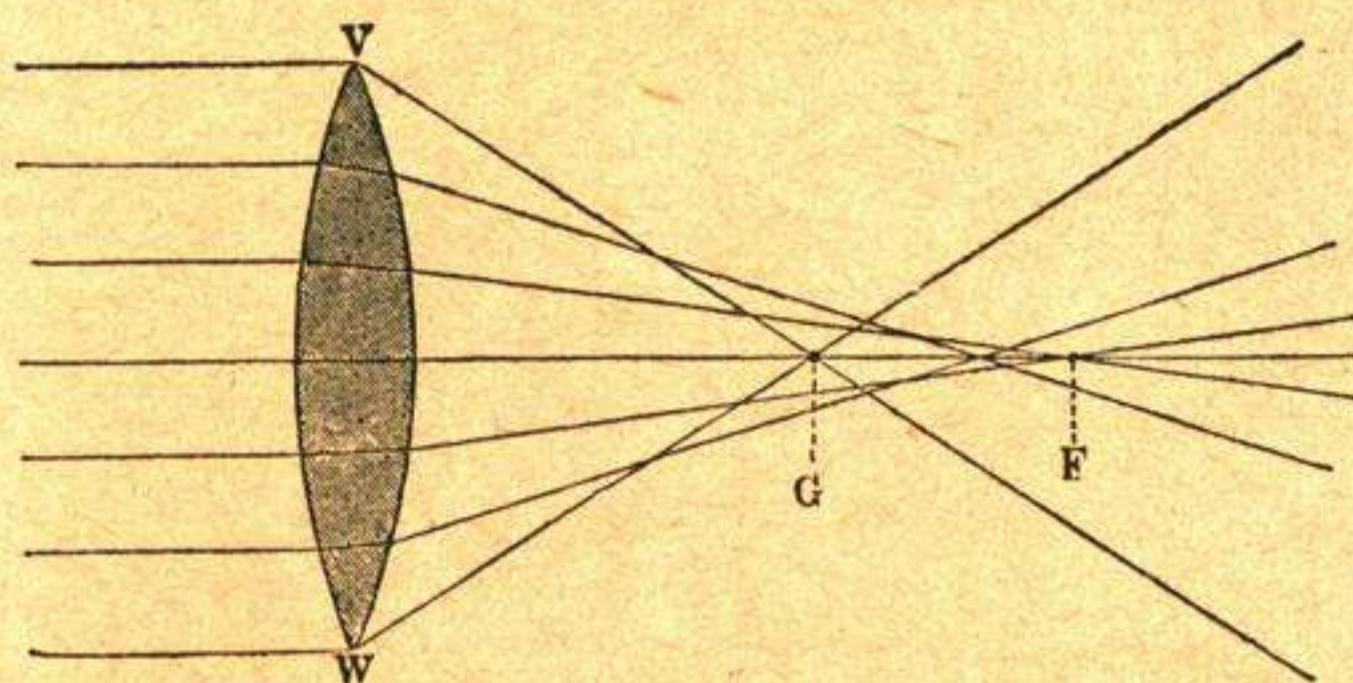


Fig. 153.

ca de los bordes no tienen su punto de reunión en F, como los que inciden próximos al eje, sino en G. La distancia FG, se llama la longitud de desviación esférica ó aberración.

## LECCIÓN 30

**Faros.—Lentes anulares de Fresnel.**—Cuando las lentes esféricas son muy grandes, los rayos de un punto luminoso colocado en su foco, no salen paralelos por la otra cara de la lente, en virtud de lo que se llama error de esferoididad; y como para las luces que se ponen en las costas, para advertir á los navegantes durante la noche (á cuyas luces se llaman faros), sean los peligros ó las enfilaciones de los rumbos convenientes, se necesita que el haz refractado salga todo lo más paralelo posible, á fin de que, dada la intensidad de cada foco luminoso, pueda ser visto distintamente á largas distancias, construyó Fresnel unas lentes llamadas escalonadas ó anulares, cuya sección se representa en la figura 154, y cuya construcción es la siguiente: L es una lente plano-convexa, cuyo foco está en  $f$ , y cuya abertura  $ifi'$  es de unos  $15^\circ$ . Esta lente está rodeada de una serie de anillos  $aa$ ,  $bb$ ,  $cc$ , cuyas superficies convexas están calculadas de modo que su foco esté en  $f$ . Si, pues, se pone en  $f$  una luz intensa,

el haz refractado sale por la otra cara paralelo, y puede conservar una intensidad suficiente para ser visto hasta unas 15 ó 20 leguas según la magnitud del foco luminoso y de las lentes.

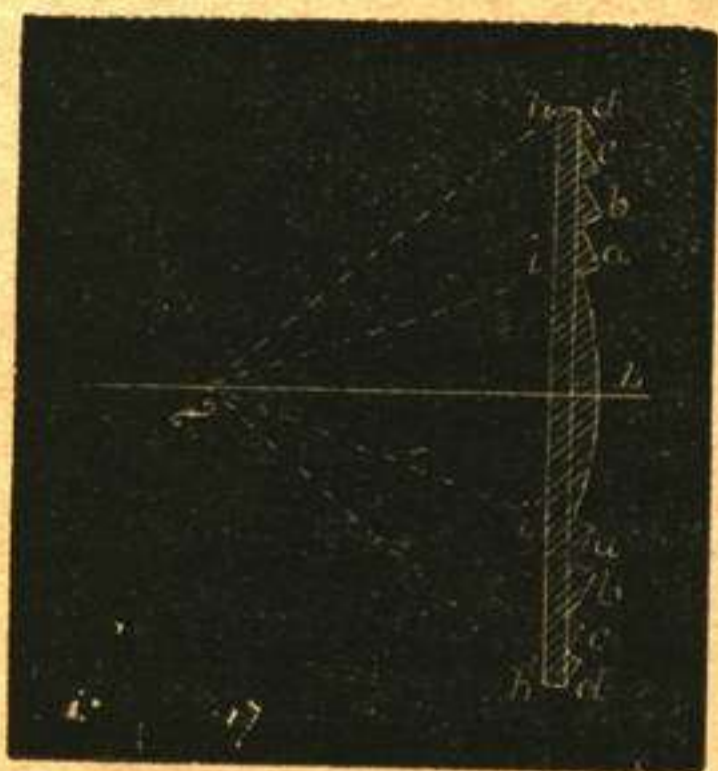


Fig. 154.

Conseguido así el que el faro sea visible á largas distancias, para que no se confunda con otra luz cualquiera, cada faro tiene una particular serie de interrupciones ó eclipses periódicos, (que se producen por unas pantallas) ó por coloraciones particulares de su luz. Para ello, alrededor del foco luminoso se disponen una serie de estas lentes de

Fresnel montadas en una armadura, y esta armadura prismática, que asemeja á una especie de gran farol, gira uniformemente sobre su eje vertical: con esto, los que se encuentran á largas distancias, dejan de ver la luz del farol, ó sufren un eclipse en cuanto por el giro de la armadura que traslada las lentes, salen fuera de la dirección determinada en que éstas dirigen el haz luminoso.

**Espectro solar.—Dispersión prismática de los colores; índice de refracción de la luz de diversos colores.**— En lo que se lleva dicho sobre la refracción, se ha tenido por supuesto que sólo había un índice de refracción para cada dos medios; fácil es mostrar que esto no subsiste sino en tanto que se experimenta con luces simples

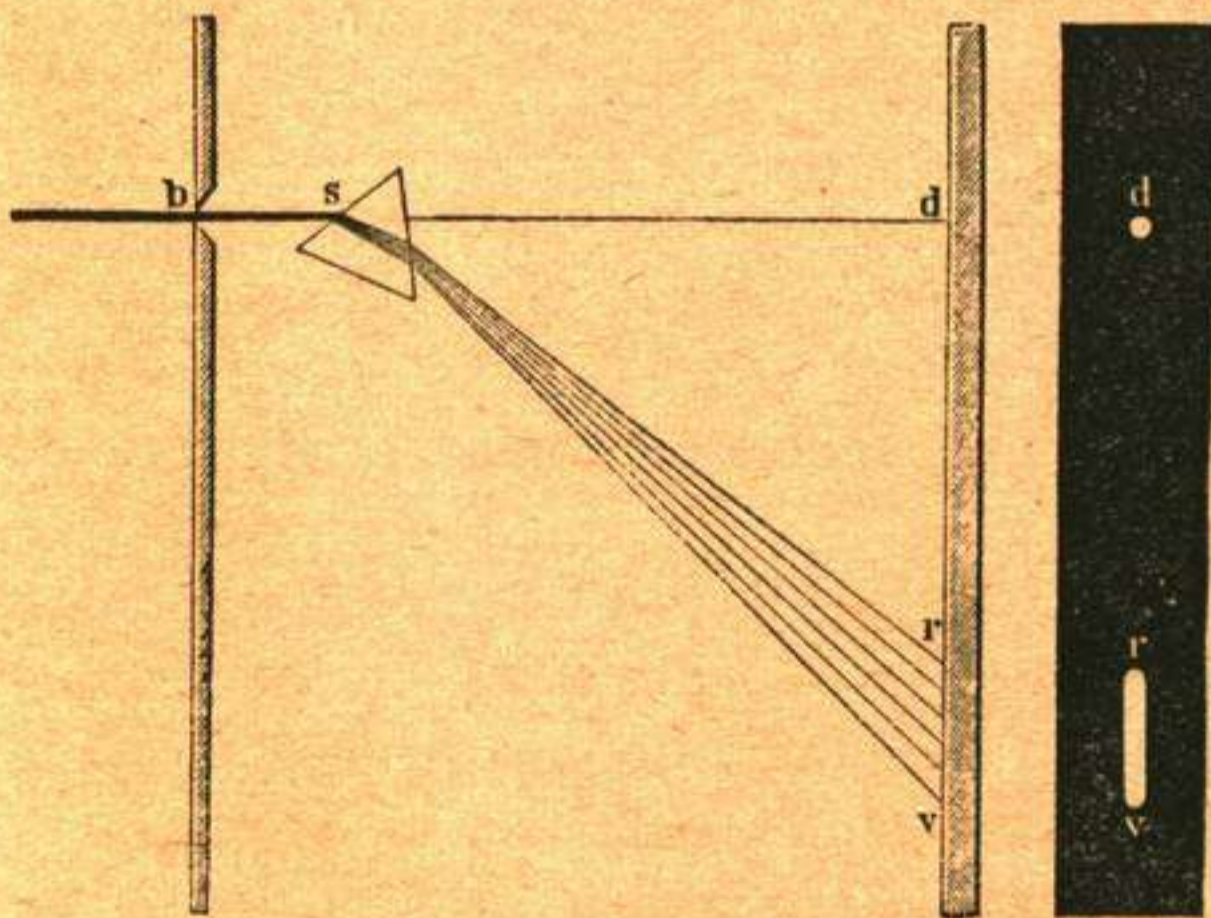


Fig. 155.

ó de un solo color; cuando un haz de rayos solares se hace penetrar por una pequeña abertura circular en un cuarto obscuro y se recoge en una pantalla, pinta sobre ella una imagen pequeña (figura 155) y brillante del sol; pero si antes en su camino se interpone un prisma, después de atra-

vesarlo, se pinta una banda compuesta de franjas de colores; esta

banda es vertical si la arista del prisma es horizontal, y recíprocamente; esta imagen *rv* coloreada se llama *espectro solar*, y su longitud depende del ángulo del prisma y de la substancia de que se compone.

Los colores que en el espectro de la luz solar se distinguen son siete, y por su orden son: el *rojo*, *anaranjado*, *amarillo*, *verde*, *azul*, *índigo* y *violado*. Estos colores también se llaman *simples* ó del *Arco Iris* ó del *prisma*. En realidad, el espectro consta de infinitos colores que se superponen; la vista distingue solamente con facilidad los siete enunciados.

El extremo rojo del espectro, aparece siempre del mismo lado que aparecería la imagen del Sol sin la interposición del prisma; estos rayos son, por tanto, los que menos se han desviado.

Este efecto, producido en los colores de las luces compuestas, se llama *dispersión de la luz*.

Es evidente, que si un prisma refracta la luz (y siendo la solar la divide en siete rayos distintos), es porque estos rayos tienen diferente grado de refrangibilidad. Los dos colores extremos visibles, el rojo y violado, forman un ángulo, cuyo vértice está en su entrada en el prisma; salen, pues, divergentes, y los rayos violetas más desviados de su primera dirección que los rojos; aquellos son, por tanto, los más refrangibles y los rojos los menos; los verdes, por ejemplo, son más refrangibles que los rojos y menos que los violados, porque en el espectro siempre está el color verde entre los otros dos.

**Colores simples.**—Se llaman colores simples ú homogéneos los que no constan de rayos de distinta refrangibilidad, y por tanto, no pueden descomponerse por los prismas. En este sentido, los colores del espectro solar son simples, pues haciéndolos atravesar individualmente por un prisma no presentan variación de coloración.

**Recomposición de la luz blanca.**—De cuantas maneras pueda disponerse la superposición ó reunión en un punto de los colores del espectro solar, se logra que aparezca iluminado el punto de reunión con la luz blanca.

**Coloración de objetos.**—La luz que llega á nuestros ojos, ó viene directamente de un cuerpo luminoso, ó sufre antes de entrar en el ojo algunas variaciones en su conjunto. Lo más frecuente es que éstas sean causadas, ó por su reflexión sobre los cuerpos opacos, ó por su paso á través de los diáfanos. En ambos casos, lo general es que ciertos colores queden absorbidos, con lo cual, la luz reflejada ó que atraviesa, es distinta del conjunto que constituía la primitiva. Así, la que al principio era blanca, es después coloreada.

Casi todos los colores que percibimos en la superficie de los cuerpos que nos rodean, son producidos por la difusión del resto de los rayos que constituyen la luz blanca (natural ó artificial), de la cual algunos han sido absorbidos y los demás irregularmente reflejados. Las luces de color que vemos á través de las placas de cristal teñido ó de ciertos líquidos, es la parte no absorbida de una luz que cae en estos medios coloreados. Además de esto hay algunos casos en Optica, en los cuales podemos contemplar objetos con color.

En general, puede tenerse como regla, que los cuerpos no luminosos, sólo presentan aquellos colores contenidos en la luz que los ilumina.

## LECCIÓN 31

### Instrumentos de Optica

L. 59.  
**Ojo humano.**—La sensación de la luz y de los colores consiste en la excitación de un nervio determinado llamado óptico, ó de la vista, cuyo extremo se dilata en la parte posterior del ojo, en lo que se llama *retina*; la sensación de la obscuridad consiste en la completa tranquilidad de la retina: la excitación de ésta produce la sensación de la luz, sosteniéndose por los rayos luminosos que el mundo exterior le envía á través del ojo; sin embargo, también la sensación de la luz y del color puede existir sin que su causa provenga del mundo exterior. Por ejemplo, por medio de la fuerza de la sangre (lucecillas ó puntos brillantes que aparecen aun teniendo los ojos cerrados.) Una compresión exterior sobre el ojo cerrado, una descarga eléctrica, pueden producir la sensación de la luz.

Para la distinción de los objetos exteriores por la vista, se necesita un aparato singular que permita que los rayos que parten de un punto luminoso hieran también la retina en un punto, al cual no lleguen los que provienen de otros lugares: de este modo los diversos puntos de la retina son excitados de un modo diferente, y la

distinción es posible. Los animales inferiores á que tan singular aparato falte, no tienen vista, propiamente hablando, sino la facultad de distinguir entre lo alumbrado y lo obscuro ó el día de la noche, y aun para tal sensación necesitan de un aparato nervioso especial.

No todos los animales dotados de un aparato óptico propio para recibir las impresiones, lo tienen constituido del mismo modo. Principalmente pueden distinguirse dos clases de ojos, á saber: 1.º, *los agrupados en mosaico*, como los de los animales articulados; y 2.º, *los ojos de lente convexa* de los vertebrados. La Física sólo se ocupa del examen de estos últimos, y especialmente en los hombres.

**Ojo simple con lente convexa.**—La construcción del ojo es propiamente la de una cámara oscura. El globo entero del ojo está rodeado por una piel fuerte y gruesa, opaca, y sólo diáfana por su parte anterior, cuya parte se llama la *córnea*. La otra parte opaca se llama *túnica esclerótica*. La parte diáfana es mucho más convexa que todo el resto del globo, como se ve en la figura 156 que representa una sección horizontal del globo del ojo derecho.

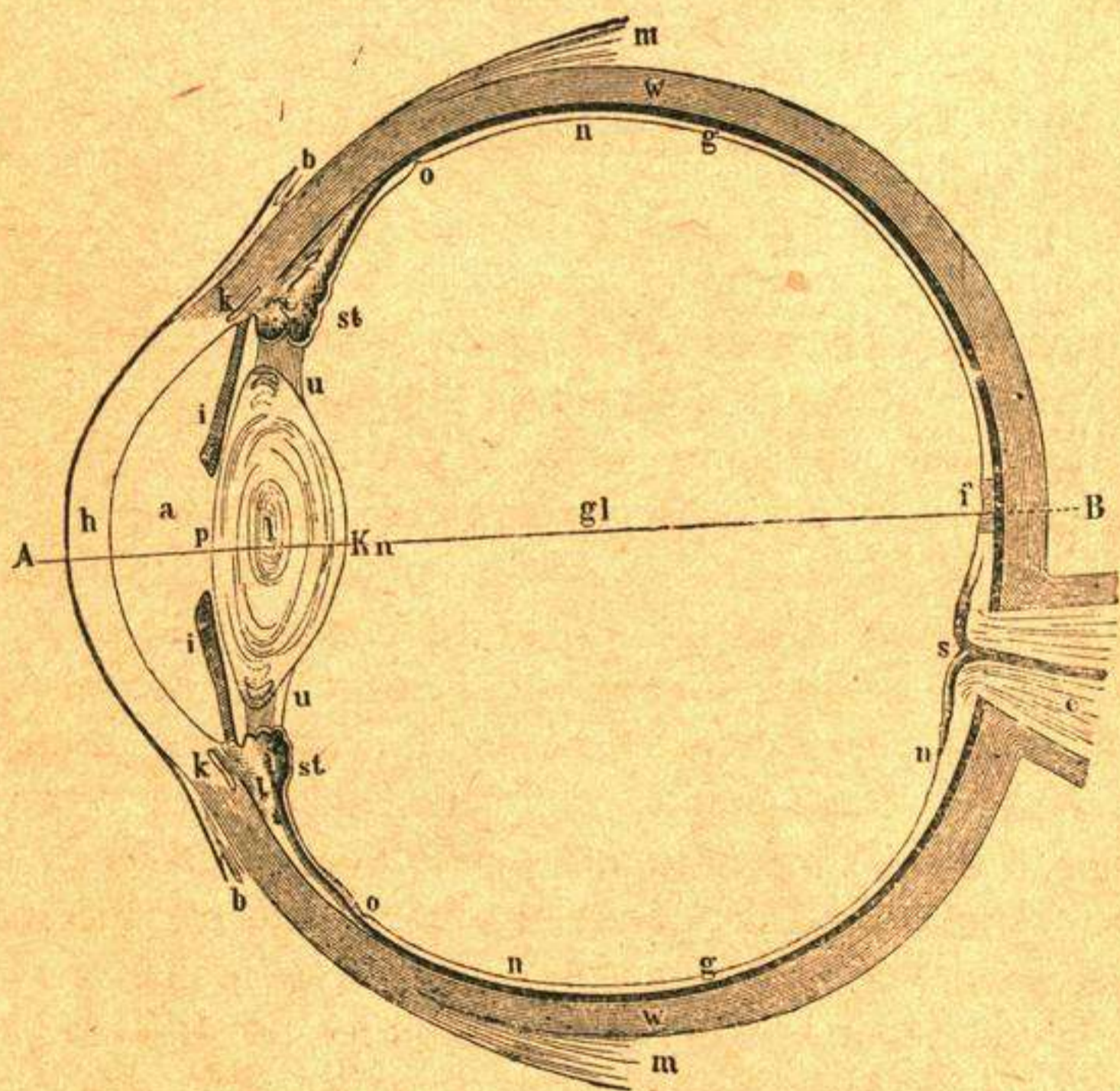


Fig. 156.

Después de la córnea *khk* está el iris *ii*, que es plano y separa la

parte convexa de la córnea trasparente de las demás partes del ojo. En el centro del iris hay una abertura circular *p* que por delante aparece enteramente negra y se llama la pupila. Detrás del iris y de la pupila se encuentra la lente cristalina *l* rodeada de una capa fuertemente sujeta á las paredes exteriores del ojo. El espacio que hay entre el cristalino y la córnea está lleno de un líquido claro, algo ácido, que se llama *humor acuoso*. El espacio *gl* de detrás de la lente está á su vez enteramente lleno de una substancia trasparente gelatiniforme, llamada *humor vítreo*.

El cristalino es por delante más plano que por detrás. Además de la piel dura *kwok* está revestido el ojo en su interior por otra llamada *túnica coroidea*, y sobre ésta, finalmente, se encuentra la retina, que es solamente una dilatación del nervio óptico. La túnica coroidea que reviste todo el interior del globo del ojo, está cubierta de un pigmento ó materia colorante negro. Esta coloración es necesaria, pues de lo contrario, la reflexión dentro del ojo perjudicaría la pureza de las imágenes.

En esto mismo se funda la coloración negra del interior de los anteojos de larga vista.

Los rayos de luz que caen sobre el ojo, unos hieren las partes exteriores de la esclerótica (blanco del ojo), y son reflejados irregularmente, y otros penetran por la córnea. Los que penetran cerca de los bordes de ella caen sobre el iris que los refleja en todos sentidos irregularmente, por lo cual se hace visible el color de esta membrana. Los rayos que entran por el centro caen á través de la pupila en la lente, y son refractados sobre la retina, y de tal modo, que todos los que provienen de un mismo punto del objeto, se reúnen en un mismo

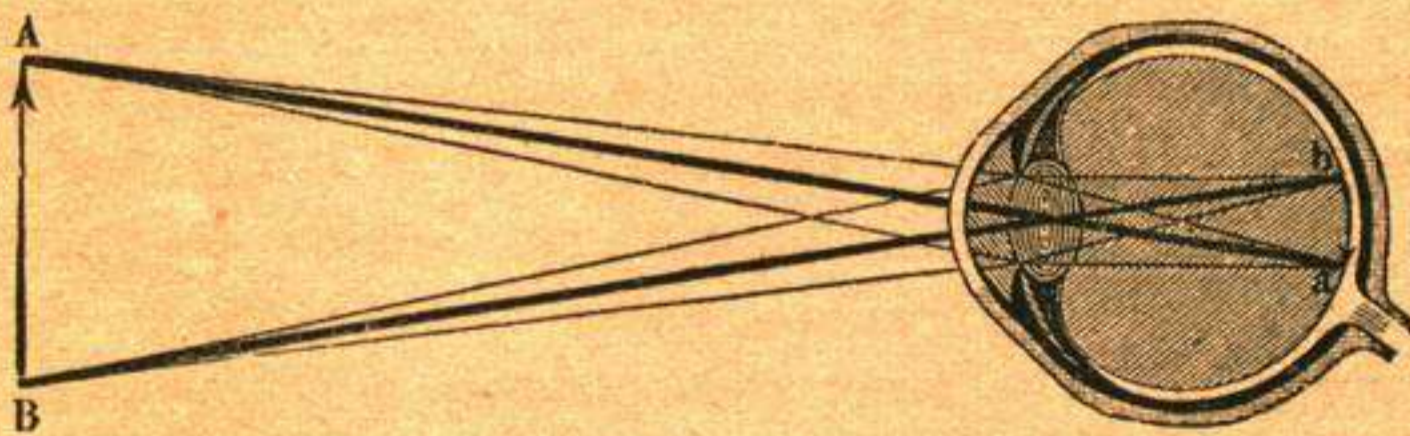


Fig. 157.

punto de la retina, como se representa en la (figura 157.) De este modo se pinta en ella la imagen invertida del objeto, de igual manera que en la pared de una cámara obscura.

La existencia de tales imágenes en la retina se comprueba examinando el ojo de un animal recién muerto, por ejemplo, de un buey.

Para este examen se necesita abrir una ventana ó abertura cua-



drangular en la parte superior y opaca de la esclerótica, de modo que se pueda mirar á través de ella á la retina (tal se representa en la figura 158.)

**Alteraciones. — Acomodación, miopismo y presbicia.** — Hemos visto,

al hablar de las lentes, que las imágenes que producen varían de lugar según que el objeto se aproxima ó aleja, y que la imagen se separa tanto más de la lente, cuanto más se acerca ésta al objeto. Como el ojo se comporta como una lente, y no vemos con claridad sino cuando la imagen se pinta con distinción en la retina, parece que debíamos deducir que sólo á una distancia determinada de

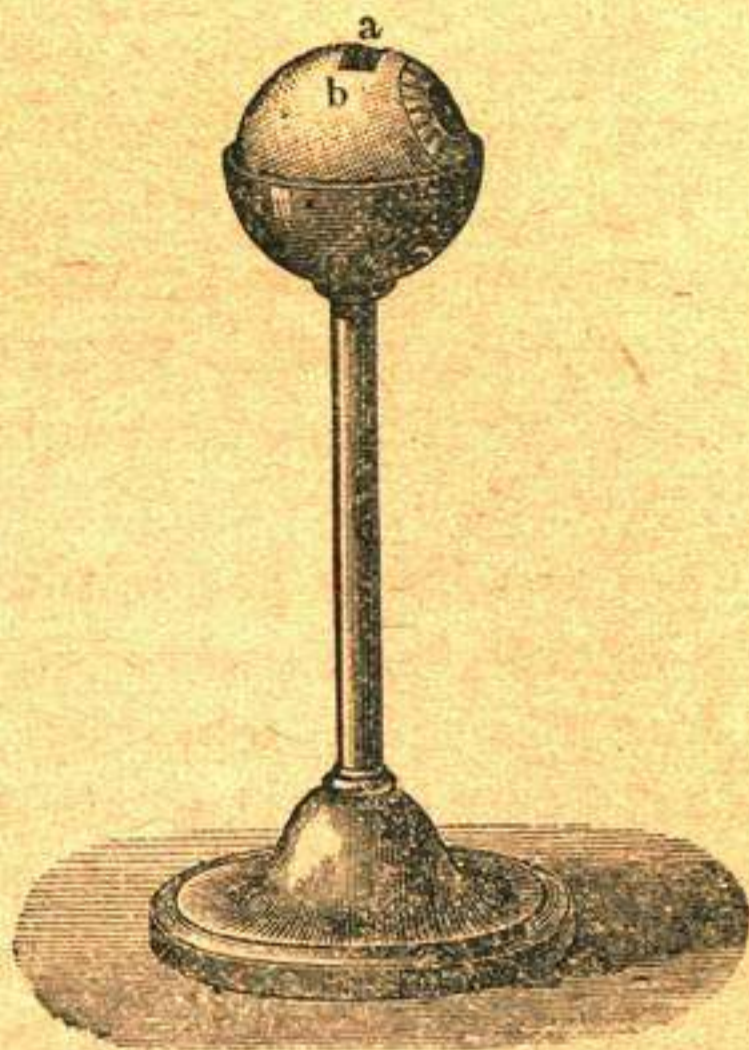


Fig. 158.

los objetos podríamos verlos claramente; y sin embargo, la experiencia muestra lo contrario. Un ojo en buen estado ó normal puede ver con distinción desde la distancia de 30 centímetros hasta una ilimitada, y por consiguiente, debe tener la facultad de acomodarse á las distintas distancias.

Cramer ha observado, examinando las imágenes dadas por las caras anterior y posterior de la lente cristalina, que para la visión de objetos próximos se adelanta la lente, y su superficie posterior se hace más convexa.

Para cada ojo hay una distancia particular, á la cual ve los objetos más claramente: ésta se llama la *distancia de la visión distinta*: tal distancia es, por ejemplo, la en que cada cual puede ver un impreso en caracteres pequeños. Regularmente para ojos bien constituídos, la distancia normal son 30 centímetros. Un ojo cuya distancia de visión es menor, se dice corto de vista ó miope, y si es mayor présbite.

La confusión de la visión de objetos colocados á muy corta distancia del ojo, procede de la gran divergencia de los rayos que salen de cada punto del objeto, de tal modo, que los medios del ojo no son capaces de reunirlos sobre la retina. De aquí procede que el cono de rayos que forma la lente, no tenga su vértice en la retina, sino en un punto detrás de ella, por lo cual sobre éste se pinta, no un punto imagen del punto del objeto, sino una serie de puntos en circunferencia, procedente de la intersección del plano de la retina con el cono

convergente; esta imagen circular del punto se llama círculo de divergencia.

La miopía y la presbicia son defectos cuya causa se debe de buscar en faltas de la facultad de acomodación, por lo que particularmente la curvatura del ojo tiene un gran influjo en estos defectos. La miopía procede frecuentemente en haber descuidado la visión á distancia. Los jóvenes que al leer ó escribir se acercan mucho al papel se suelen poner miopes: también mirando con frecuencia á través de un microscopio se puede convertir un ojo normal en miope.

El medio más sencillo para evitar la miopía y la presbicia consiste en poner entre el objeto y el ojo una cartulina con un agujerito, cuando se hayan de mirar objetos microscópicos, por más que la distinción del objeto sea á costa de su claridad.

Un segundo medio son las gafas de lentes cóncavas para los miopes y convexas para los présbites. En los primeros las imágenes de los objetos lejanos se forman delante de la retina porque su ojo no se acomoda á la distancia; por esto con la lente cóncava se varía la refracción de los rayos de tal modo, que entrando más divergentes en el ojo, tienen su punto de coincidencia (después de pasar por la lente de éste) más retrasado que antes de interponer la de cristal, y se concibe que sea con esto posible que vengan á pintarse ó coincidir en la retina.

En los présbites la imagen de los objetos próximos se pinta ó coinciden los rayos de un mismo punto, en uno detrás de la retina, y esto se varía con la lente convexa de cristal que, refractando los más convergentes sobre el ojo, al ser nuevamente refractados convergentemente por éste, puede lograrse que su coincidencia ó imagen se adelante y pinte sobre la misma retina.

Claro es que la miopía ó presbicia tienen diferentes grados, y por tanto, cada uno necesita de diversas lentes en su clase; la elección de las convenientes se hace probando cuáles son las que procuran una visión distinta á la distancia normal de 25 á 30 centímetros.

La miopía suele ocurrir en la edad media en los hombres, y la presbicia en la vejez.

**Límites de la visión.**—Para que un objeto sea visible, el ángulo visual, bajo el cual aparece, ha de estar entre ciertos límites, los cuales son variables en cada caso, pues dependen de la iluminación y color del objeto, de la naturaleza del fondo sobre que se destaca y de la particular constitución de cada ojo. Para un ojo común, está bajo buenas condiciones de visualidad un objeto regularmente ilu-

minado, cuando aparece aun bajo un ángulo visual de 30 segundos. Un objeto muy claro, como, por ejemplo, un alambre de plata incandescente, presentado sobre fondo obscuro, es visible, aun bajo un ángulo de 2 segundos. También los cuerpos oscuros pueden verse muy claramente sobre fondos blancos, aun cuando ellos sean muy finos ó delgados. Un ojo medianamente organizado puede distinguir un cabello á un metro de distancia sobre el fondo claro del cielo.

**Duración ó persistencia de la impresión.**—Si con un carbón encendido describimos en el aire rápidamente una ó varias circunferencias, no distinguimos el carbón, sino una línea continua circular de fuego. La razón de esto es que un lugar de la retina, excitado por la impresión de una luz, no vuelve al reposo instantáneamente, aun



Fig. 159.

cuando la luz desaparezca. En esto mismo se funda que no podemos distinguir los rayos de una rueda que voltea muy deprisa: por eso, si un círculo de cartón se pinta en cuarteles ó sectores blancos y negros (fig. 159) y se le hace girar rápidamente, aparece de color gris uniforme. Pero si se le hace girar en la obscuridad y se le ilumina por un momento, como por ejemplo, con la chispa eléctrica, se distinguen bien los sectores blancos y negros.

## LECCION 32

L. 60.

**Microscopio simple.**—La magnitud aparente de un objeto depende del ángulo de visión, bajo el cual aparece. Este ángulo es tanto mayor cuanto más cerca está el objeto del ojo; de aquí que á ojo desnudo sólo podemos ver los objetos entre cierto límite de magnitud, tanto por los que tiene el cuerpo, como por la distancia á que hay que colocarlo para la visión distinta y clara de él. Para mayor aumento del ángulo de visión se emplean instrumentos que se llaman *microscopios*. Así, la visión á través de un agujero pequeño, hecho en un naipe ó cartulina, aumenta el ángulo de visión, siendo esta una especie de microscopio, y por cierto de los que se llaman *sencillos ó simples*. Sin embargo, el nombre de microscopio simple se da regularmente sólo á las lentes convexas de corta distancia focal.

Para comprender cómo una lente de esta clase puede servir para

este fin, basta considerar la fig. 160. En ella AB es un objeto que

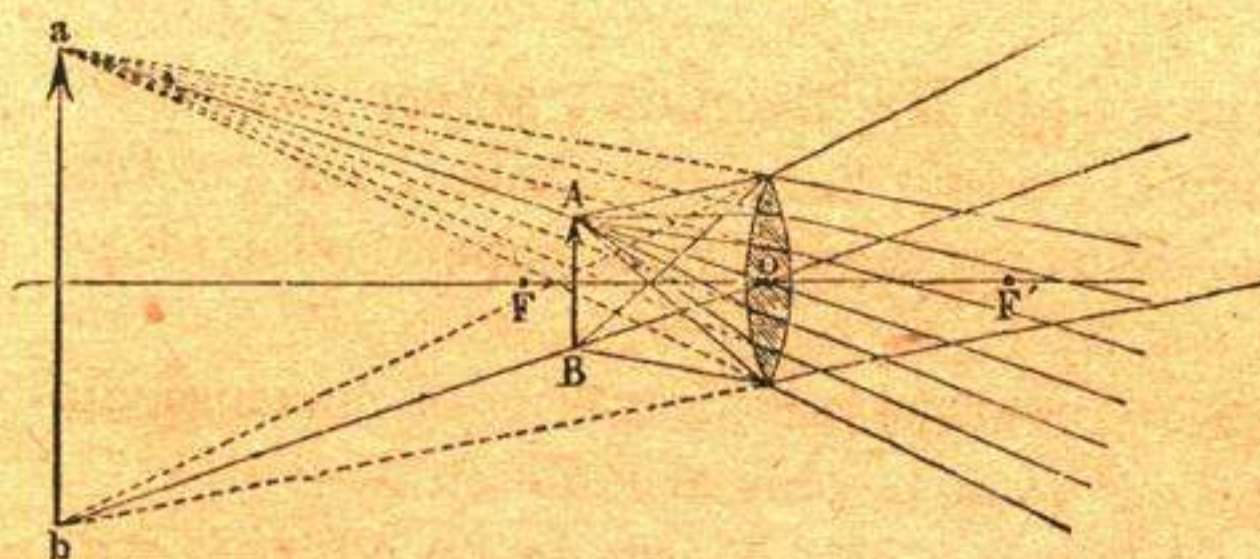


Fig. 160.

se ha puesto entre el foco y la lente, es decir, dentro de la distancia focal; por tanto, los rayos divergentes que de cualquiera de sus puntos parten, por ejemplo,

de A, al atravesar la lente, aparecen como si proviniesen de un punto *a*, donde se encuentra al prolongar las direcciones en que salen de ésta. Y como lo mismo acontece con los de B, la imagen, vista á través de la lente, aparece en *ab*, y será distinguida claramente por el ojo que esté detrás de la lente, si la imagen *ab* se encuentra de él á la distancia de la visión distinta. En este caso el objeto real AB se halla tan cerca del ojo, que sin la lente no se vería.

La fuerza ó aumento de la lente consiste, por tanto, en que hace posible poner el objeto tan cerca del ojo, que, en su consecuencia, el ángulo de visión se agranda.

Para determinar el grado de aumento de la lente, hay que comparar la magnitud del ángulo de visión, bajo el cual aparece *ab* á la distancia de la visión distinta, con el ángulo de visión, bajo el cual aparecería al ojo desnudo, es decir, sin la lente interpuesta, si se pusiera á la misma distancia.

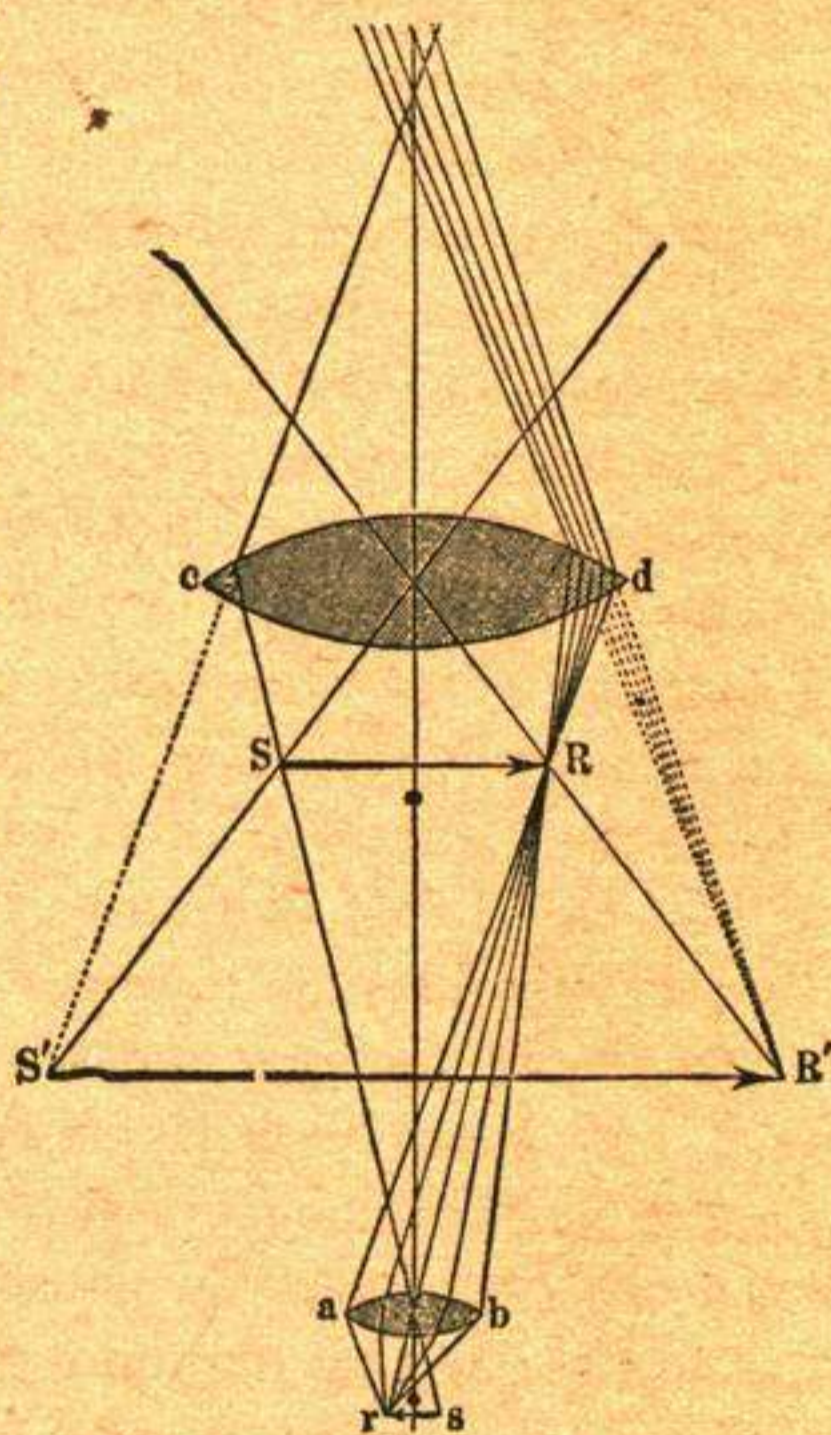


Fig. 161.

**Microscopio compuesto.**—Los fundamentos en que descansan las variaciones introducidas en los microscopios son las siguientes:

1.º (Fig. 161). El objeto sometido á la experiencia se pone muy cerca de una lente convergente *ab* de corta distancia focal y siempre más allá de ésta.

Esta lente puede ser simple ó compuesta, y se llama el *objetivo del microscopio*.

2.º El objetivo da una imagen  $RS$  invertida y aumentada del objeto  $rs$ , la cual se contempla á través de una segunda lente convergente  $cd$ , que se llama el *ocular*, y hace aquí el papel de microscopio para ver la imagen real  $RS$  en  $R'S'$ .

Los rayos que salen de  $r$  divergen al atravesar el instrumento como si proviniesen de  $R'$ , y los de  $s$  como si viniesen de  $S'$ .

Así, pues, todo microscopio compuesto consta de un objetivo y de un ocular. El aumento de tales microscopios es igual al producto de los que cada una de sus dos lentes daría por sí sola. Por ejemplo, si el objetivo da 5 de aumento de diámetro y el ocular 10, el aumento sería  $5 \times 10$  en diámetro, claro es que en superficie sería  $50 \times 50 = 2500$ .

**Anteojos.**—Así como el propósito de los microscopios es hacer ver los objetos que por pequeños escapan á la simple vista, el de los anteojos es mostrarnos los objetos lejanos, de modo que se puedan apreciar detalles perdidos para el ojo desnudo.

Los anteojos constan también de un objetivo y un ocular reunidos, siendo el primero una lente de gran distancia focal, sin dispersión para la mayor distinción y pureza de las imágenes.

Las diferentes clases de anteojos se distinguen por la distinta constitución de su *ocular*. En el antejo *holandés* el ocular consiste en una lente divergente; en el astronómico consta de una ó dos lentes convergentes, y por último, en el antejo terrestre ó de larga vista, el ocular tiene tres ó cuatro de estas lentes.

El antejo holandés ó de Galileo, cuya representación esquemática es la figura 162, consiste en un objetivo  $oo$  que produciría en  $ab$  una imagen invertida del objeto  $AB$  si los rayos no encontrasen la lente cóncava  $vv$  que sirve de ocular, el cual se halla colocado de manera que la distancia de la imagen  $ab$  á él, sea algo mayor que la del punto de divergencia de la lente. En consecuencia de esto, todos los rayos convergentes que irían á un punto de la imagen  $ab$ , son refractados por el ocular, de manera que salen como si proviniesen de un punto delante de él. Así los rayos provenientes del punto más alto  $A$ , que después de pasar por el objetivo convergen hacia  $a$ , por su encuentro con el ocular divergente, aparecen como si viniesen de  $a'$ . De un modo análogo, los que salen de  $B$  pasan por el objetivo, atraviesan el ocular y aparecen provenir de  $b'$ . La imagen, por tanto, se forma derecha en  $a'b'$ .

*Anteojo astronómico.*—En estos anteojos la imagen que se produce es *real*, y se contempla por una ó varias lentes, á manera de lo ya expuesto para los microscopios.

Así (fig. 163), el objeto *AB* produce, por medio de la lente *OO*, una imagen *ab* real, invertida y menor que el objeto, la cual, contemplada por medio del ocular *o*, aparece aumentada en *a'b'*. En la figura se marca el trayecto que recorre el haz de rayos que sale del punto más alto del objeto.

*Anteojo terrestre ó de larga vista.*—El anteojo astronómico ofrece la imagen del objeto invertida; en la observación de los astros, esto no es ningún inconveniente; no así para objetos de la tierra, por lo cual se han construído oculares que enderecen las imágenes dadas por el objetivo de los anteojos astronómicos, y los instrumentos que tienen esta

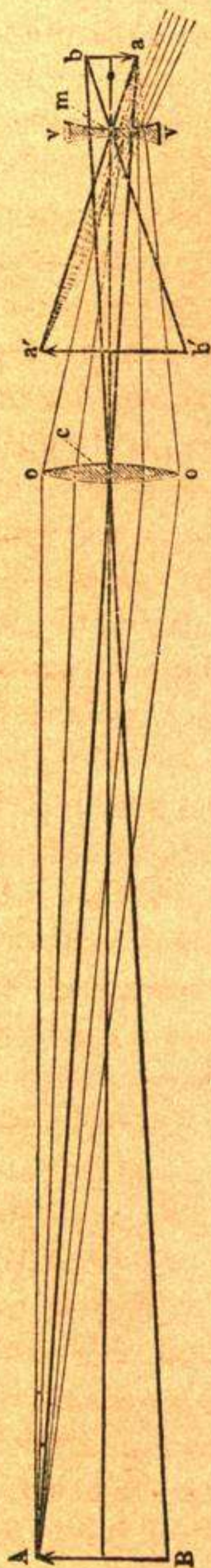


Fig. 162.

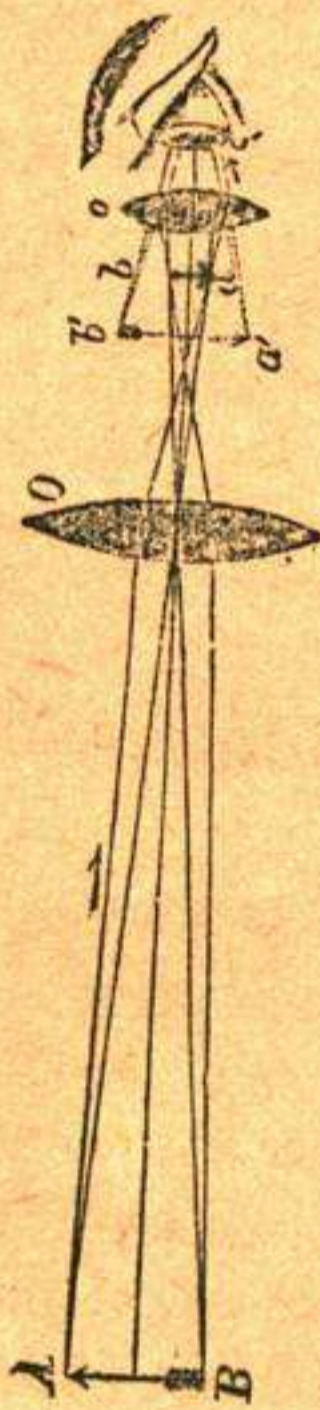


Fig. 163.

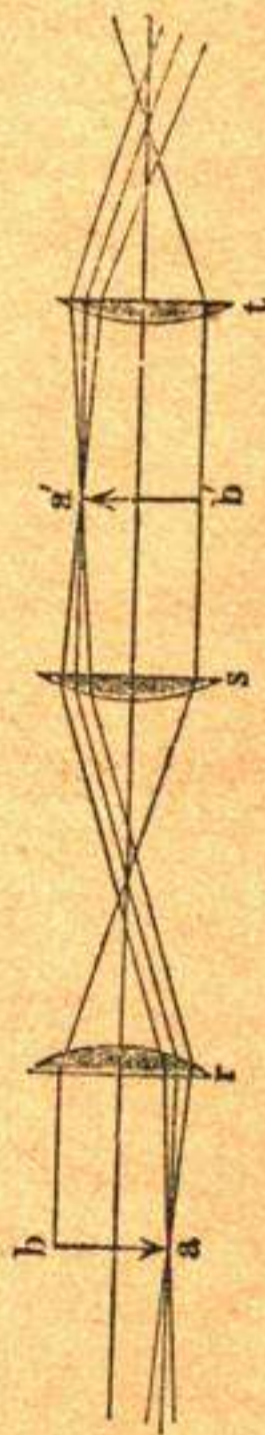


Fig. 164.

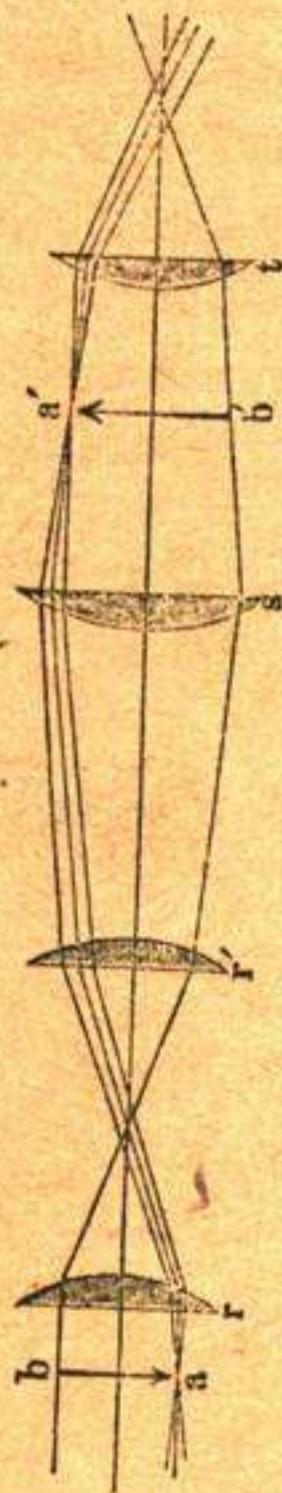


Fig. 165.

construcción son los que se llaman anteojos terrestres ó de larga vista. El ocular de uno de estos instrumentos llamado también *ocular te-*

*terrestre*, no es en la esencia más que un microscopio compuesto, con la sola diferencia de que el objetivo es menos poderoso que en los microscopios comunes. La fig. 164 representa el objetivo construído primitivamente por Rheitas. Consiste en tres lentes: la primera  $r$  es en cierto modo el objetivo;  $s$  la colectora, y  $t$  la que se aplica al ojo en el microscopio, y á través de la cual se contempla la imagen invertida  $ab$  dada por el objetivo. Esta disposición se ha modificado después, substituyendo por la lente de delante  $r$  otras dos, como se representa en la fig. 165, que es la disposición actual de los anteojos terrestres. Según ella, la imagen  $ab$ , producida por el objetivo del anteojo, cae dentro de la distancia focal de la primer lente  $r$ , de modo que los rayos que parten de un punto de esta imagen, salen divergentes después de atravesar  $r$ . Este haz corta al eje antes de encontrar á la segunda lente  $r'$ , que los pone paralelos ó convergiendo débilmente, de modo que al atravesar la tercer lente  $s$ , vienen á formar la imagen derecha  $a'b'$ . Tanto en el lugar del eje entre  $r$  y  $r'$ , donde lo cortan los haces de rayos, como en el que aparece la imagen  $a'b'$ , se ponen diafragmas para evitar la concurrencia de otros rayos que perjudiquen la claridad de las imágenes.

Los anteojos terrestres, para hacerlos trasportables, se suelen componer de tubos que enchufan unos con otros, y por tanto, se reducen á una pequeña longitud: tal se representa en la figura 166.

**Gemelos.**—Llámanse así á dos anteojos de Galileo, unidos pa-

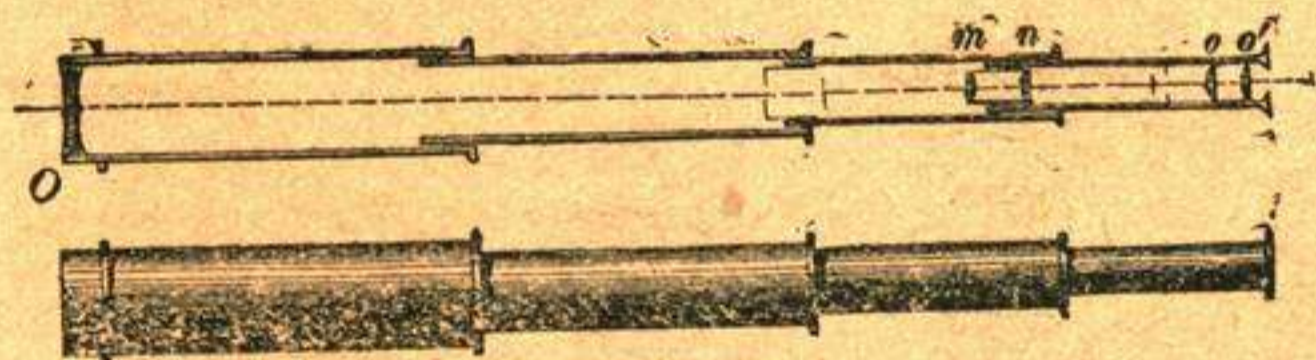


Fig. 166.

ralelamente sus ejes, de modo que tengan entre sí la distancia usual de las pupilas en los hombres. Además,

los tubos que llevan los *oculares* están unidos rígidamente y enchufan, á rozamiento dulce en los que tienen los objetivos: estos van á su vez en dos tubos igualmente unidos por dos travesaños; forman, pues, los oculares y los objetivos dos sistemas aislados que se ligan por el enchufe de un vástago central que termina en un tornillo cuya rosca se ajusta á la tuerca giratoria labrada á todo el largo del interior del vástago de los objetivos. Si se hace girar este vástago alrededor de su eje, se unen ó separan las dos armaduras, con lo cual logra el que usa los gemelos poner los oculares y objetivos á la distancia conveniente para la visión distinta del objeto á que mira.

**Anteojo corneta de Porro.**—Consiste este telémetro en una espe-

cie de envuelta algo cónica en cuya cara anterior hay una lente convexa L que sirve de objetivo, y en la posterior otra análoga o, que hace de ocular; dentro del armazón hay dos prismas triangulares, rectangulares M y N, situados de manera que sus aristas sean perpendiculares y permiten que el ojo puesto en o pueda ver en la dirección o o' (fig. 167) la imagen de un objeto lejano AB, cuyos rayos

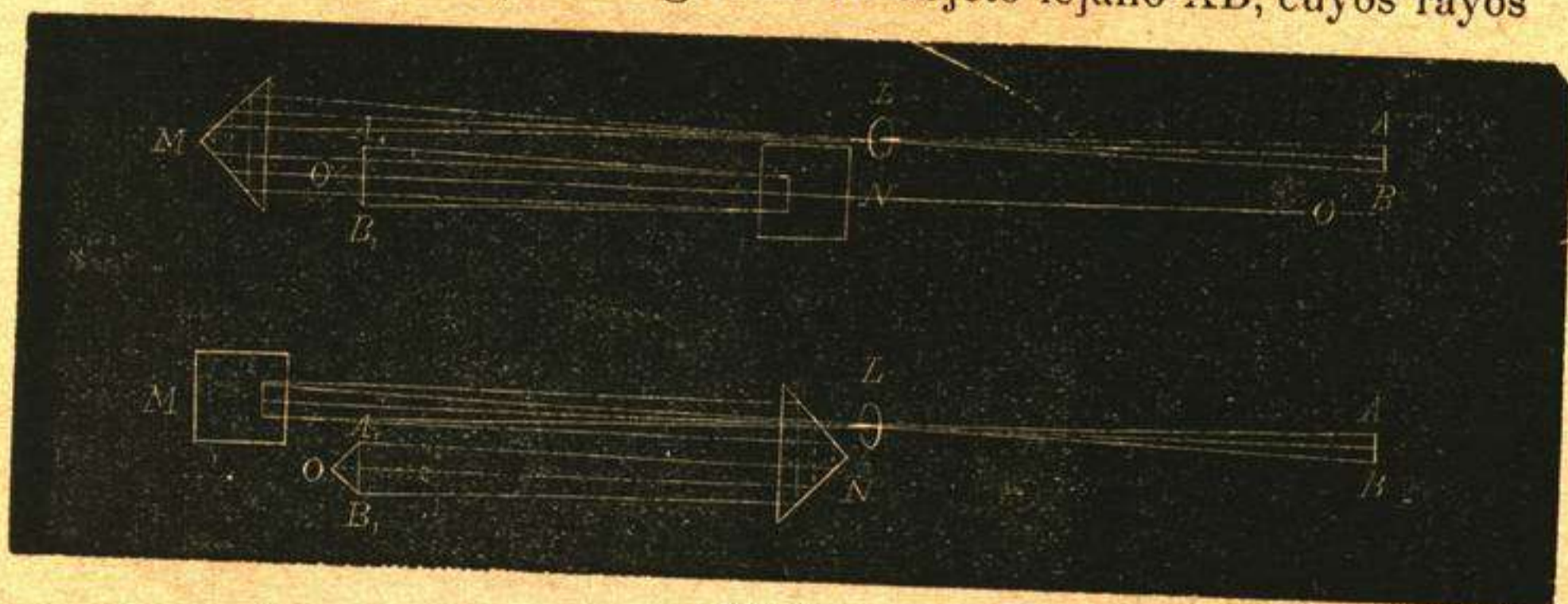


Fig. 167.

entran perpendiculares en el primer prisma por la cara hipotenusa, sufre en él dos reflexiones totales y sale lateralmente desviado. También en el segundo prisma sufre el haz dos reflexiones totales antes de llegar al ojo. En virtud de esta disposición, la imagen producida por el objetivo viene á formarse á una distancia de éste, mucho mayor que la longitud del anteojo y se desvía lateral y paralelamente. Por tanto, alargando así por los dos prismas el trayecto que han de recorrer los

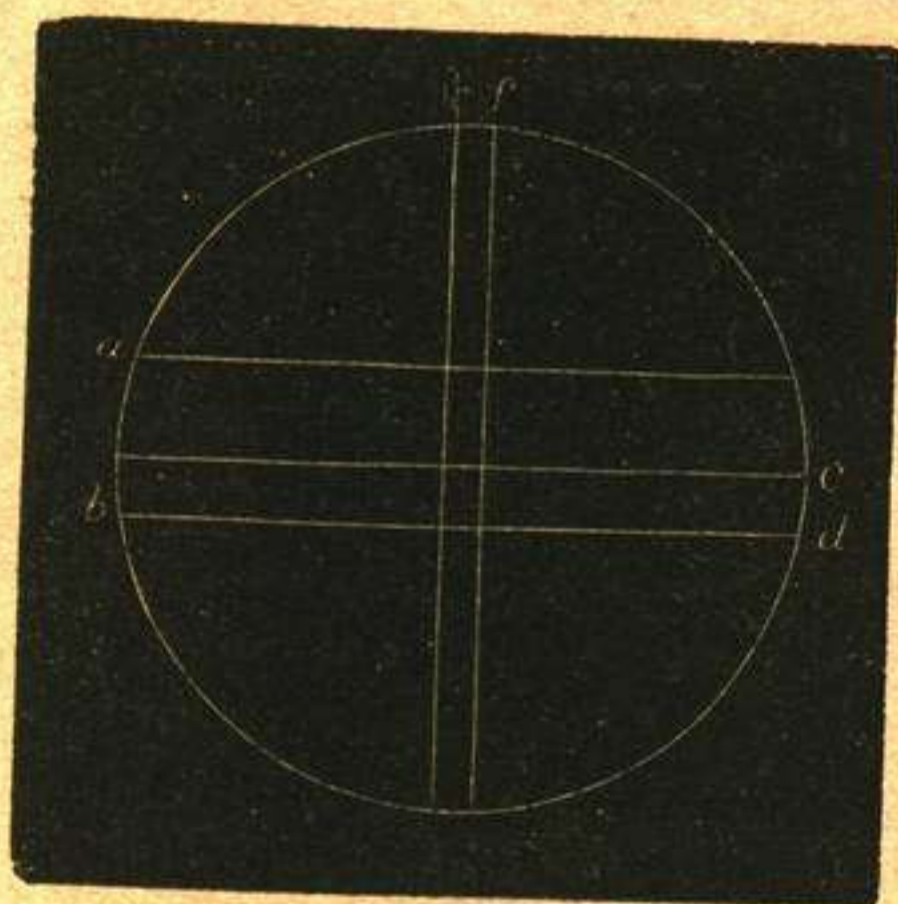


Fig. 168.

rayos, se puede acortar mucho la longitud del anteojo, que con las dos lentes constituye; aún surten los prismas otro efecto, y es que por estar cruzados en ángulo recto, enderezan la imagen invertida que de los objetos produce el objetivo. En suma, la introducción de los dos prismas con el sistema de las dos lentes, produce el tener un anteojo terrestre de cortas dimensiones y mucho alcance; para convertirle en telémetro militar le añadió Mr. Porro (oficial de ingenieros, ita-

liano) un micrómetro de su invención formado de muchos hilos, como indica la figura 168, después dibujó sobre un plano de líneas para-



lelas (fig. 169) algunos objetos de dimensiones conocidas, este plano lo pegó al armazón del instrumento y su uso es el siguiente: Los hilos *d* y *b* del micrómetro están situados de modo que abrazan el intervalo de  $1^m$  por  $100^m$  de distancia del objeto; los *c* y *d* no interceptan más que medio metro y los *e*, *f*  $0^m,2$ .

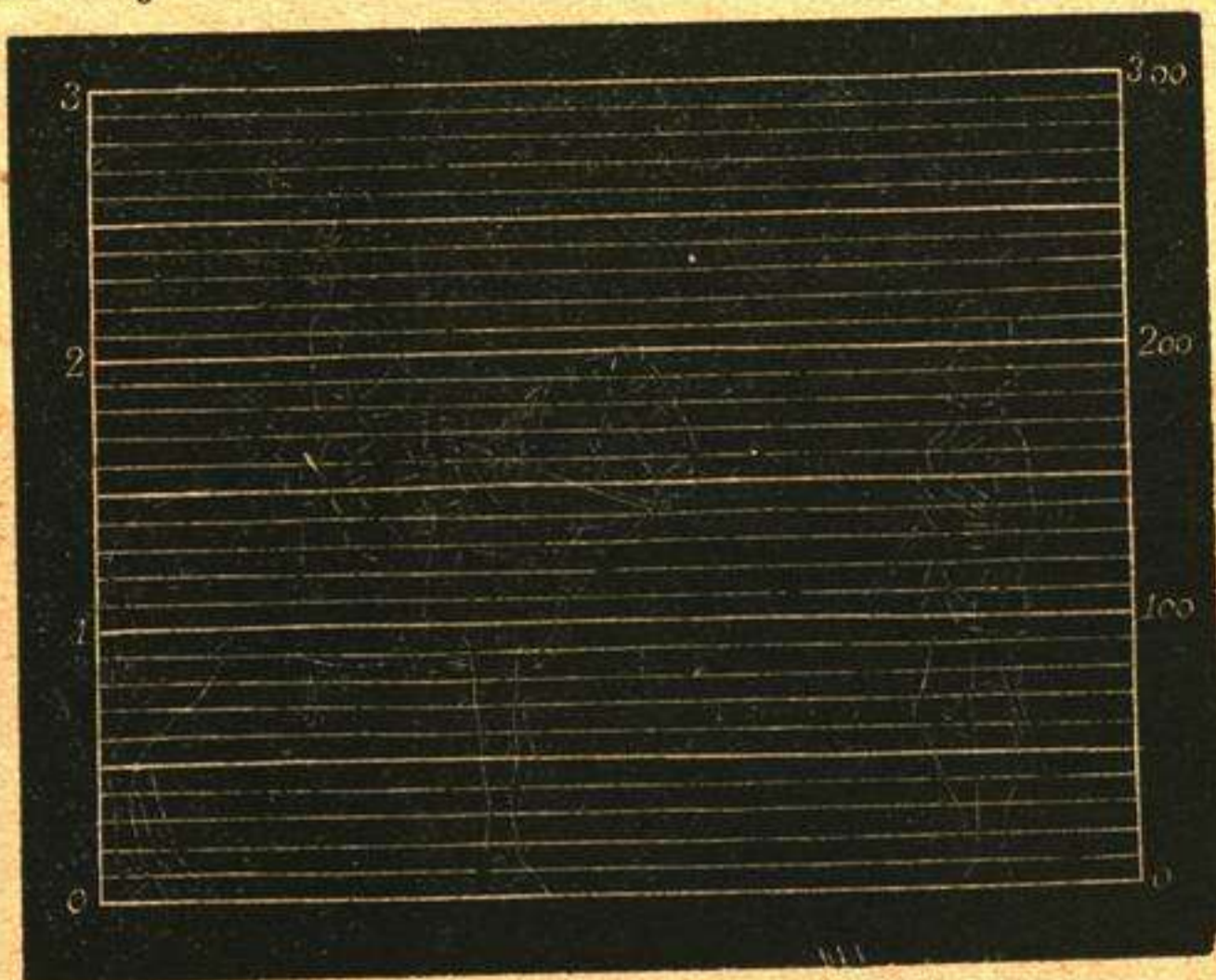


Fig. 169.

Para evaluar con este instrumento así preparado la distancia á que está un objeto que á su través se mira, y que es homólogo al dibujado en el planito, se investiga qué espacio de entre los detalles de ellos está comprendido en la imagen entre dos de los hilos: según sea el par de hilos que se emplea y las paralelas de la estampilla que cortan del mismo modo al objeto pintado, así se obtiene la distancia en metros, doubles metros, ó decámetros.

Es evidente que para esto han de estar separadas las paralelas de la estampilla en  $0^m,001$  que vienen á ser decímetros en las dimensiones reales del objeto.

Cuando el terreno no es muy accidentado no hay necesidad de la reducción al horizonte de la distancia dada por el telémetro.

**Cámara obscura.**—La cámara obscura consiste en una lente convergente de mucha distancia focal, destinada á dar la imagen de un objeto ó paisaje que se pone delante, y cuya imagen real se recoge sobre una pantalla en un recinto *oscuro*, á fin de que la luz difusa no perjudique la claridad de ésta. Entre las cámaras oscuras de más uso se encuentra la usada por los fotógrafos, y consiste (fig. 170) en una caja *aa* en forma de paralelepípedo recto rectangular, cuya cara anterior lleva un tubo de latón *h*, en el cual enchufa otro *i* que lleva una lente convergente: este tubo entra ó sale en el otro por medio de un tornillo *r*. La imagen que se origina por la lente se va á retratar en una lámina de vidrio deslustrado que está enfrente: la distancia del objeto determina la en que se ha de colocar la lámina de vidrio para

recoger su imagen en el punto de reunión de los rayos refractados por la lente.

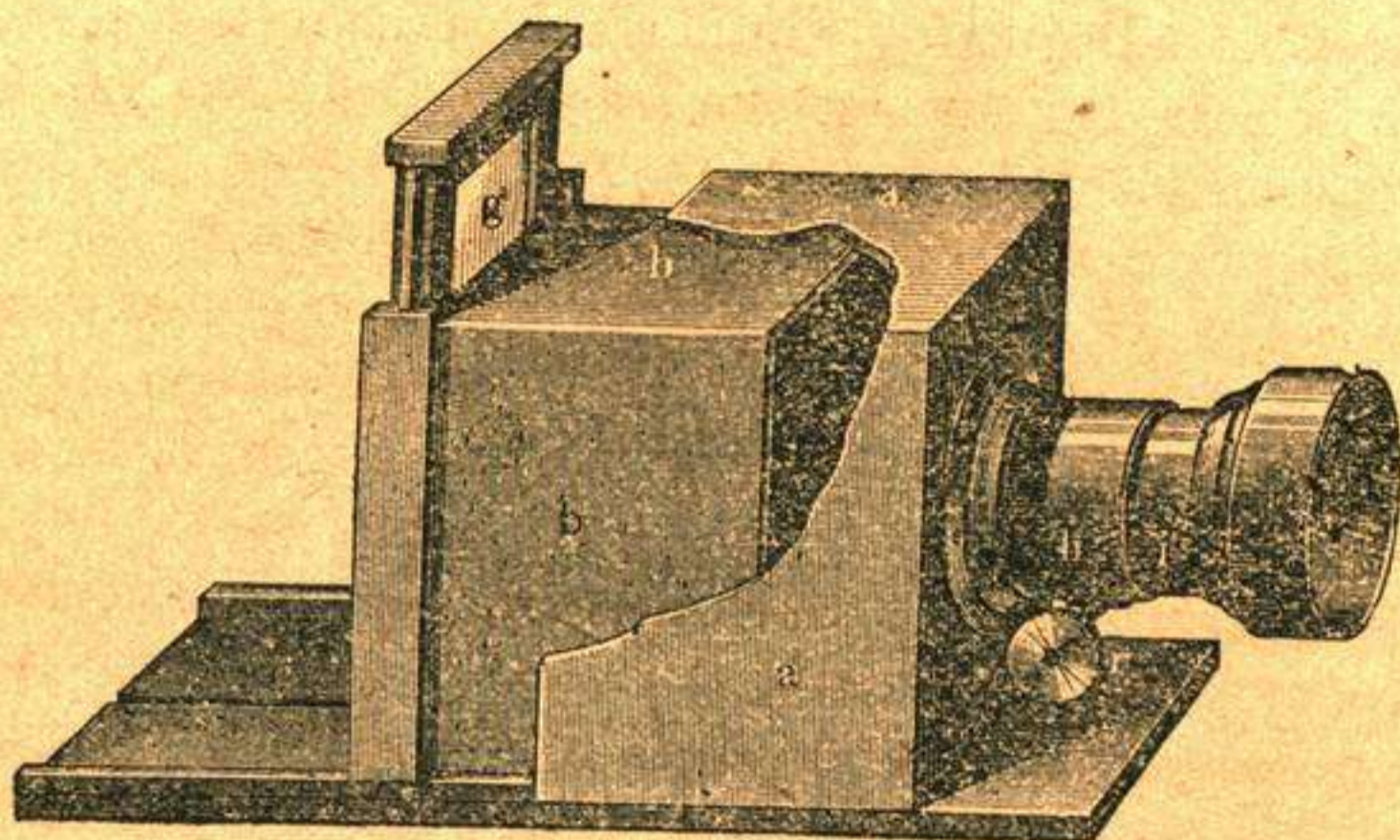


Fig. 170.

La figura 171 representa una cámara obscura para sacar paisajes:



Fig. 171.

la teoría de este aparato la explica la misma figura 172. Los rayos que parten del objeto se refractan á su entrada en prisma y reunen dentro de él, salen divergentes á pintar la imagen sobre la cara posterior del prisma, donde sufren una reflexión total para salir por la cara adyacente, dando una imagen real sobre el papel ó pantalla en que caen.

**Fotografía.**—Ya en 1801 tuvo Wedgwood el pensamiento de aprovechar el ennegrecimiento del cloruro de plata, por la acción de la luz, para fijar las imágenes obtenidas en la cámara obscura, y en realidad Davy (1801) presentó imágenes de objetos pequeños obtenidos con el microscopio solar sobre un papel

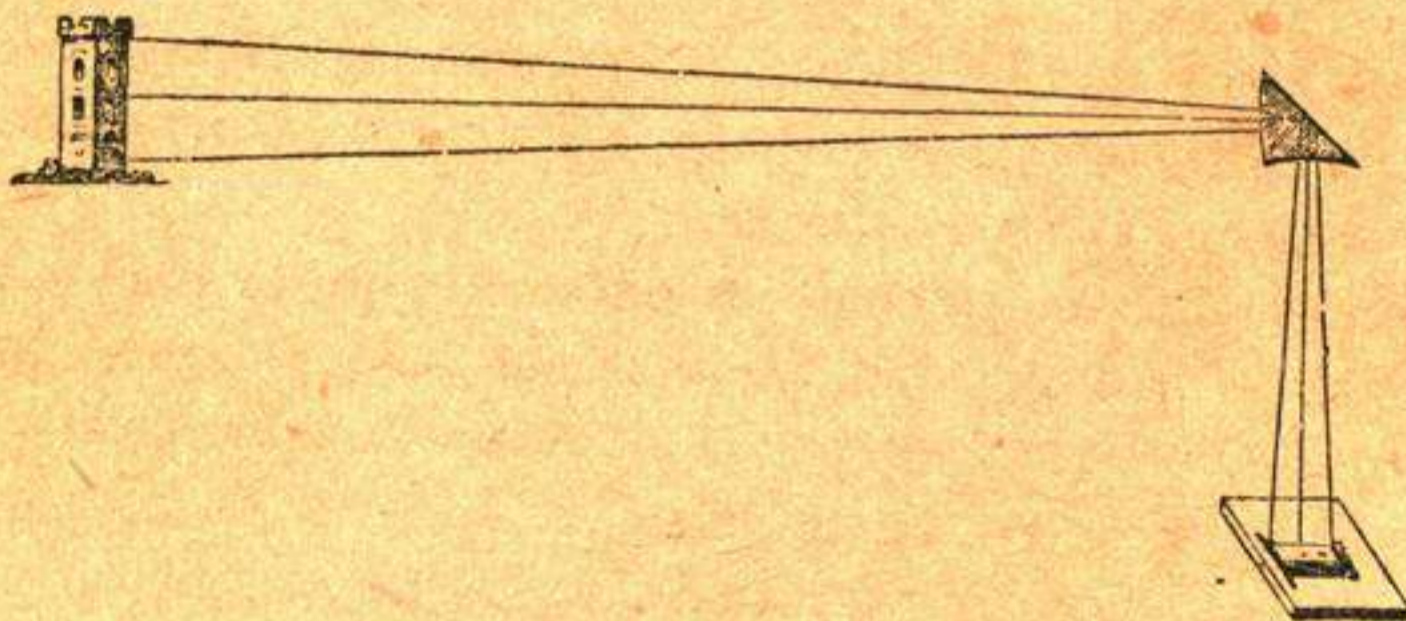


Fig. 172.

con cloruro de plata. Pero pronto se disipaban por la continuación de

la acción de la luz sobre esta substancia. Niepce usó una luz tal, que pudo fijar algún tiempo más las imágenes. Pero el verdadero progreso en esto se debió á Daguerre (1839). La materia sobre la cual las imágenes se colocan por este método (llamado Daguerrotipo) es una lámina de cobre plateada.

Talbot dió otro método para obtener la imagen por la luz, al cual llamó fotografía, y en su esencia consiste en obtener primero una imagen negativa del objeto sobre una substancia trasparente y de ésta una copia positiva sobre el cloruro de plata. La imagen negativa se fija sobre cristal.

El cristal negativo se pone en un marco que se llama de copiar (lleva una placa de cristal), detrás papel con cloruro de plata y detrás un paño negro; asegurado todo esto de modo que no se mueva, se expone el cristal á los rayos solares, de manera que atraviese por las partes claras de la imagen negativa, hasta el papel con el cloruro, y produce en él un ennegrecimiento. Producida así una imagen positiva sobre el papel, para que todo él no se ponga negro, se le quita todo el cloruro no atacado; para ello se le sumerge cierto tiempo en una disolución de hiposulfito de sodio y después en agua pura, lo cual es también fijar la imagen.

## LECCION 33

### Electricidad

4. 61.

*Llámase Electricidad á la causa desconocida que origina en las masas penderables, atracciones y repulsiones, á distancia que no pueden explicarse por las otras fuerzas naturales.*

Viene precedido el estudio de los fenómenos que origina este agente de un estímulo de curiosidad, excitada por las esperanzas del descubrimiento de nuevos efectos, por la singularidad é importancia de los ya conocidos, y por el mismo misterio del arte de movimiento y modificación de estructura del medio ambiente en que se producen sus efectos variados.

Dificulta el descubrimiento de la realidad objetiva de estos fenó-

menos, el que no tenemos un sentido apropiado para percibir la electricidad sin que se transforme en otros efectos, es decir, que la electricidad no nos produce una sensación particular, en un sentido también particular, como el que las ondas sonoras producen en el oído, ó las ondas rapidísimas etéreas de vibración transversal en los ojos, sino que nos apercibimos de que hay fenómeno eléctrico, cuando por los variados *efectos* de sus atracciones ó repulsiones, como movimientos de masas, sonido, luz, calor ó reacción química, se impresionan nuestros sentidos; pues no puede llamarse tal, las impresiones fisiológicas, por las descargas y corrientes á través del cuerpo humano; á lo menos no son apropiadas para el conocimiento íntimo del movimiento eléctrico.

El primer efecto que se notó de la fuerza eléctrica, y por el cual se la consideró como causa aparte de las otras ya estudiadas, fué, que frotando el ámbar amarillo, adquiría la propiedad de atraer á distancia cuerpos ligeros, como recortaduras de papel, barbas de pluma, polvos metálicos y otros análogos. Un estudio más atento de estos hechos, originados por el roce de masas ponderables, muestra que si se frota una barra de vidrio con un paño de lana, atrae á una

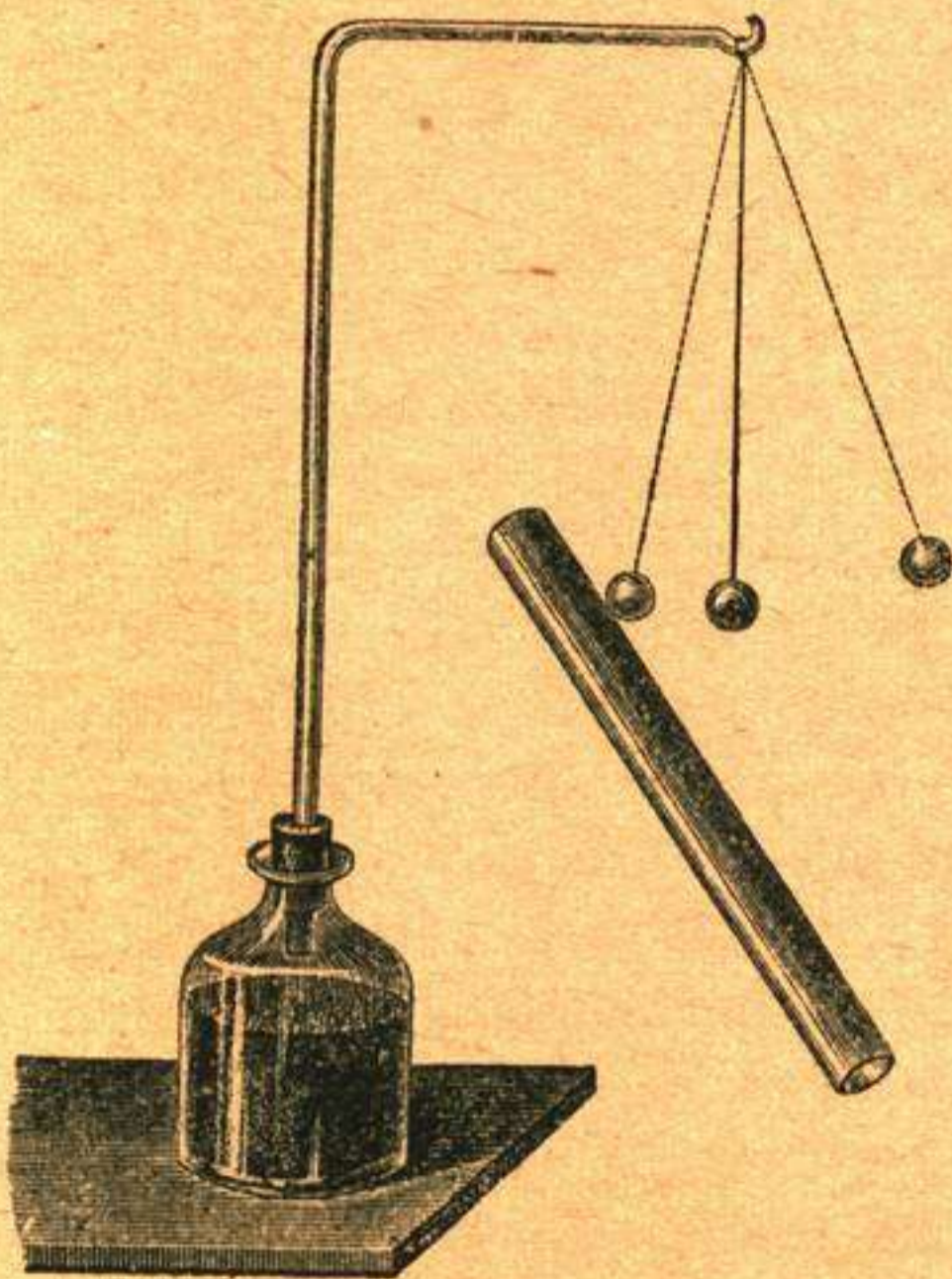


Fig. 173.

bolita de médula de saúco colgada por una hebra de seda, de un pie de vidrio (á cuyo aparato (fig. 173) se llama el *Péndulo eléctrico*) poco después de atraerla la repele; si á la bola repelida se le acerca una barra de resina ó de cautchouc frotada, la atrae.

En general, *dos cuerpos que se frotan, si uno de ellos es fácilmente movible, se atraen; y dos cuerpos de la misma naturaleza, frotados con un tercero, se repelen.*

Esta regla se suele expresar por modo más claro, admitiendo que dos cuerpos que se frotan adquieren *electricidades* contrarias, que se llaman *positiva* y

*negativa*, y estableciendo por experiencia que «*los cuerpos electrizados con nombres contrarios se atraen, y con el mismo nombre se repelen*».

Entre las muchas hipótesis hechas por los Físicos sobre la esencia de la fuerza eléctrica, Franklin emitió la de que todos los cuerpos tienen una cierta cantidad de materia imponderable, dependiente de su naturaleza y masa; cuando los cuerpos tienen justamente la cantidad que les corresponde, ó sea la *normal*, el cuerpo no exterioriza ningún efecto eléctrico, y se dice que está en estado *neutro*. Si por cualquier energía se acumula sobre el cuerpo más del *quantum* que constituye su estado normal, se dice que está electrizado *positivamente*, y si se le disminuye ese *quantum*, se dice que está electrizado *negativamente*.

El estado eléctrico de un cuerpo, sea éste positivo ó negativo, se expresa también diciendo que tiene *electricidad libre*.

Según Clausius la materia de que habló Franklin es el Eter.

Si bien el frotamiento es una de las formas de la energía que constituye á los cuerpos en estado eléctrico, es decir, es causa *electro-motriz*, no en todos los casos los mismos cuerpos, frotados, presentan las mismas clases de electricidades, como fácilmente se experimenta. En cambio, *en todos los casos de electrización por frotamiento se electrizan los dos cuerpos que rozan y con nombres contrarios*.

**Electroscopios.**—Llámanse así en general los aparatos destinados á mostrar si un cuerpo está electrizado y cuál sea la clase de su electricidad. Además del péndulo, ya mencionado, se han construído otros aparatos de indicaciones más precisas, por lo cual algunos suelen llamarlos *electrómetros*. Su construcción se funda en que si al extremo de un conductor aislado se pone un doble péndulo de médulas de saúco colgadas de hilos de lana, ó dos hojas de pan de oro, ó dos pajas ó cualquiera otros cuerpos ligeros conductores, y se le electriza con electricidad de nombre conocido, los péndulos divergirán. Y si se acerca un cuerpo electrizado á la barra conductora, aumentarán ó disminuirán su divergencia, según el cuerpo lo esté con el mismo ó nombre contrario: los péndulos se resguardan bajo una campana de cristal: La fig. 174 representa un electrómetro de paja, también se emplea el llamado de Henley (fig. 174 a) fundado en el mismo principio, y que se pone en los conductores aislados que van á recibir una carga eléctrica, para en cierto modo estimar cuál sea ésta.

**Conductores y aisladores ó dieléctricos.**—Frotada una barra de metal inmediatamente, manifiesta señales de electrización en todos sus puntos, parece como si en brevísimo tiempo, la alteración eléctrica se propagase por toda ella; en cambio en otros cuerpos, por ejemplo, en las barras de resina, parece que el estado eléctrico se limita al lugar

frotado. Los cuerpos de la primer condición se llaman *buenos conductores*, y los de la segunda, *malos conductores ó dieléctricos*.

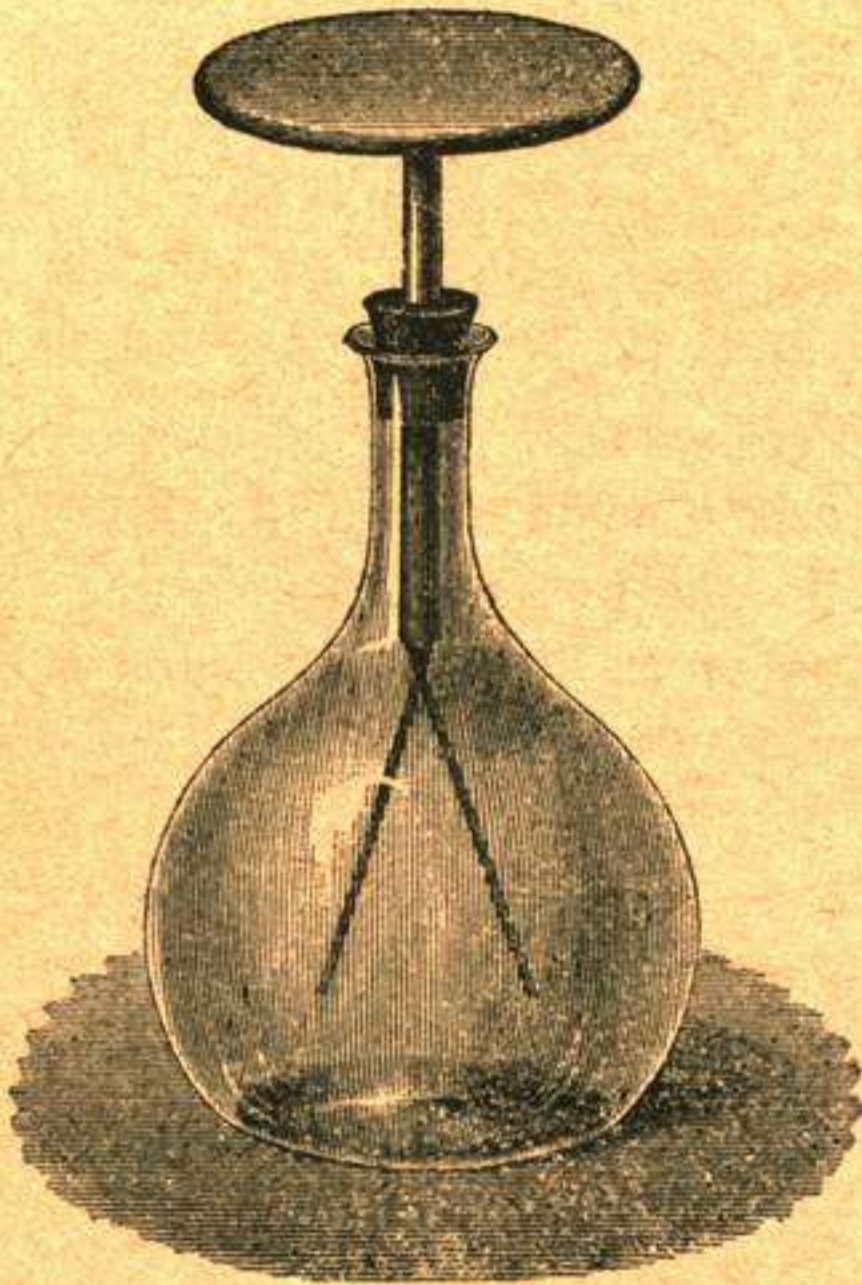


Fig. 174.



Fig. 174 a.

Son buenos conductores los metales y sus aleaciones, el suelo y los cuerpos húmedos, y por lo tanto, el vapor de agua.

Son malos conductores, el vacío, los gases y vapores secos, y entre los sólidos, el vidrio, las resinas, la ebonita (mezcla endurecida de caucho y azufre), celulosa, goma laca y otros; debe de tenerse presente, sobre la conductibilidad, que los cuerpos muy higroscópicos, se convierten en buenos conductores, cuando no están secos.

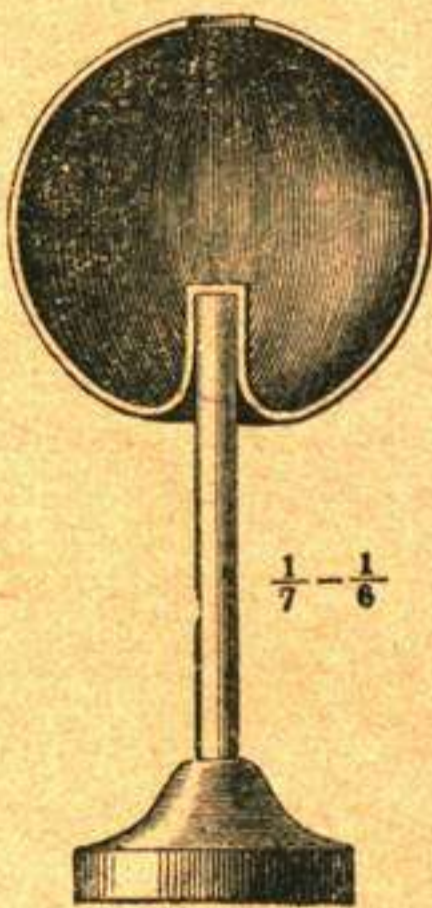


Fig 175.

**Modo de estar la electricidad sobre los conductores aislados.**—*Si un cuerpo buen conductor está suspendido ó sostenido en el aire seco, por cuerpos dieléctricos, se dice que está aislado. Si por un medio cualquiera se electriza, la electricidad en primer lugar va á su superficie más exterior: Esto se prueba con las siguientes experiencias:*

1.<sup>a</sup> Con una bola hueca de latón, aislada, (figura 175) que tiene una abertura en su parte superior; si se carga, por medio de cualquiera de las fuentes eléctricas, (que ya indicaremos) se experimenta con la lámi-

na de prueba (que es una chapa circular de latón, de área conocida, con un mango de vidrio, y se adapta á la superficie cóncava del interior de la esfera) que la bola no presenta en su interior señales de electrificación, toda vez que después de tocarla con la lámina, la cual se substituye en aquel lugar á un elemento de su superficie, y si hubiera allí electricidad libre, se electrizaría; pero se ve que llevada al péndulo, no da muestras de estar electrizada; en cambio, tocando al exterior, el plano de prueba se electriza y atrae al péndulo eléctrico.

2.<sup>a</sup> Faraday demostró esto mismo del modo siguiente: sobre un pie de cristal soldó una varilla metálica, en la cual cosió una manga cónica de lino (fig. 176) semejante en su forma á las redes para coger mariposas: por medio de un hilo de seda que está unido al vértice, se pueden invertir sus superficies. La experiencia consiste en cargar la manga de electricidad, y mostrar por el plano de prueba, que sólo de la superficie exterior toma electricidad: después por medio del hilo se invierten las superficies de la manga, y se vuelve á demostrar que sólo en la exterior (que antes era la interior) existe la electricidad.

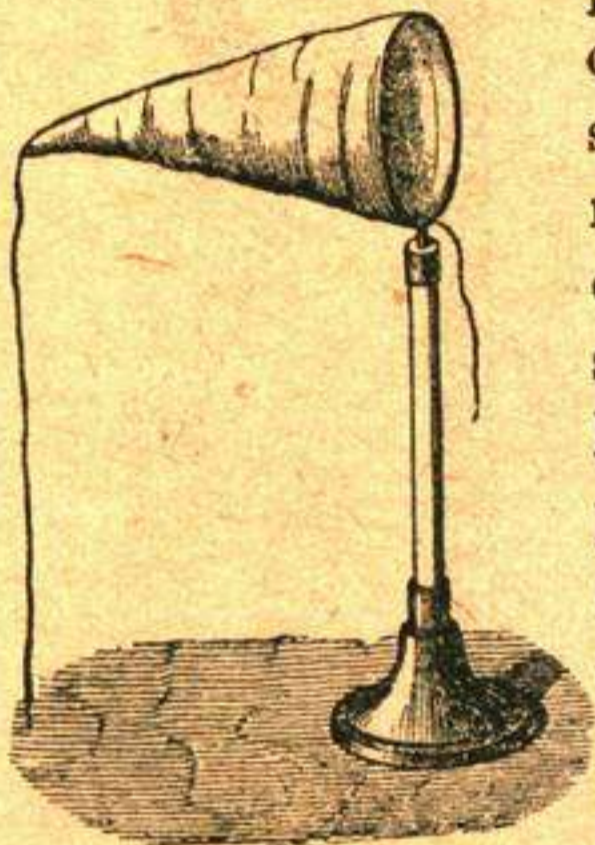


Fig. 176.

3.<sup>a</sup> Por último, Faraday, para demostrar esto mismo de una manera concluyente, construyó una cámara metálica, apoyada en soportes aisladores; después de electrizarla penetró en ella, y ni aun con los instrumentos más sensibles logró obtener señales de estar electrizadas sus paredes interiores; en cambio, estas mismas paredes por su superficie exterior daban señales innegables de estarlo fuertemente.

De todos los hechos anteriores se deduce que el desconocido agente que les origina, puede considerarse como una de las llamadas *fuerzas centrales ó Newtonianas*, ó sean de las que obran á distancia, y á todas las cuales les son aplicables ciertos principios teóricos mecánicos, que conviene tener presente y que con brevedad resumiremos.

Se llaman **FUERZAS CENTRALES** aquellas cuyas direcciones pasan por puntos fijos llamados *centros de fuerza*, y cuyas intensidades son funciones de las distancias á esos centros. Estos considerados aisladamente actúan sobre un punto atrayéndole ó repeliéndole, según una trayectoria determinada. Todo espacio en el que tales fuerzas se exteriorizan se llama un *campo de fuerza*.

Por muchos centros de fuerza que haya en un campo, sus accio-

2.62

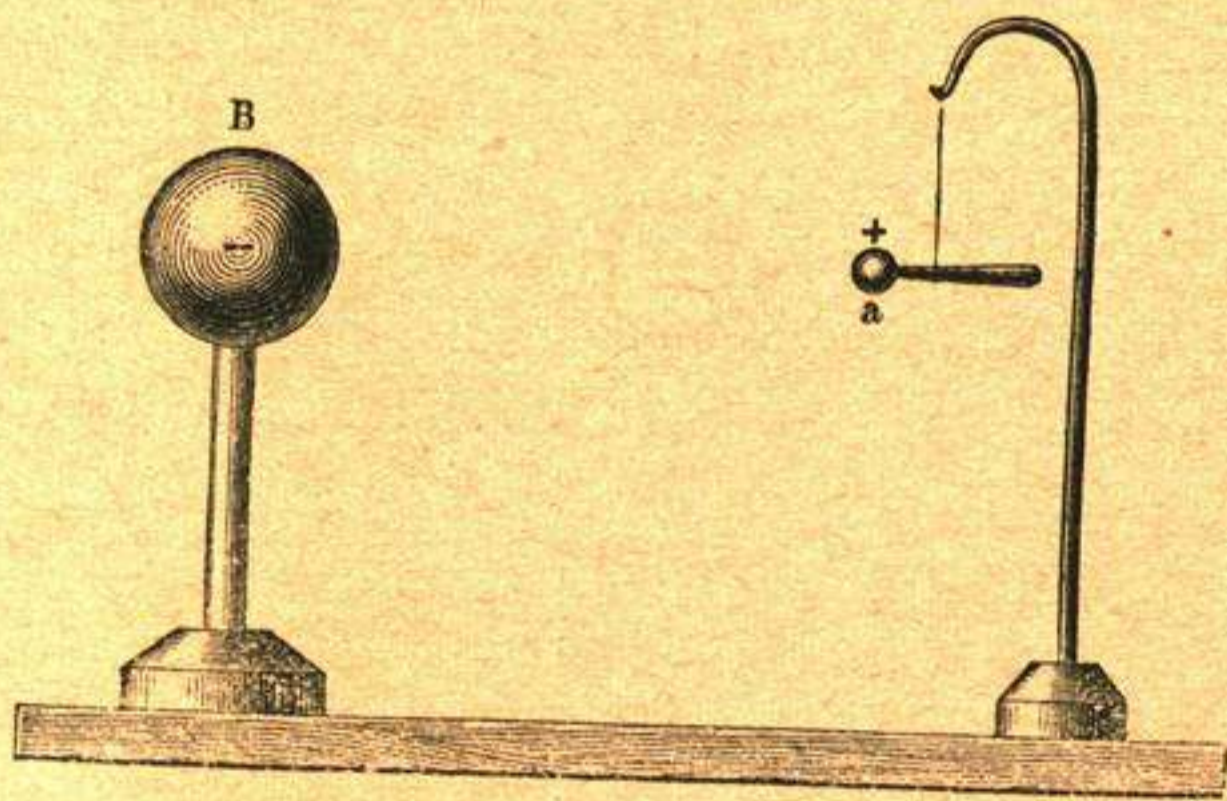
nes sobre un punto material, que ceda á la acción de ellos, se resumirán en imprimirle un movimiento, según una trayectoria determinada. Las líneas que representan las diversas trayectorias, que seguiría un punto, según los diversos lugares del campo, en que se situase, se llaman las *líneas de fuerza del campo*.

*Potencial* de un campo de fuerza es el trabajo que realizan las fuerzas que en él existen al mover un punto. El *potencial* de un campo en un lugar de él, puede medirse prácticamente por el trabajo que habría que emplear en volver al punto que se movió, desde el lugar á que llegó hasta del que partió, por la misma trayectoria y con la misma velocidad: la máquina ó trabajo muscular que realizase esto, prestaría un trabajo igual al que prestó el campo.

Si de un modo cualquiera se han determinado los potenciales de varios puntos de un campo (y para mejor inteligencia, supongamos que los puntos son dos) el sentido de las líneas de fuerza es hacia el punto que tiene menor potencial.

Ahora bien, comprobadas por los hechos las atracciones y repulsiones eléctricas á distancia, le son aplicables las leyes Newtonianas para las fuerzas centrales. Una de ellas es que la intensidad de las acciones de los centros de fuerza están en razón inversa del cuadrado de las distancias.

Esto, en cuanto á las acciones atractivas y repulsivas eléctricas, se comprueba experimentalmente como sigue: Si se cuelga de un hilo de seda en posición horizontal una barra de goma laca, que lleva en uno de sus extremos una bolita de metal *a* (figs. 177 y 178), y se pone en presencia de



Figs. 177 y 178.

un conductor aislado B, oscilará esta especie de péndulo cuando la bola *a* y el conductor estén cargados de electricidad. Si *a* y B tienen electricidades opuestas, la posición de la barra será la de la figura; si tienen la misma, vendrá el otro extremo de la barra á ocupar el lugar de *a*. Si en el plano horizontal en que está se hace girar la barra y se le abandona, oscilará alrededor de su eje vertical antes de llegar al equilibrio. De la intensidad de

un conductor aislado B, oscilará esta especie de péndulo cuando la bola *a* y el conductor estén cargados de electricidad. Si *a* y B tienen electricidades opuestas, la posición de la barra será la de la figura; si tienen la misma, vendrá el otro



las oscilaciones se deduce la intensidad con que la electricidad de que está cargado B actúa sobre la que tiene *a*.

Si se designa por *t* la duración de las oscilaciones para una distancia dada del conductor, aquéllas podrán representarse por  $2t, 3t, \dots, nt$  cuando la distancia entre ambas esferas sea  $2, 3, \dots, n$  veces mayor, siendo la carga la misma. Y como el número de oscilaciones de un péndulo es inversamente proporcional á la raíz cuadrada de la fuerza

que le hace oscilar, se tendrá  $t : n.t :: \sqrt{\frac{1}{v}} : \sqrt{\frac{1}{v'}}$ , en cuya proporción *v* y *v'* designan las fuerzas con que á la distancia 1 y *n* actúa B sobre *a*: de la proporción resulta  $v = \frac{v'}{n^2}$ .

Luego la intensidad de las acciones eléctricas entre las dos bolas *a* y B, decrece en la misma relación en que aumenta el cuadrado de su distancia; en otros términos, que *las intensidades de estas acciones están en razón inversa de los cuadrados de las distancias*.

Confirmada así la ley de las intensidades de las acciones eléctricas con relación á las distancias, se llaman *superficies equipotenciales* de un centro de fuerza todas aquellas en que la intensidad de la acción del centro es la misma.

Por una construcción gráfica, teniendo en cuenta la ley comprobada, se puede dar una idea de cómo estaría constituido un campo de fuerza eléctrica creado por un punto, representándonos en una sección plana de él, como se sucederían las superficies equipotenciales.

Si se considera en O (fig. 179) una masa eléctrica, y que tomado como centro

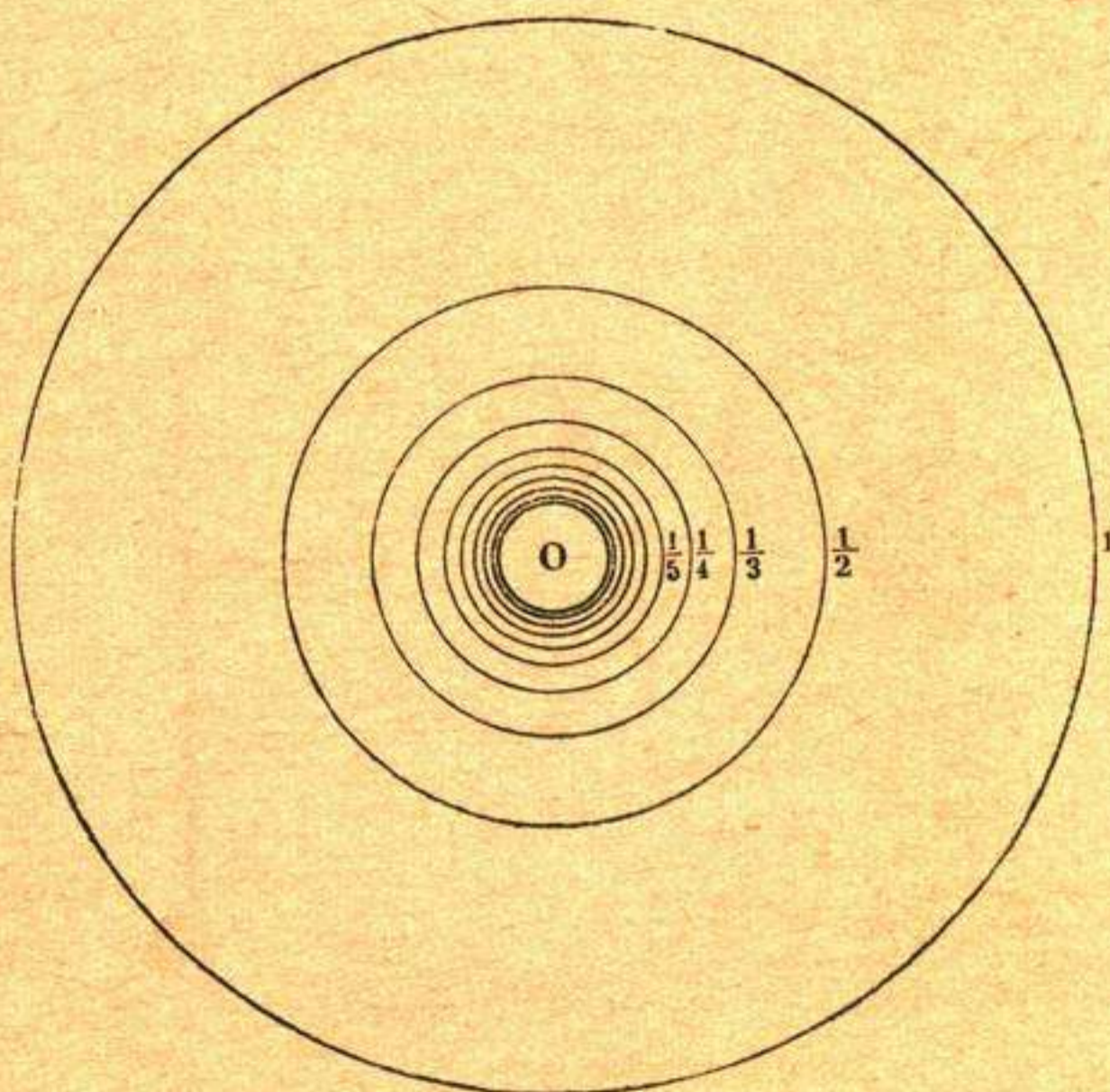


Fig. 179.

se han trazado una serie de esferas con los radios  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4} \dots$

cuyas secciones por el plano del papel de la figura, son las circunferencias concéntricas en ella representadas, se tendrá que todas esas esferas serían las llamadas *superficies de nivel ó equipotenciales*. Si un punto que cede á la acción del campo (supongamos la atractiva) viniendo del infinito, se acerca continuamente al centro, cada vez que pasa de una de las esferas á otra, emplea el centro una unidad más de trabajo; en cambio, el punto, al moverse sobre una de las esferas, no gasta trabajo alguno; pues sólo le hay (gastado ó producido) cuando sigue ó recorre en su movimiento una parte de las líneas de fuerza, que aquí son los radios, y al moverse sobre cualquiera de las esferas, ni se aproxima ni se aleja del centro, sino que corta normalmente á los radios. Es como un cuerpo que se mueve en un plano sin rozamientos y á igual distancia del centro de la tierra, que no gasta trabajo alguno al moverse con relación á la gravedad.

En cuanto á las intensidades de las acciones, del centro en estas diversas superficies equipotenciales, sabemos la ley que siguen, ó sea que si en la 1 es como 1, en la de radio  $\frac{1}{2}$  es como 4; en la de  $\frac{1}{3}$  es como 9, etc.

2.63. **Conceptos sobre ciertos hechos eléctricos, con arreglo á los principios mecánicos.**—El primero es el de la llamada *Presión electro-estática*. Después de haberse propagado la electricidad por toda la superficie de un conductor, en un tiempo casi inapreciable, y contenida su propagación *rápida*, por los malos conductores que le sostienen y rodean, se dice que está en equilibrio de reposo (y por eso se llama electricidad estática á la que se considera de este modo); en tal estado sus diversos elementos actúan entre sí repeliéndose y por tanto tratando de penetrar en el medio ambiente, y en los soportes del conductor, es decir, de propagarse por los dieléctricos que contuvieron su movimiento: esta fuerza es la que se llama presión *electro-estática* y la que origina los movimientos de los conductores cargados, cuando son movibles (como, por ejemplo, la bolita del péndulo eléctrico) y están rodeados de malos conductores.

**Cantidad de electricidad y tensión eléctrica.**—Los instrumentos, que miden con exactitud las atracciones y repulsiones eléctricas (y de cuya descripción prescindimos) manifiestan que un cuerpo puede tener en unos casos doble, triple, etc., más electricidad que en otros: esta comparación exacta que puede hacerse, prueba que la electricidad de que está cargado un cuerpo es una *cantidad proporcional á sus efectos*, toda vez que por ellos pueden medirse y compararse las

distintas cargas de que es susceptible. Se llama *Tensión* de una carga eléctrica la energía con que tiende á separarse del cuerpo en que está y de pasar á través de los malos conductores.

La tensión de la carga de un conductor aislado no es igual en todos sus puntos, sino que es mayor en aquellos en que el espesor de la capa eléctrica aumenta.

Aunque el espesor eléctrico y la tensión son cantidades que varían en el mismo sentido, sin embargo no son iguales, ni simplemente proporcionales. Según Laplace, *las tensiones son proporcionales á los cuadrados de los espesores.*

Si suponemos un conductor cargado en equilibrio y con la misma tensión en toda su superficie (tal sería una esfera de latón aislada) se tendría que en su interior la fuerza eléctrica es cero y en su superficie sería una equipotencial: en el campo de fuerza que establecería á su alrededor, las líneas de fuerza son normales á la superficie. El potencial de esta fuerza eléctrica, sería la constante en toda la superficie. Si esta esfera es la tierra, por su grande magnitud respecto de los cuerpos electrizados que podemos poner en comparación con su estado eléctrico, se le considera al potencial *cero*; bajo este concepto tienen un potencial positivo todos los cuerpos que lo tengan *superior* al de la tierra, y *negativo*, todos los que le tengan inferior.

La uniformidad de la carga eléctrica sobre una superficie esférica, se muestra experimentalmente ajustando el plano de prueba á diferentes elementos de la superficie y midiendo la carga que toma; por medio de los electrómetros (aparatos medidores de su carga) se ve que la cantidad comunicada al plano es igual en toda la esfera.

Si el conductor aislado no es esférico, su carga *no es uniforme*, es decir, de igual espesor por todas sus partes; en cada caso el examen experimental daría el modo de repartimiento. Como ejemplo pondremos el de las formas más comunes de los conductores electrostáticos en los aparatos, á saber: la cilíndrica terminada por casquetes esféricos.

Coulomb en sus investigaciones experimentales, vió que en uno de la forma indicada y cuyas dimensiones eran 20 centímetros de largo el cilindro y 5 centímetros de diámetro los hemisferios que lo terminaba, si la

Carga en el centro tomada como unidad era . . . . .	1
» á 5 cm. de los extremos . . . . .	1,25
» á 2,5                   »                   » . . . . .	1,80
» en los extremos . . . . .	2,30

Por tanto, en los conductores de esta forma á partir de su sección media, va aumentando la carga ó espesor hacia los extremos; despacio en las partes cercanas al medio y rápidamente en las más lejanas.

Si el conductor tiene la forma de un disco de 20 centímetros de diámetro y 2 de grueso, encontró Coulomb los siguientes datos:

Carga en el centro tomada por unidad. . . . .	1
» á 2,7 cm. de los bordes. . . . .	1,5
» en los bordes. . . . .	2,9

Los resultados de estas experiencias de Coulomb, se conforman con los obtenidos por el cálculo, por Poisson, partiendo del principio teórico de que *las atracciones y repulsiones eléctricas son directamente proporcionales á la cantidad de electricidad, é inversamente al cuadrado de las distancias.*

**Poder de las puntas y llamas.**—De lo dicho anteriormente, resulta que si se termina en punta un conductor aislado, la electricidad debe de tener una densidad extraordinaria en ella, según el principio de Laplace; cuanto más densa es la electricidad en un lugar, mayor es la presión electro-estática, y como en las puntas es menor la superficie del medio á cuyo través pugna por pasar, menor es la resistencia que éste le ofrece; de aquí, que por la doble razón de más presión eléctrica y menos resistencia en el dieléctrico, la electricidad corre ó fluye por las puntas: esto se confirma por las siguientes experiencias:

1.º Si el conductor de una fuente ó máquina eléctrica se termina en punta, es imposible cargarlo, aun cuando sobre él se dirijan las cargas más fuertes. Toda la electricidad se escapa por la punta.

2.º Si se pone en comunicación con el suelo un conductor acabado en punta, y se acerca ésta á algunos decímetros del conductor de una fuente eléctrica, éste se descarga.

Los vértices y aristas de los cuerpos se comportan como las puntas: por esto se les dan formas redondas á los cuerpos que se quieren mantener cargados. Si se acerca la mano á una punta que esté unida al conductor de una fuente eléctrica constante, se nota una especie de soplo ó *viento eléctrico*, que sin duda procede de que la resistencia de las partículas aisladoras del aire que rodean la punta, no es bastante para contrarrestar la tensión de la electricidad acumulada en ella, una parte de la carga pasa á las partículas próximas aéreas, las cuales, cargadas entonces de electricidad del mismo nombre que la de la punta, son rechazadas.

El viento eléctrico se puede hacer perceptible á la vista, acercando

á la punta la llama de una bujía. Si la punta electrizada fuese movable, la repulsión entre ella y las partículas del aire producirían un movimiento y en dirección opuesta á la del viento eléctrico. La experiencia es bien fácil de hacer, poniendo sobre el conductor de

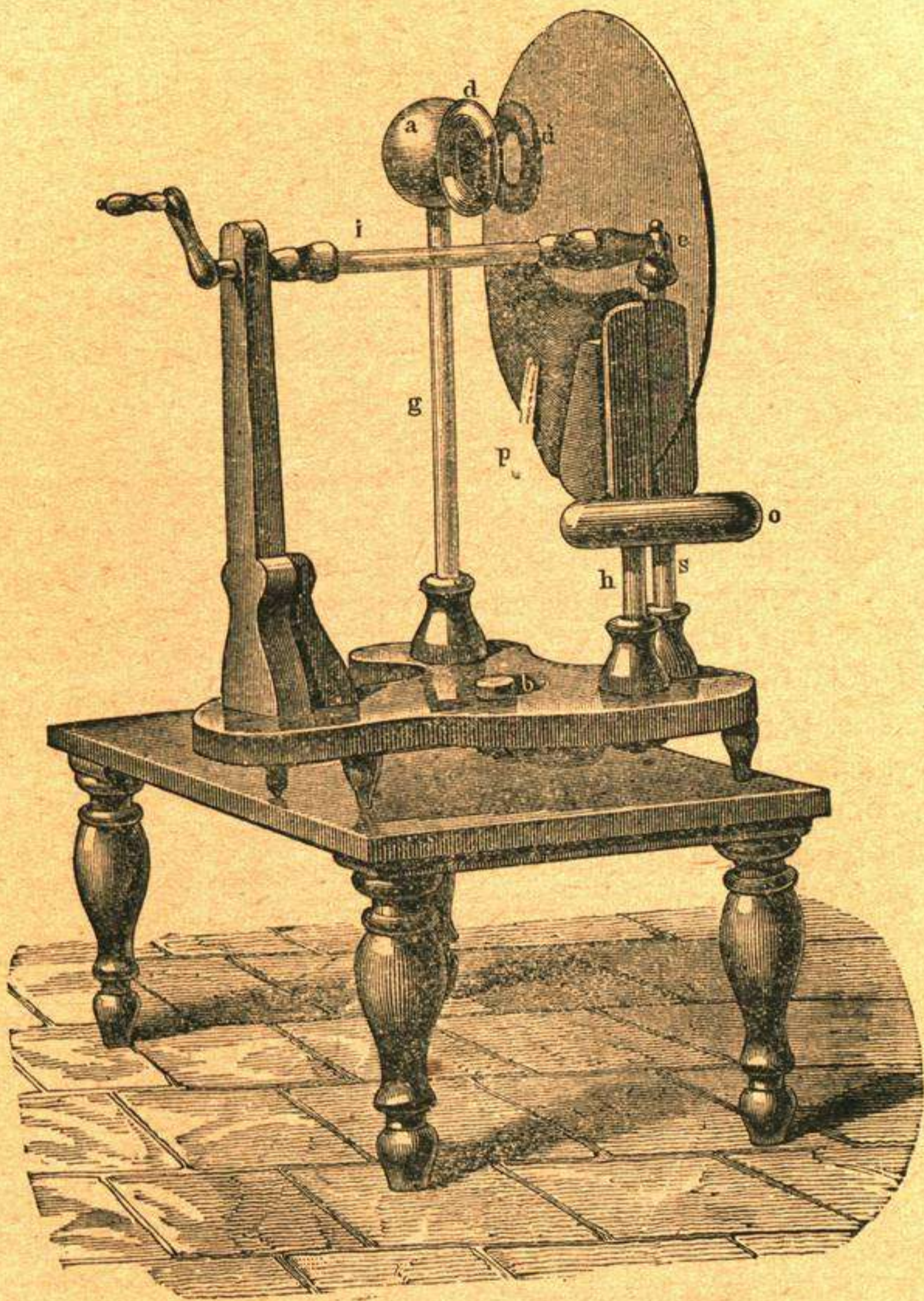


Fig. 180.

la fuente eléctrica una especie de aspas movibles alrededor de su eje, y en vez de aspas unos alambres doblados en el mismo sentido, en ángulo recto y terminados en punta.

Una llama ejerce análoga acción que una punta, pero mucho más

fuerte. Si un conductor termina en una llama, pierde su electricidad como por una punta.

Volta ponía esponjas en llama sobre un electroscopio para aspirar electricidad del aire. La acción de las llamas se explica por la columna de vapores conductores que sube de su vértice, y la cual excede en finura á la de todas las puntas.

**Máquinas eléctricas de Rozamiento.**—La producción de electricidad por medio del rozamiento en cantidad suficiente para que por algún tiempo quede en estado estático sobre conductores aislados, se logra por muchos medios y entre ellos por las llamadas *máquinas eléctricas*, cuya descripción hacemos brevemente, porque carecen de importancia.

Las antiguas máquinas eléctricas consisten en general en un cuerpo frotado, unos frotadores y unos conductores aislados (fig. 180): el cuerpo frotado es un disco de cristal (raras veces un cilindro) giratorio por medio de un cigüeñal, y que al girar roza entre dos almohadillas; la electricidad producida en el lugar que roza, al llegar éste á ponerse entre unas puntas *dd* que comunican con el conductor aislado *a*, se neutraliza con la libre en éste, por su influencia y que escapa por las puntas: de este modo el conductor *a* queda cargado con la electricidad del mismo nombre que la del disco y que fué rechazada por la de éste.

Otras máquinas más modernas, son las llamadas de influencia, que por ser muy pequeñas y fuente abundante de electricidad, han sustituido á las del tipo anterior, por más que unas y otras tienen rarísimas aplicaciones técnicas.

Las máquinas de influencia ó de Holtz, (fig. 181) consisten en dos discos de cristal verticales y muy cercanos (unos 3 á 4 milímetros) giratorios ambos en sentidos contrarios (sistema duplex de Wimshurst) ó uno giratorio y el otro fijo: llevan, la del sistema duplex, unas tiras de papel de estaño ó latón pegado en sentido radial y en sus caras exteriores, y aunque no se tocan, pero por medio de un arco metálico que termina en unas brochas, se comunican por la rotación, momentáneamente cada dos que están en un mismo diámetro.

Si las tiras de detrás las suponemos electrizadas, por cualquier causa, negativamente por ejemplo actúan por influencia sobre las del disco de delante, que de este modo llegan electrizadas á unos peines metálicos, (que se ven en las figuras horizontales y con las púas vueltas en los discos,) los cuáles se electrizan, y por estar en comunicación con unos conductores aislados, hacen que éstos se electricen.

El medio de empezar la electrización de las tiras del disco de de-

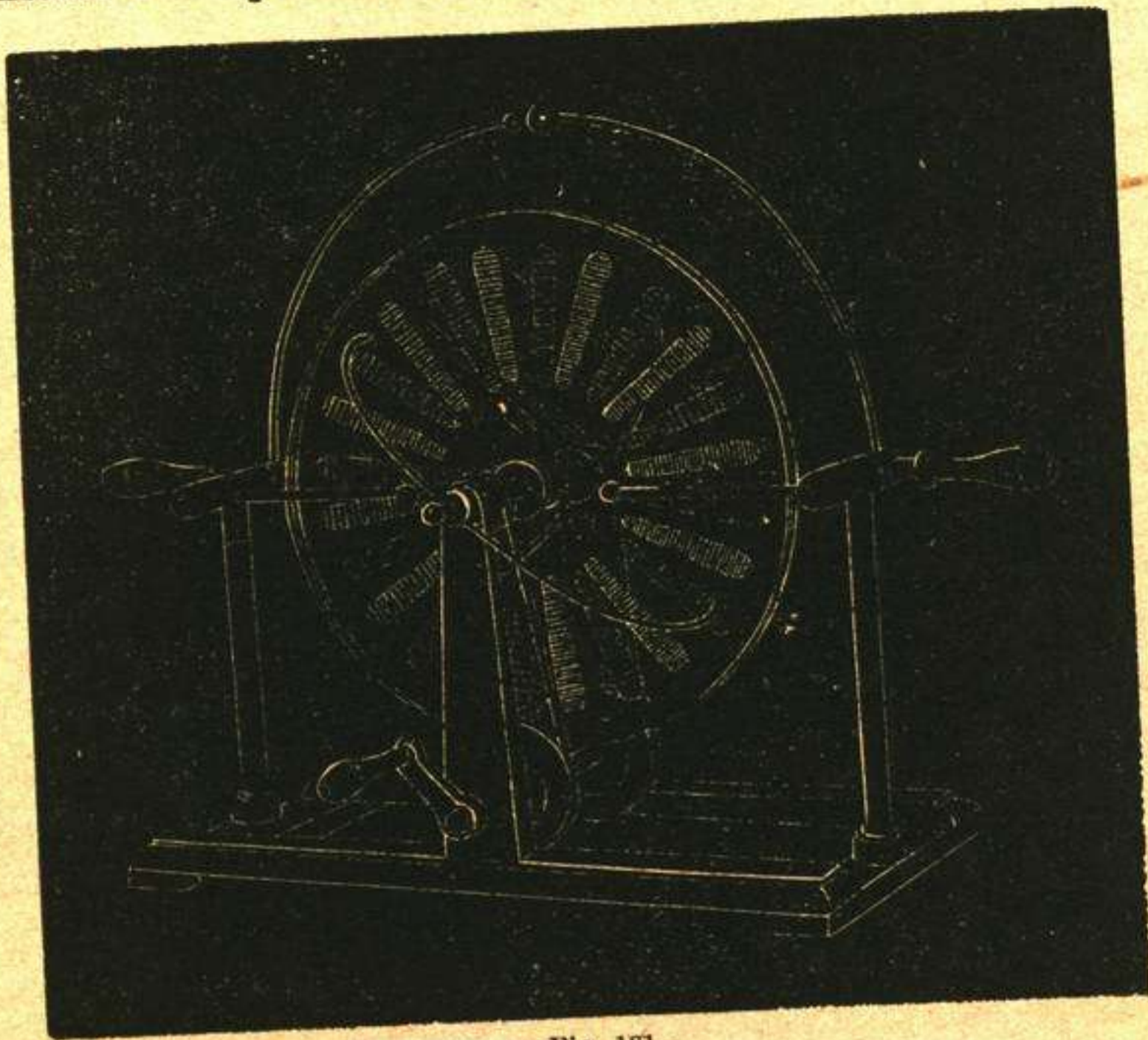


Fig. 181.

trás, es por medio de una planchuela de cautchouc ó barra de vidrio frotado, que se le acerca.

Uniendo los conductores con unos condensadores y aumentando el número de discos, se han construído máquinas de este sistema que han dado chispas de hasta 36 centímetros, de distancia de las bolas entre las que saltaba.

## LECCIÓN 34

L. 64.

Además del rozamiento hay otro *medio* de electrizar á los conductores aislados, que es el llamado por *influencia* ó *inducción*, cuyo proceso es de interés estudiar para comprender un modo de electrización que ocurre con mucha frecuencia naturalmente, y sus efectos son importantes.

El hecho de la electrización por este modo de electrizar es el si-

guiente. Si frente á un conductor de latón, aislado (fig. 182) en esta-

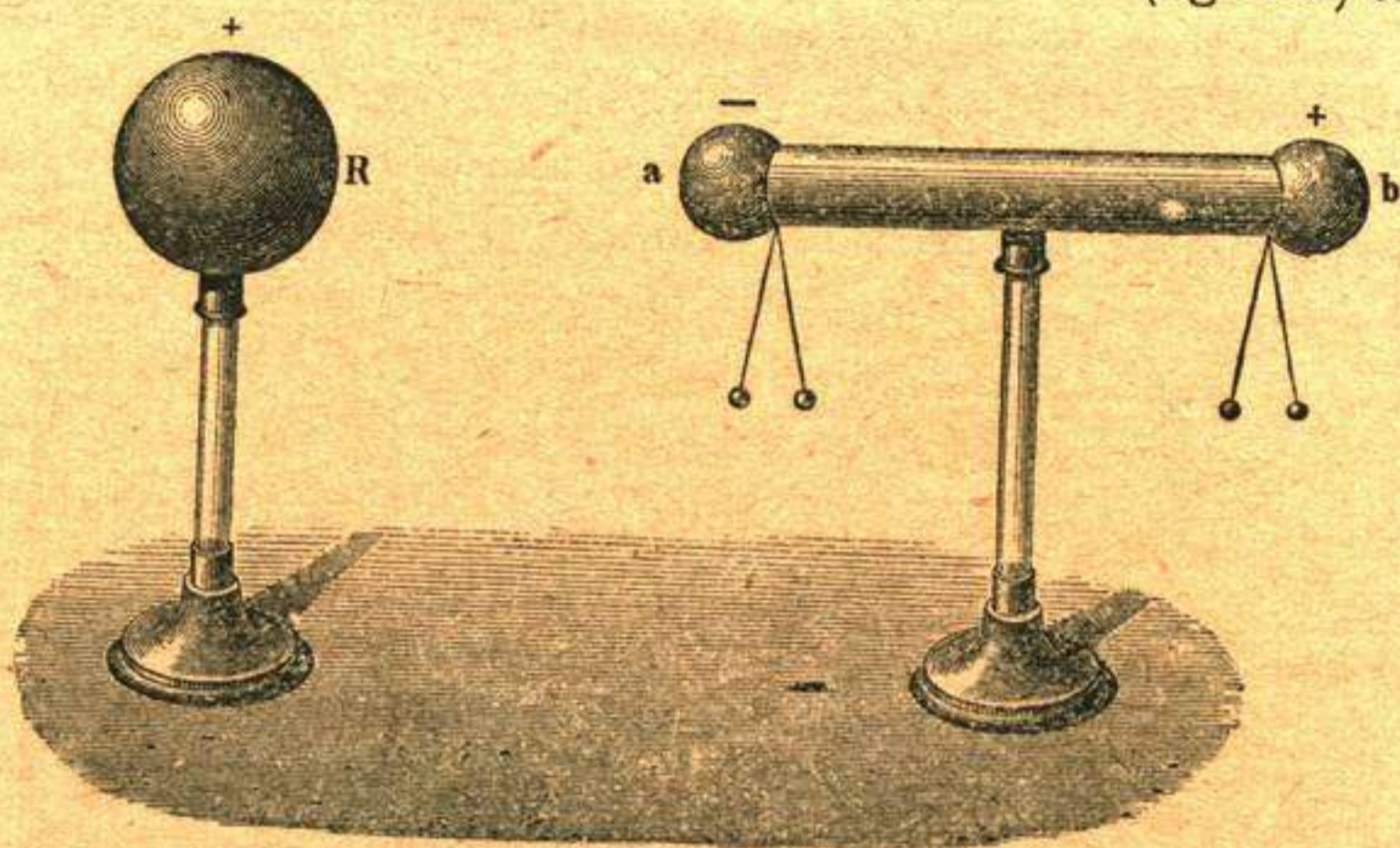


Fig. 182,

do neutro, se pone una esfera R aislada y electrizada, por ejemplo, positivamente, inmediatamente, y á través del dieléctrico que los separa influye sobre el conductor, poniéndole en estado eléctrico; tal estado de separación pudiera representarse por la fig. 182 bis; la co-

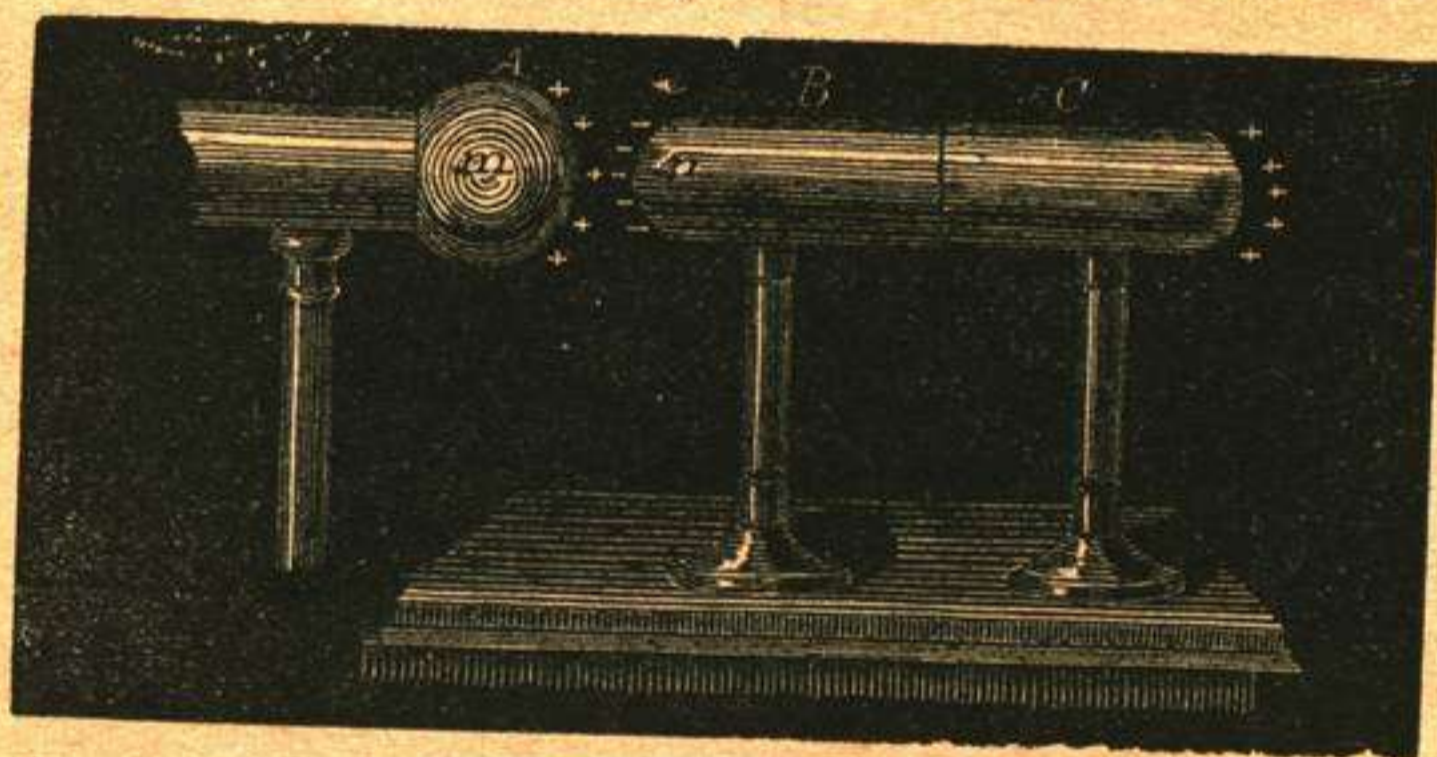


Fig. 182 bis.

rroboración de esta distribución ó separación de electricidades puede hacerse de dos maneras: una en la fig. 182, porque los doubles péndulos de médula de saúco que lleva colgando, por hebras de algodón, de sus hemisferios extremos, divergen y antes no divergían; y si se trata del aparato fig. 182 bis que puede separarse por su mitad, separando las dos mitades B de la C, quedan cargadas con las electricidades que se representa. Si no se tiene tal aparato, y sí el de la fig. 182, se ve que retirando el cuerpo influyente R, los péndulos caen, indicando que el conductor vuelve al estado neutro.



Si estando R en presencia, se toca con el dedo el extremo *b* del conductor, más lejano de él, caen los péndulos de ese lado, y si ahora se retira ó descarga el cuerpo R, vuelven á divergir los péndulos del extremo *b*, y también los del *a*, pero menos que antes; esta divergencia muestra una electrización del conductor, mediante el proceso indicado, y sin estar ya en presencia del cuerpo inductor R. Analizada, mediante el plano de prueba, su clase de electricidad, resulta *contraria* á la de R, es decir, *negativa* en nuestro ejemplo. Si durante la presencia de R se toca en *a*, los péndulos, al retirar el dedo, siguen divergiendo.

### **Explicación hipotética de estos hechos.**

1.º *Por las dos electricidades y sus atracciones y repulsiones.*

Al poner R electrizado positivamente cerca del conductor *ab*, sus acciones atractivas y repulsivas según el principio hipotético dado como fundamental, rompe el equilibrio de las dos electricidades sobre *ab*, y atrae al extremo más cercano *a* la negativa, y repele al más lejano *b* la positiva; los péndulos que por medio de la hebra de algodón se cargan como los hemisferios respectivos, divergen. Retirado el cuerpo R, cesa la causa que rompía el equilibrio eléctrico entre las electricidades de *ab*, y éstas, por ser contrarias entre sí, se vuelven á recomponer en el conductor; por tanto, vuelto al estado neutro, caen los péndulos.

Si estando separadas las electricidades, se toca con el dedo el extremo *b*, como allí está libre una carga de electricidad, +sale por el cuerpo hacia la tierra esa cantidad + (decimos sale, porque la electricidad se mueve hacia donde el potencial es menor y + es mayor que cero), y queda *b* en estado neutro: caen, pues, los péndulos de ese lado. Si ahora se retira el cuerpo R que retenía la carga — en el extremo *a*, esta carga se reparte por todo el conductor, y como se hizo escapar la carga + que con ella se recomponía, queda sin recomponerse, sobre todo el cuerpo *ab*; por tanto, en éste hay electricidad libre negativa, lo que manifiestan los péndulos por su divergencia, que es menor que al principio, toda vez que la carga que iba á un extremo, se reparte ahora en todo el conductor. Por último, la no recomposición de electricidades, á pesar de tocar con el dedo en *a*, y estando en presencia del cuerpo influyente R, es porque la atracción que sobre la que está en *a* ejerce R, es mayor que la diferencia de potencial entre *a* y la tierra: si no estuviese presente R al tocar con el dedo, subiría de la tierra la + que fuese necesaria para neutralizar la — del conductor; y se dice que subiría, porque el potencial cero es mayor que el negativo.

Para la explicación por los campos y líneas de fuerza de la electrificación por influencia, se admite con Faraday y Maxevel *que las líneas de fuerza de los campos eléctricos, si van en el mismo sentido se repelen, y si van en sentido contrario se atraen*, y se tendrá que al acercar el cuerpo electrizado R al conductor *ab*, se ha hecho que sus líneas de fuerza corten á la masa del conductor, y modifiquen la estructura de éste y del ambiente que le rodea en el sentido eléctrico (á cuyo hecho se llama inducción que en su generalidad estudiaremos más adelante), cuya modificación marcan los péndulos. Retirado el cuerpo R y con él su campo, cesa el corte de las líneas de fuerza, si bien no instantáneamente, y los péndulos caen, pero no por completo, manifestándose una especie de retardo, de que más adelante también hablaremos, así como del cambio de sentido en la estructura eléctrica, que por la retirada ó corte en sentido contrario de las líneas de fuerza á la masa del conductor, se produce en éste. Cuando estando presente el inductor R se toca con el dedo al extremo del inducido, esto viene á ser poner en comunicación con la tierra al conductor ó sea prolongar éste al infinito: la modificación de estructura sólo es sensible en el extremo cercano, la otra disminuye en intensidad cuanto se agranda la masa influída, y al ser infinita se reduce á cero. Al retirar el dedo y el inductor R queda en todo el *ab* la modificación de estructura, ó estado eléctrico inducido que produce el corte de líneas de fuerza, por la retirada del campo, que se manifiesta por la divergencia de los péndulos de ambos extremos.

## LECCIÓN 35

### Condensadores

Llámanse así los aparatos destinados á acumular la electricidad que viene de fuentes débiles.

**Hechos en que se fundan.**—Si se tiene un conductor aislado A y se le acerca otro B (ó varios) separado por un dieléctrico, ocurre que si se carga el A, y al B se mantiene á potencial constante, (por ejemplo, en comunicación con la tierra), toma el B una carga igual y de nombre contrario al A; si se aumenta la carga de A, la de B

crece en igual cantidad. El límite de estos incrementos sucesivos está condicionado por la forma, posición y naturaleza de los conductores y del dieléctrico, llegando hasta que la tensión de las capas eléctricas que se superponen, es tal que se descargan á través del dieléctrico.

Los condensadores contruídos son muchos; entre ellos describiremos el llamado botella de Leyden, que consiste (fig. 183) en un

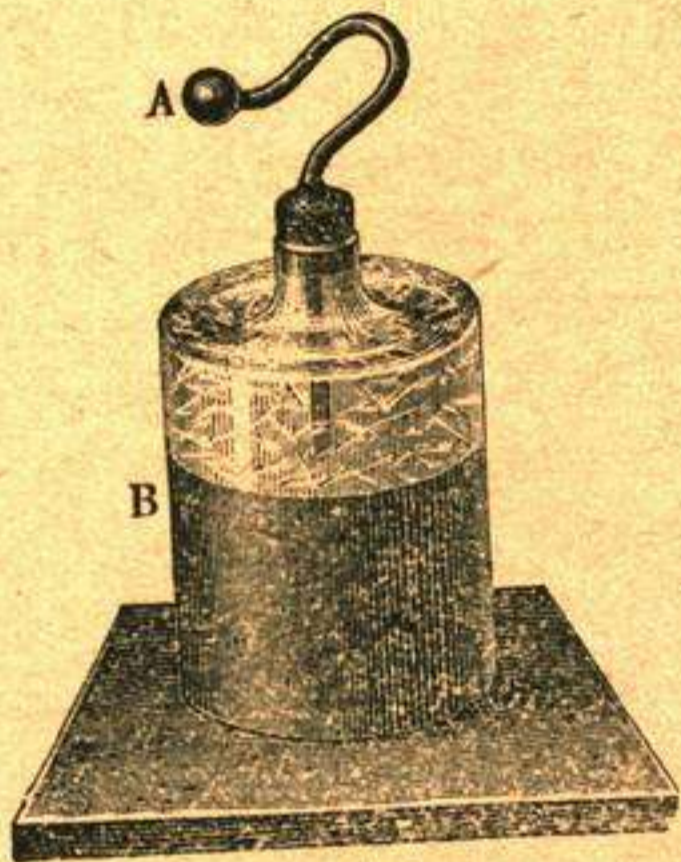


Fig. 183.

frasco de cristal dieléctrico, cubierto por fuera de papel de estaño hasta cerca de su cuello; á este conductor se le llama *armadura exterior*; dentro tiene otro cuerpo conductor, como limaduras de hierro, granallas de plomo, y mejor que éstos, panes de oro, lo que constituye la llamada *armadura interior*; ésta se saca fuera por medio de una barra de latón que atraviesa el tapón del frasco, y ésta, según los usos á que se destina, se dispone ó doblada en gancho terminada por una bola, ó simplemente terminada por una

bola; para aislar mejor sus dos armaduras, la parte exterior no cubierta de estaño se barniza con goma laca. La botella se carga, manteniendo una de las armaduras á potencial constante, por su comunicación con la tierra, y poniendo la otra en comunicación con una fuente eléctrica.

**Baterías eléctricas.**—Como la extensión de la superficie de las armaduras es el factor que más influye en la carga de una botella de Leyden, se ha imaginado para conseguir grandes cargas, el reunir varias botellas de modo que sus armaduras interiores se comuniquen entre sí, así como las exteriores. Las figuras 184 y 185 dan idea de este modo de agrupamiento, que viene á constituir una botella de un tamaño igual al de la suma de las armaduras de las agrupadas.

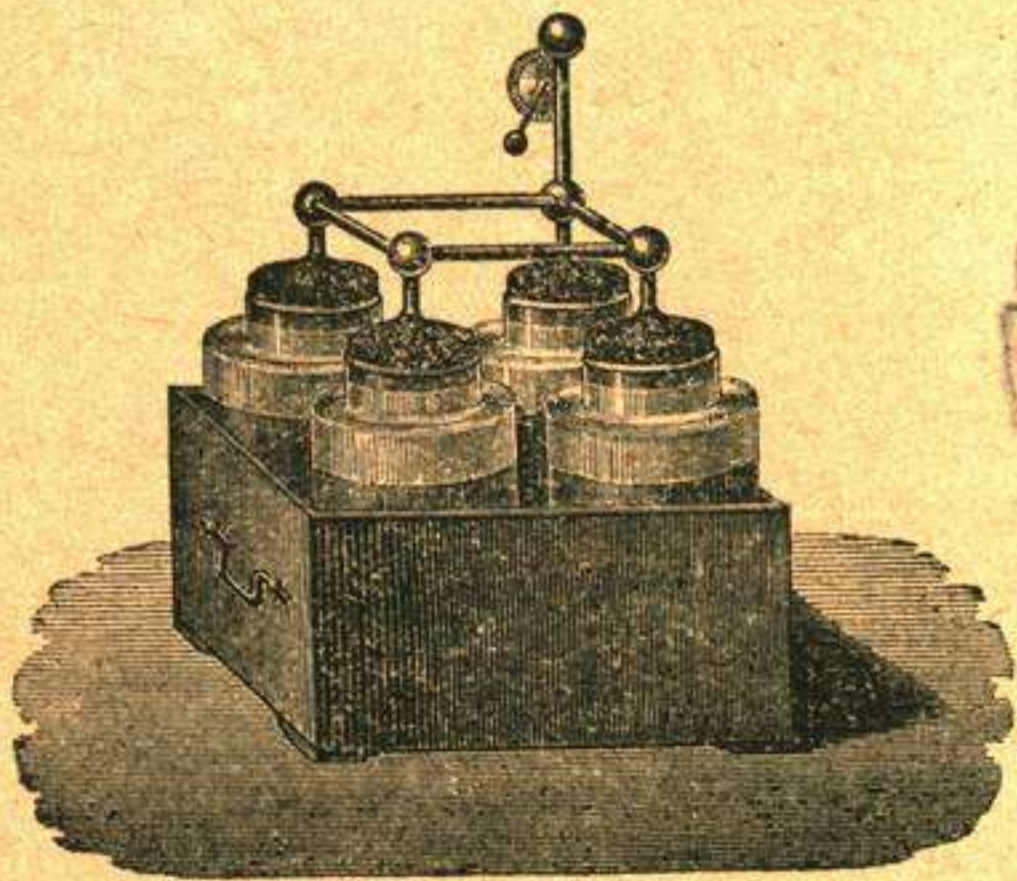
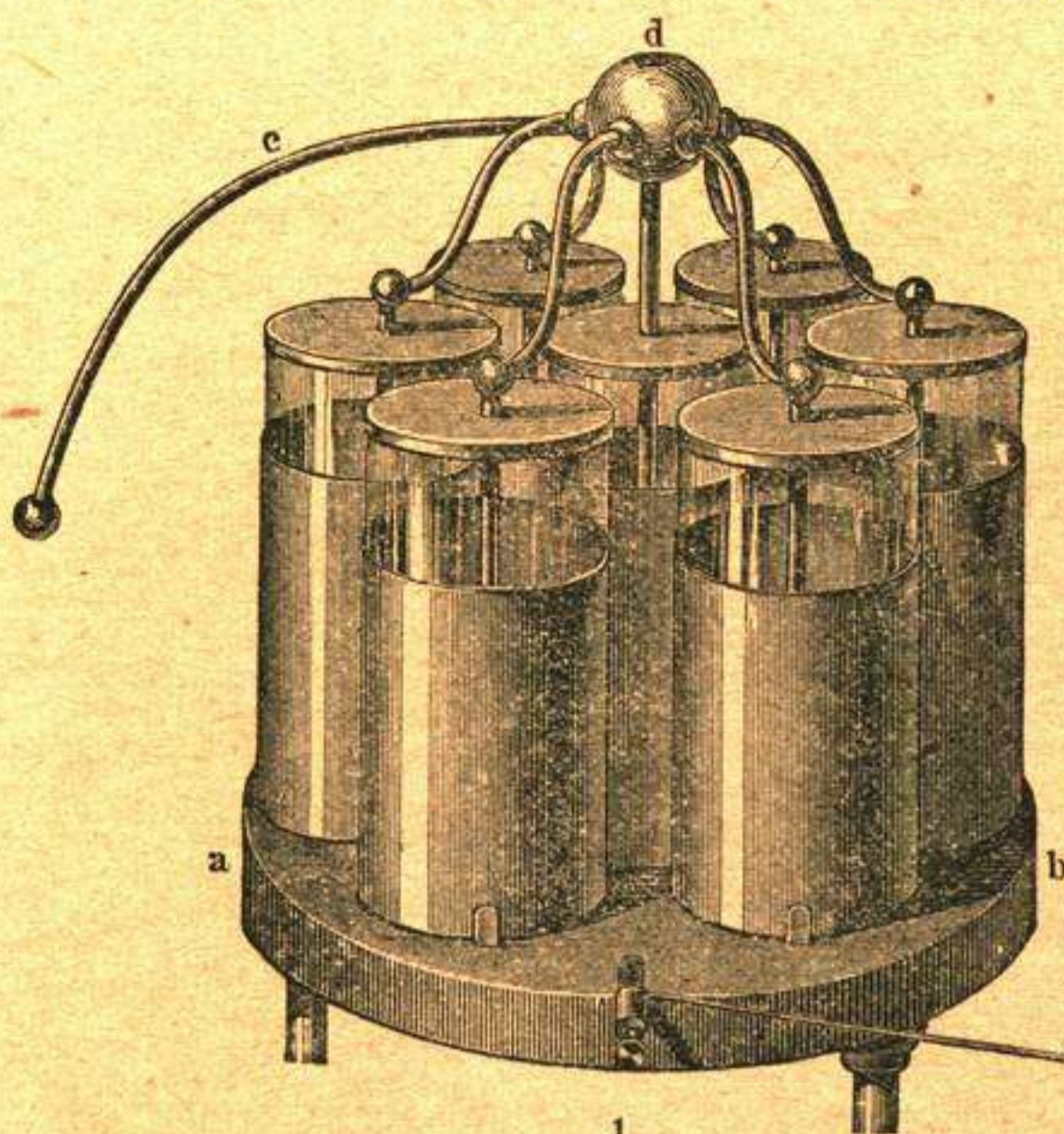


Fig. 184.

**Chispa eléctrica y modos de descarga de los condensadores.—**



$\frac{1}{15}$   
Fig. 185.

*Hechos.*—Si á un conductor aislado y cargado con electricidad, se le acerca otro en estado neutro, ó con electricidad contraria, saltan una ó varias chispas, acompañadas de un crugido más ó menos fuerte.

*Explicación.*—Al acercar el conductor B en estado neutro (fig. 186) al aislado y cargado A, por ejemplo, con electricidad +, la bola B se carga por influencia con —; si se van acercando,

crece la acumulación de electricidades contrarias, y por lo tanto, la tensión, en los puntos más cercanos de A y B, y puede llegar á ser tan fuerte que venza la resistencia de la capa que les separa, recomponiéndose á su través, cuya recomposición va acompañada de calor y luz.

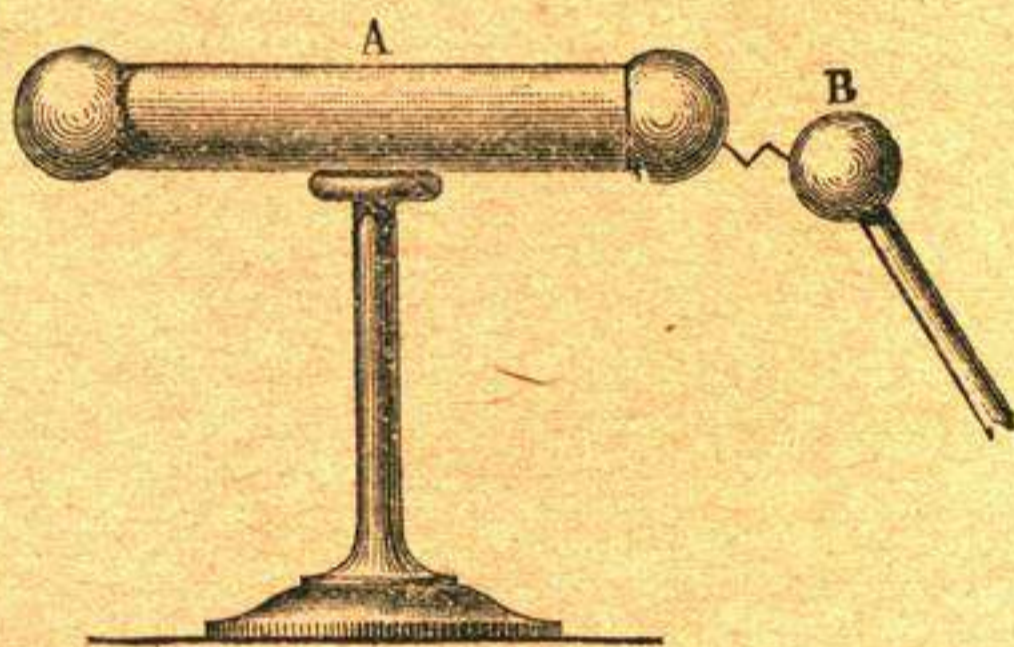


Fig. 186.

La descarga de los condensadores, por medio de la chispa, se llama *convectiva* si se hace del modo siguiente: se pone un conductor en comunicación con la armadura exterior, y terminado en una bola frente á la de la armadura interior: entre estas bolas un péndulo eléctrico, el cual es atraído por una de las bolas y después de tocarle repelido, y con esto tocará á la otra bola; estos hechos se repiten hasta que la botella se descarga.

Otro modo es la descarga *conductiva*, ó sea ligando con un alambre las dos armaduras: en este caso la descarga es instantánea, y sin moverse al conductor, si bien se calienta.

La descarga *disruptiva* se produce saltando una chispa á través

del dieléctrico de los condensadores, y taladrando éstos se ocasiona aumentando la carga ó tensión de ésta en las armaduras.

Si la descarga disruptiva se hace á través de un gas, la tensión necesaria es menor: para ello se hace uso de los excitadores, que son tenazas metálicas con mango de vidrio, que se aplican poniendo una de sus ramas en comunicación con una armadura, y acercando la otra rama á la otra armadura (figs. 187, 188 y 189). Otra forma de

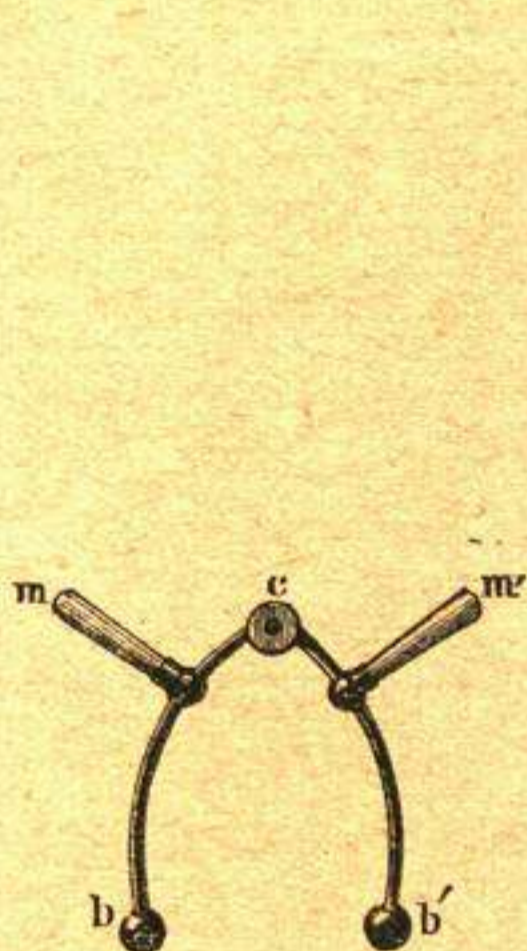


Fig. 187.

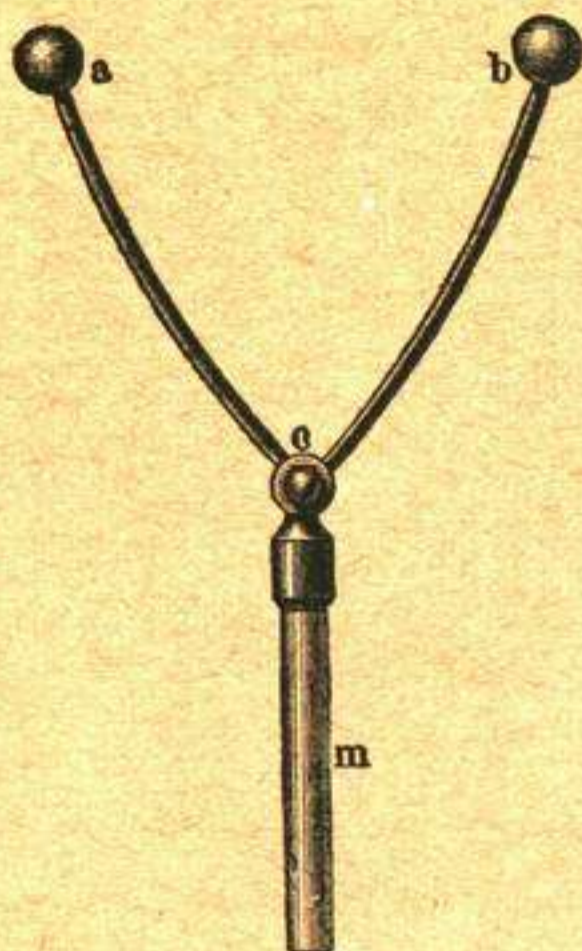


Fig. 188.

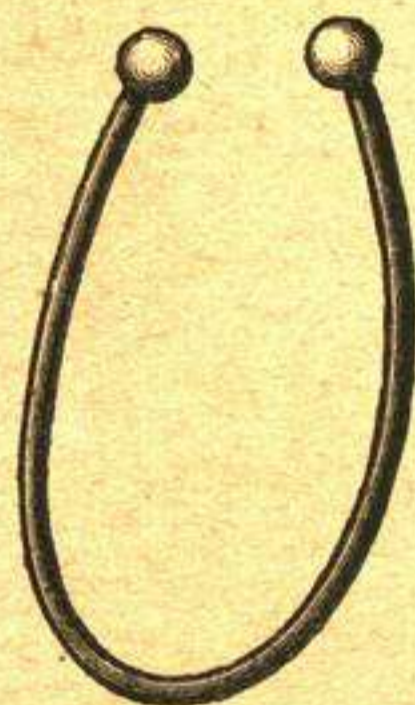


Fig. 189.

estos excitadores es el llamado universal (fig. 190), cuyo objeto es para que la chispa de la descarga disruptiva salte entre las bolas que están á un lado y otra de una mesilla central.

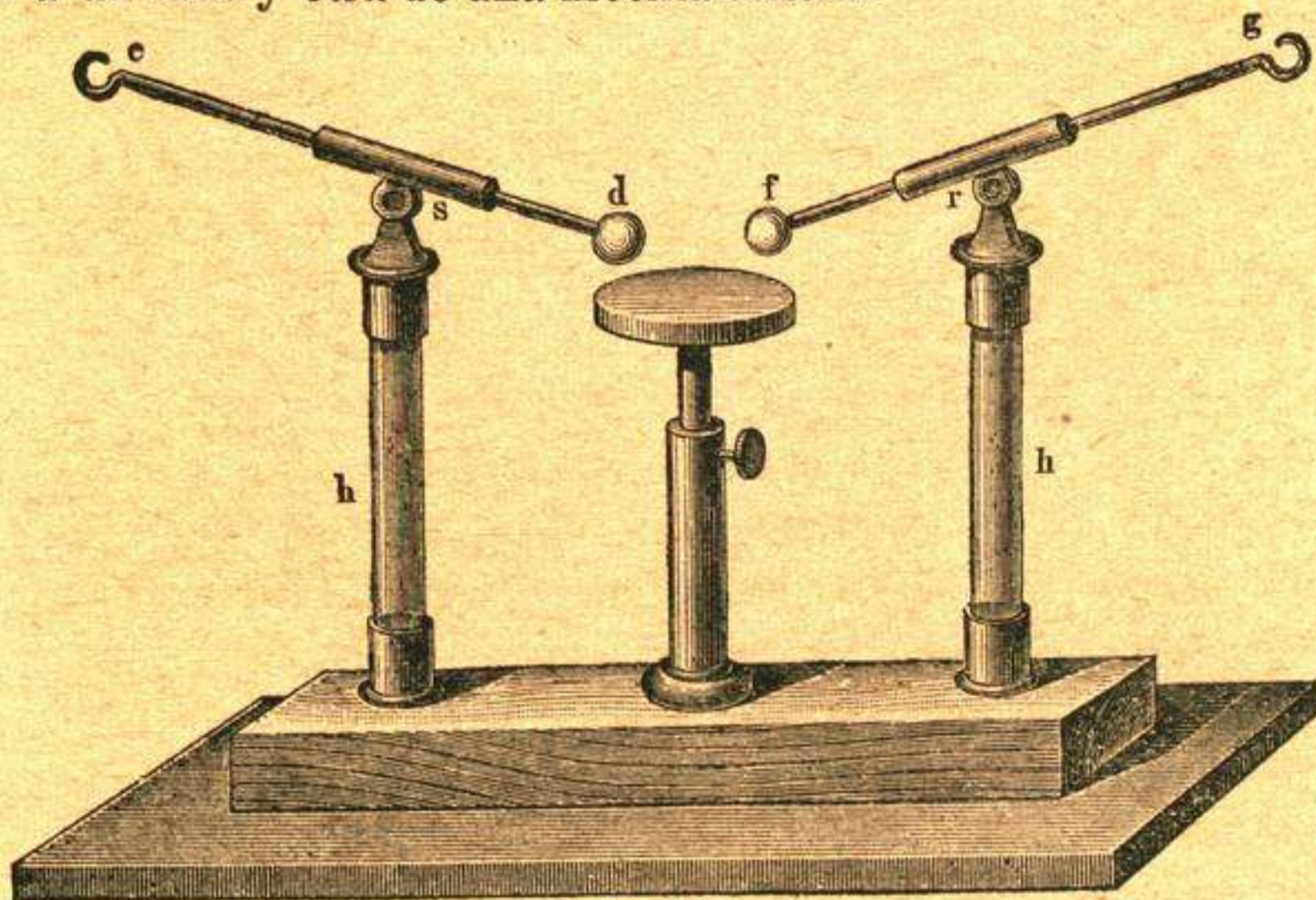


Fig. 190.

La longitud de las chispas disruptivas en los gases varía con la

presión de éstos: en el aire enrarecido se alarga, como se experimenta en un elipsoide de cristal en que se puede hacer el vacío (llamado huevo eléctrico) atravesado por dos varillas que se pueden acercar (fig. 191) si la peana se pone en comunicación con el suelo, y enrarecida en el aire se descargan chispas de un condensador sobre el asa, se ve que de las bolas interiores se desprenden haces de luz, de color púrpura: si se deja entrar el aire poco á poco, los haces se retraen, hasta recobrar la forma de chispa ordinaria: también si el enrarecimiento es grande, decrecen los haces de luz. Parece que la materia ponderable le sirve de vehículo.



Fig. 191

La duración de las chispas es pequeñísima; se ha calculado por Wheatstone en  $\frac{1}{72000}$  de segundo; el análisis espectral de sus colores muestra las rayas de los metales y gases entre que salta, mostrando con ello que arranca partículas de estos cuerpos que llegan á la incandescencia: también ofrece la chispa ejemplos de este arrastre mutuo de materia de los conductores, en los cuerpos que taladra, pues deja entrada por ambos lados.

Entre los efectos de las chispas, los caloríficos se emplean en determinar la explosión de las minas, barrenos y torpedos desde largas distancias y los químicos en las combinaciones, como en los libros de Química se reseña.

Entre los efectos de las chispas, los caloríficos se emplean en determinar la explosión de las minas, barrenos y torpedos desde largas distancias y los químicos en las combinaciones, como en los libros de Química se reseña.

**Acción de los dieléctricos en los condensadores.**—Por experiencia directa se demuestra que la naturaleza del dieléctrico varía la capacidad de carga de un condensador; y esto prueba que el dieléctrico ejerce una acción eficaz en la función del aparato.

Para investigar cuál sea ésta, se tiene el hecho siguiente: se forma una botella de Leyden con un vaso de metal, otro de vidrio que se pone dentro de modo que sobresalga un poco, y dentro de éste otro vaso de latón cerrado y con un gancho (que en conjunto se llama la botella de armaduras movibles), todo se pone sobre un cuerpo aislado y se carga: después se quitan las armaduras metálicas, cogiéndolas con la mano, con lo cual, si estuvieran cargadas, se descargarían;

hecho esto, se vuelve á armar la botella, y con un excitador se hace saltar la chispa disruptiva.

Esto demuestra por modo evidente que la carga en gran parte está en el dieléctrico.

Faraday supuso que la acción eléctrica modifica la estructura del dieléctrico, á cuya modificación llamó polarización, y Maxwel demostró que se contraen siguiendo las líneas de fuerza del campo eléctrico creado entre las armaduras; la polarización persiste aun después de una primer descarga, lo que origina que puedan obtenerse aun otras, como en efecto acontece, y á estas descargas las llamó *residuales*.

### **Ejemplos que la naturaleza ofrece de electrización por influencia y descarga disruptiva de los condensadores.**

*Acción de las nubes electrizadas sobre los objetos de la Tierra:* Las nubes son generalmente cuerpos electrizados, de electricidad positiva, como experimentalmente demostró Franklin, llevando por medio de un cometa un conductor hasta ellas, y sacando chispas del otro extremo del conductor. Su acción sobre los objetos en la tierra es electrizarlos con nombre contrario, á través del dieléctrico que los separa, que es la capa de aire: considérase, pues, su acción como de influencia, ó á manera que en un condensador, tal puede ser la tensión á que lleguen las cargas contrarias de la nube y el objeto que se provoque entre ellos, la descarga disruptiva. A estas chispas se llaman rayos, y para precaver sus efectos se inventaron los llamados pararrayos.

La experiencia de la cámara de Faraday demuestra que una envoltura metálica es una pantalla para la electricidad; pero en la imposibilidad de envolver un edificio en una capa metálica, ni aun en una tela metálica, que produciría el mismo efecto de pantalla, Melses ha ideado cubrir las partes más altas, que son las más expuestas (por estar más cerca de la nube y tener por tanto más tensión en ellas la electricidad que las carga) con unas puntas metálicas de un medio metro de altura, unidas entre sí y á la tierra por medio de cables metálicos que van á parar á las cañerías de agua ó gas, ó á una capa profunda y húmeda en la tierra. El efecto de esta disposición es impedir por el escape de electricidad por las puntas, que se cargue el edificio, y por tanto prevenir el que se verifique la descarga: si á pesar de esto se realiza, la chispa cae sobre las puntas por su mayor tensión, y es conducida á la tierra por los cables.

Antes de este sistema se empleaban puntas altas y separadas, de-

bidas á Gay Lussac, cuyo empleo se va aminorando por más costoso y menos eficaz que el sistema de Melses.

## LECCION 36

### Corrientes y pilas eléctricas

L. 65.

Se llama corriente eléctrica al movimiento de la electricidad en los conductores.<sup>(1)</sup> Sabemos que el sentido de su movimiento es hacia donde el potencial decrece.

En la electricidad por rozamiento, es tan rápido su paso por los conductores que no permite estudiarle; como ejemplo se tiene la rapidez de la descarga disruptiva de los condensadores.

Pero desde que Volta descubrió que si dos metales diferentes, por ejemplo, un alambre de *Cobre* y uno de *Zinc* se ponen en agua acidulada con ácido sulfúrico, y se unen fuera del baño, por medio de un alambre conductor, se produce una corriente eléctrica que va por el alambre desde el *Cobre* al *Zinc*, y por dentro del baño vuelve desde el *Zinc* al *Cobre*, continuando de este modo la circulación del flujo eléctrico durante algún tiempo, por mantenerse durante él una diferencia de potenciales en los extremos del alambre exterior, ya fué posible estudiar con más exactitud los efectos de estas corrientes sobre los cuerpos á cuyo través pasa.

No debe de pensarse que la posibilidad del estudio depende de la poca velocidad de la corriente galvánica por los alambres, pues por medio de muy ingeniosos procedimientos se ha llegado á determinar por Siemens, que en los de hierro corre la electricidad 240000 kilómetros por segundo. La posibilidad del estudio estriba, por tanto, en la *continuidad* del flujo durante tiempo apreciable.

Se llama *intensidad* del flujo eléctrico ó corriente, á la cantidad de este agente que en un tiempo dado pasa por una sección determinada del conductor; *sentido* de la corriente es el movimiento que la electricidad *positiva* lleva en el conductor.

Experiencias posteriores á la de Volta han probado, que no sólo el zinc y el cobre, puestos en agua acidulada, dan origen á una corriente eléctrica en el conductor que les une, si que también otra porción de metales en disposición análoga son causa «*Electromotriz*», que así se llama á la fuerza que determina el movimiento eléctrico por los alambres conductores.

(1) En un tiempo apreciable ó determinado.



Las diversas disposiciones de estos generadores de electricidad se llaman «*Pilas primarias*».

El origen de la fuerza electromotriz en las pilas primarias, está en un efecto químico de las corrientes eléctricas al atravesar un líquido compuesto, y antes de referir los hechos en que se funda esta opinión adelantaremos la nomenclatura siguiente: en toda pila primaria, el metal que está á más alto potencial, se llama *polo positivo*, y el que le tiene más bajo, *polo negativo*. En la pila ó par voltaico que hemos indicado, el polo positivo es el *cobre* y el negativo el *zinc*.

Se llama *circuito exterior* de la pila el alambre conductor que reúne los polos y está por fuera del baño, y *circuito interior* al conjunto conductor que forman los dos metales, los líquidos que les bañan y los vasos que *les separan*: en el par voltaico descrito, el circuito interior le constituyen: el zinc, el agua acidulada y el cobre, y en este circuito la electricidad *positiva* va del zinc al agua acidulada, de ésta al cobre, de aquí sale al exterior y va del cobre al alambre conductor, y de éste vuelve al zinc: este ciclo se repite mientras dura la acción que mantiene la diferencia de potenciales en los polos.

Si se corta el alambre que forma el circuito exterior y se separan sus extremos, ó entre ellos se pone un dieléctrico, se dice que está *interrumpido* ó *abierto* el circuito, y si estos extremos se unen de modo que entre ellos haya contacto inmediato ó un conductor, se dice que el circuito *está cerrado*. La corriente sólo circula á circuito cerrado.

En este movimiento la electricidad encuentra cierta *resistencia* que varía con la naturaleza de los conductores; á cuya diversa facultad se llama conductibilidad. Ya se ha dicho que los metales son en general buenos conductores y entre ellos el cobre y la plata. Respecto de los líquidos, los hechos son muy varios: Pouillet numeró la conductibilidad del mercurio (que como más adelante veremos, sirve de etalón para medir las resistencias) con  $10^{10}$ , y relativamente á él, le asignó al agua pura el núm. 80. Otros encontraron que su conductibilidad era mucho menor, así que Magus le dió el núm. 1,33; Kohlrausch, al ver resultados tan diversos, rebizo las experiencias con gran cuidado, para purificar el agua, y encontró que el número que la expresaba era 0,72.

Para formarse idea de lo que este número significa, como mala conductibilidad del agua pura, hizo la siguiente comparación: Una columna de agua pura de 1 milímetro de largo ofrece una resistencia mayor al paso de la corriente eléctrica, que la que ofrecería un alambre de cobre de la misma sección, que fuese y volviese desde la

tierra á la luna. El agua de lluvia es mejor conductora que la pura; su coeficiente oscila entre 19 y 17, en general la conductibilidad del agua aumenta con el paso de la corriente y con las impurezas.

Todos los líquidos son en general malos conductores, ú ofrecen grande resistencia al paso de la corriente: Las mezclas de ácido sulfúrico y agua que tiene más conductibilidad (ó sea menor resistencia) es á 30 por 100 del ácido; el peso específico de la mezcla es de 1,22.

Las mezclas de carbón también ofrecen resistencias importantes: la mejor, fabricada por Dubosq, tiene por coeficiente 0,03 suponiendo como 1 la del mercurio.

**Período variable de las corrientes y régimen constante.**—Cualquiera que sea la naturaleza de un conductor, en el circuito exterior de una corriente, transcurre un tiempo apreciable antes de que se establezca en él la corriente de *intensidad* invariable; cuando este momento llega se dice que se ha alcanzado el *régimen constante*, cuya magnitud la condiciona la fuerza electromotriz de cada pila. El período anterior al establecimiento de este régimen se llama el período de *variable* intensidad. La existencia de este período se atribuye por algunos á la resistencia que encuentra el flujo en atravesar la masa del conductor y llegar á su superficie, en cuyo momento es cuando se establece el deslizamiento constante á su largo, después de las experiencias de Hertz; esta explicación tiene algunas variaciones.

En adelante designaremos con el nombre de corrientes galvánicas á las de las pilas; y así se suele hacer por los físicos, para distinguir las de las originadas por otras fuentes eléctricas, y en honor de Galvani, primero que observó sus efectos sobre los músculos de una rana, pero sin descubrir el verdadero origen del fenómeno, cuyo honor corresponde á Volta.

Veamos ahora los efectos del paso de la corriente eléctrica, por un líquido compuesto. Para ello, si se sumergen dos electrodos (así se llaman los extremos de los conductores que vienen de los polos de una pila) á potenciales distintos (por ejemplo, los de la pila voltaica) en una masa líquida, de modo que la corriente la atraviese, *se verifica una disolución de los elementos del líquido, los cuales se depositan sobre los electrodos, y en algunos casos se combinan con ellos.*

Este efecto, que es muy importante bajo el aspecto de las aplicaciones industriales que de él se han hecho, (Galvanoplastia y Galvanostegia) y que son objeto de la Electrotecnia, lo es también, bajo su significación científica para el estudio de las Pilas; en este último concepto nos ocuparemos de él.

La descomposición química realizada por las corrientes eléctricas se llama *Electrolisis*: al líquido que se descompone se llama *Electrolito*: al electrodo de más potencial que en él se sumerge, ó sea aquel por donde entra la corriente en el Electrolito, se llama *Anodo* y el electrodo de potencial más bajo, ó sea aquel por donde sale la corriente, después de atravesar el electrolito, se llama *Catodo*; á los productos de la descomposición se llaman los *iones* y según se trate de los que se depositan sobre el *anodo* ó el *catodo* se llaman *Anión* ó *Cación*.

Sabida esta nomenclatura, los hechos notados por experiencia son: 1.º *Que si los iones depositados sobre los electrodos actúan químicamente sobre ellos, dan origen á una energía eléctrica que puede alterar la corriente entre ellos.*

Esto se prueba del modo siguiente: Si en una disolución de sulfato de cobre se introducen electrodos de cobre, al pasar la corriente se descompone el sulfato; el metal libre se deposita sobre el Catodo (polo negativo), lo cual no le altera químicamente, y el ácido va sobre el Anodo (polo positivo); actúa sobre él disolviéndole y por esta reacción se contrarresta la fuerza electromotriz que realizaba la descomposición del electrolito y la anula. Toda la energía de la corriente que le atraviesa se trasforma en calor.

Por el contrario, si en agua acidulada, con ácido sulfúrico se sumergen dos electrodos, uno de cobre y otro de zinc, al pasar la corriente que entre ellos se origina, se descompone el agua, el Hidrógeno libre va sobre el cobre, y el oxígeno sobre el zinc, al cual ataca, formando óxido de zinc que se combina con el ácido disolviéndose en estado de sulfato: de esta reacción resulta una energía libre que se manifiesta por un aumento de diferencia de potenciales, en el mismo sentido que la corriente primera, ó sea, nace una nueva fuerza electromotriz que se suma con la que origina la corriente. Aquí está el origen de fuerza eléctrica que se llama *par voltaico* y es el *descrito*.

Fácilmente ocurren dos preguntas, á saber: ¿Cómo se explica por las hipótesis que venimos haciendo, el fenómeno de la electrolisis? ¿En qué casos la electrolisis produce una corriente que se suma á la primaria, y en qué casos es de opuesto sentido?

Respecto de la explicación de la electrolisis, se admite que los átomos de que constan las moléculas del líquido que se descompone están cargados de electricidades opuestas, por cuya razón al sumergir los electrodos se orientan, por la ley de las atracciones y repulsiones eléctricas; los átomos ó *iones* positivos se vuelven hacia el electrodo negativo ó sea el catodo, y los *iones* negativos hacia el anodo

y se situarán en las líneas de fuerza del campo que crean los electrodos; cuando la fuerza de orientación ó sea intensidad del campo es superior á la afinidad química del compuesto, se descompone ó disocian los elementos de las *moléculas más cercanas* á los electrodos marchando los iones libres, cada uno sobre su electrodo correspondiente; el otro elemento de cada una de estas moléculas cercanas que se han descompuesto queda libre y se combina con el correspondiente de la molécula vecina, que á su vez deja libre otro igual á aquel con que se combinó y que se combina con el de la siguiente; en suma, que entre las moléculas intermedias no hay más que un cambio de elementos.

Con respecto á los casos en que la corriente primaria aumenta ó disminuye, por la de electrolisis de los electrodos, se tiene por experiencia que si para la electrolisis hay absorción de calor, es decir, si la reacción es endotérmica, la corriente primaria disminuye; hay pérdida de energía en la forma de corriente, ó sea lo que hemos llamado potencial; éste se rebaja en una cantidad que se llama la fuerza electromotriz del electrolito. Por el contrario, si la electrolisis es exotérmica, la corriente aumenta de energía; su potencial crece, porque la fuerza electro-motriz de polarización del electrolito crea una corriente que va en el mismo sentido que la de éste.

Estos hechos confirman á la vez el principio general de los fenómenos naturales de la conservación de la energía, como fácilmente se infiere de lo expuesto.

Por tanto, en los casos de reacción exotérmica, se tiene un origen de fuerza electromotriz, y todos los aparatos que se llaman pilas galvánicas, ó generadores primarios de corriente, están fundados en esta acción de ciertas reacciones.

La primera pila fué la inventada por Volta, y consistía en una serie de rodajas de cobre y zinc alternativamente colocadas unas encima de otras, y separado cada par por una rodaja de paño mojado en agua acidulada. La última rodaja de cobre y la última de zinc del extremo opuesto, son los polos de esta pila: si se unen por un alambre marcha la corriente por éste, del cobre al zinc. Las rodajas van sostenidas entre unas barras de cristal y dos discos de madera, formando el conjunto una columna (fig. 192), de cuya forma se derivó su nombre de «Pila de columna de Volta.»

**Polarización de las pilas Voltaicas.**—Inmediatamente de inventada esta primera pila se la notó un grave defecto, y fué que la intensidad de su corriente decrecía con rapidez hasta anularse. Desde enton-

ces á hoy se han hecho muchas modificaciones y estudios para remediarlo, sin conseguirlo por completo; pero del examen atento de las causas de este decrecimiento, se ha venido á deducir que debe su origen al hecho de que en toda pila hay una electrolización endotérmica, que origina una fuerza electromotriz de sentido contrario á la corriente que primero se establece, y por esto se llama á la segunda «Fuerza contraelectromotriz ó de Polarización»; ésta no llega á su régimen permanente hasta que la descomposición causada por la primaria no está establecida.

*Condiciones que promueven la polarización de las pilas.*

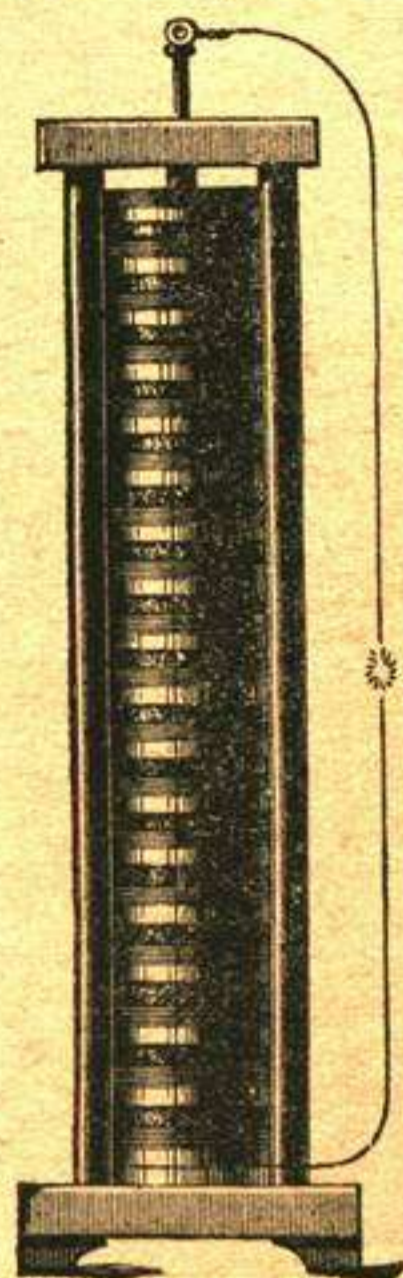


Fig. 192.

La fuerza contraelectromotriz de las pilas crece si aumenta la densidad de la corriente primaria y si disminuye la superficie de los electrodos. Por tanto, favorece á la polarización todo lo que reduzca la superficie útil de los metales sumergidos, y por consiguiente, como las burbujas de hidrógeno libre, provenientes de la electrolización de las mezclas de agua, se depositan en el electrodo positivo, esta es una causa constante de polarización; además este depósito, no sólo reduce la superficie útil, si que ello aumenta la resistencia interior de la pila, aminorando la densidad de la corriente primaria; actúa, pues, con doble efecto. Conocido esto como causa inevitable y muy eficaz en las pilas en que hay agua, se ha procurado remediarlo.

Favoreciendo el desprendimiento del hidrógeno libre: 1.º Agitando el líquido ó el electrodo positivo; 2.º Empleando agentes químicos en la pila que absorban el hidrógeno naciente, cuyas substancias se llaman «Despolarizantes»; 3.º Haciendo rugosa la superficie del electrodo positivo, á fin de que no se adhiera el hidrógeno. Por último, para que no se reduzca mucho la superficie útil, se le da mucha extensión á la del metal positivo, y se han buscado metales que desarrollen una corriente primaria de gran fuerza, y que sean buenos conductores.

Entre los empleados, el más *positivo* es el zinc, y como el del comercio es impuro y en él se realizan acciones locales, se aminoran amalgamándole: como segundo electrodo, se emplea generalmente el carbón de retorta, al que, reducido á polvo por fuerte presión, se le da las formas convenientes (barras prismáticas ó cilíndricas, planchas, etc.)

El líquido generalmente empleado es el ácido sulfúrico diluído en agua de 10 á 20 por 100.

Los despolarizantes que se emplean son muchos, y ya se ha dicho que son los que absorben el hidrógeno naciente, como las sales fácilmente reductibles y los cuerpos que tienen mucho oxígeno ó cloro, así se emplean los peróxidos de manganeso y plomo, el óxido cúprico, ácido nítrico ó el crómico, el agua regia, el cloruro de plata, y otros cuyos detalles é inconvenientes se analizan en cada pila.

Estos despolarizantes se disponen los insolubles en estado sólido y en un solo vaso con los dos electrodos y el líquido: en cuanto á los solubles que se emplean disueltos, se ponen en vasos porosos, á fin de que permitan el paso del hidrógeno y bañando á la lámina positiva.

## LECCION 37

**Modelos de pilas más usadas.**—1.<sup>a</sup> clase. Despolarizantes líquidos. *Pila de DANIEL:* Consta de los metales zinc y cobre como electrodos, siendo el zinc el positivo, y el cobre el negativo; los líquidos son ácido sulfúrico diluído, que baña el zinc, y sulfato de cobre que baña al cobre y es el despolarizante; su disposición se presenta en la fig. 193 y consta de una primer vasija de cristal; dentro va la lámina de cobre K arrollada en forma de cilindro abierto por una generatriz; en esta vasija va el despolarizante sulfato de cobre: en el hueco del cobre va un vaso poroso T de bizcocho de porcelana, con el agua acidulada ó sulfato de zinc que es el electrolito, bañando al cilindro de zinc Z. De la lámina de cobre sale una tira

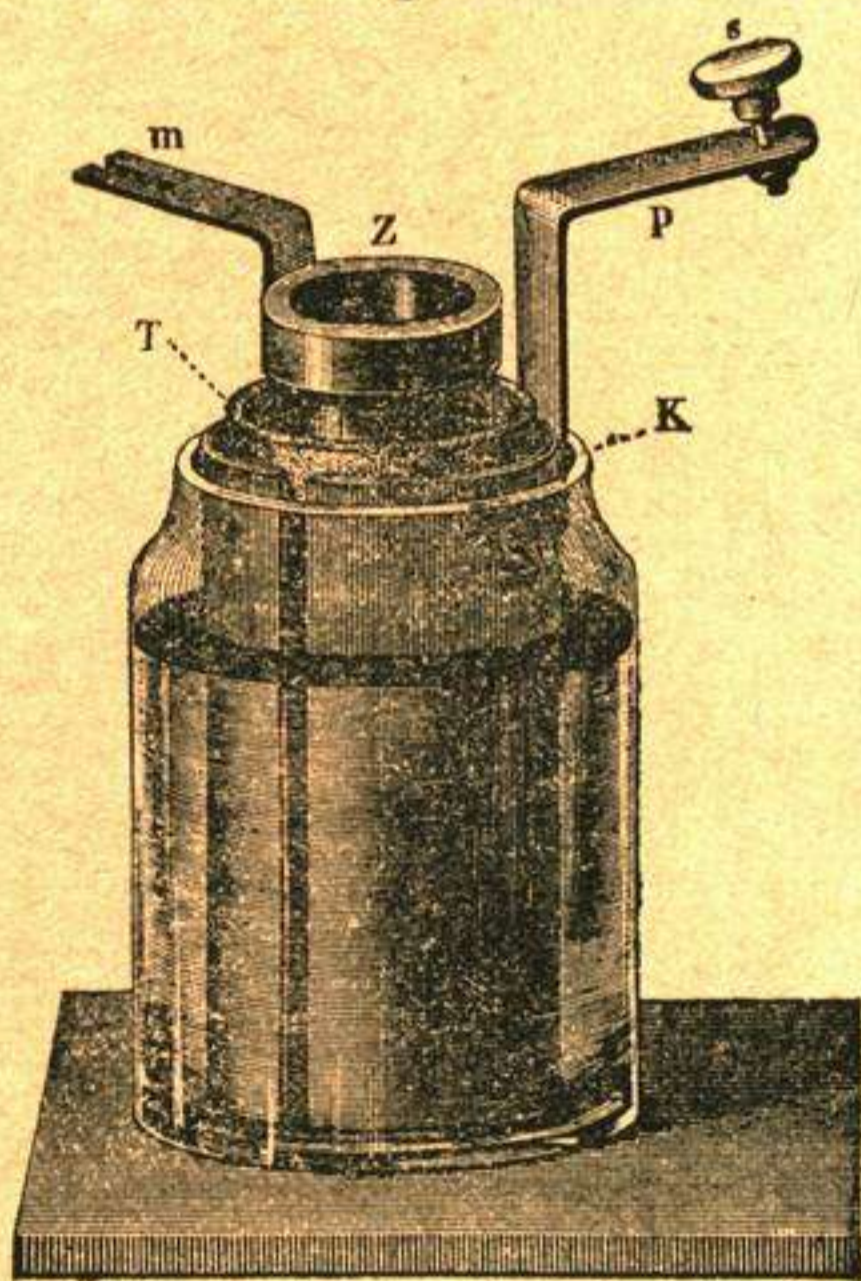


Fig 193.

de cobre P. con un tornillo s para unirlo á otra pila ó al circuito exterior; y de la lámina de zinc sale otra tira con el mismo objeto.

Esta pila no da vapores y es bastante constante aunque débil, y al cabo de cierto tiempo de funcionar, decae por taparse los poros del vaso poroso con las partículas de cobre precipitadas por la *electrolisis*.

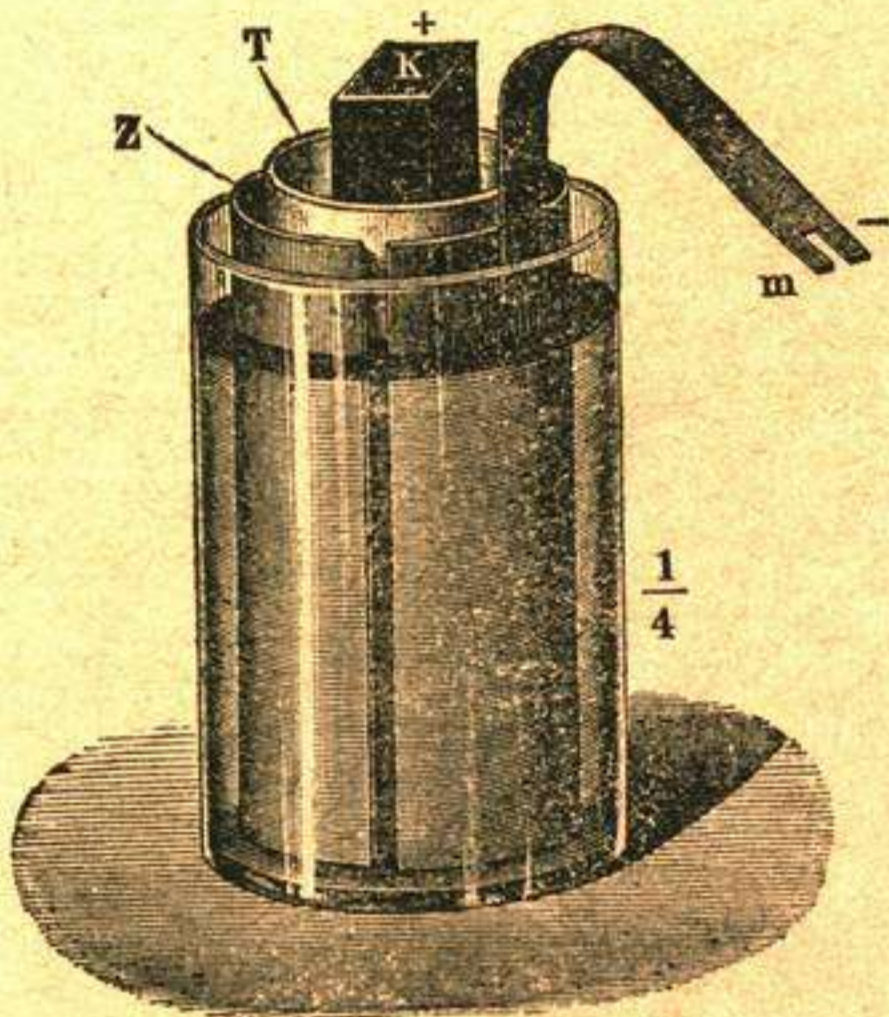


Fig. 194.

una generatriz y bañada por el ácido sulfúrico diluído (8 á 10 por 100), en el hueco va un vaso poroso T con el despolarizante el ácido nítrico concentrado, que baña al carbón K: una tira de cobre m soldada al zinc sirve de polo negativo para unir las á otros elementos, y en el carbón se pone un tornillo de presión (fig. 194 bis) para el mismo objeto.

Las ventajas de estas pilas consisten en su energía y constancia; su fuerza electromotriz es casi doble que una de Daniel de igual tamaño y casi con la misma constancia; sus inconvenientes son las precauciones para su montaje y sobre todo que despide abundantes vapores de ácido hiponítrico que son muy molestos y perjudiciales para los operadores y para los aparatos de latón de los gabinetes.

**Elementos Leclanché.**—Los metales son el zinc y carbón, el líquido es clorhidrato de amoniaco ó una disolución de cloruro amónico en agua y el despolarizante sólido peróxido de manganeso,

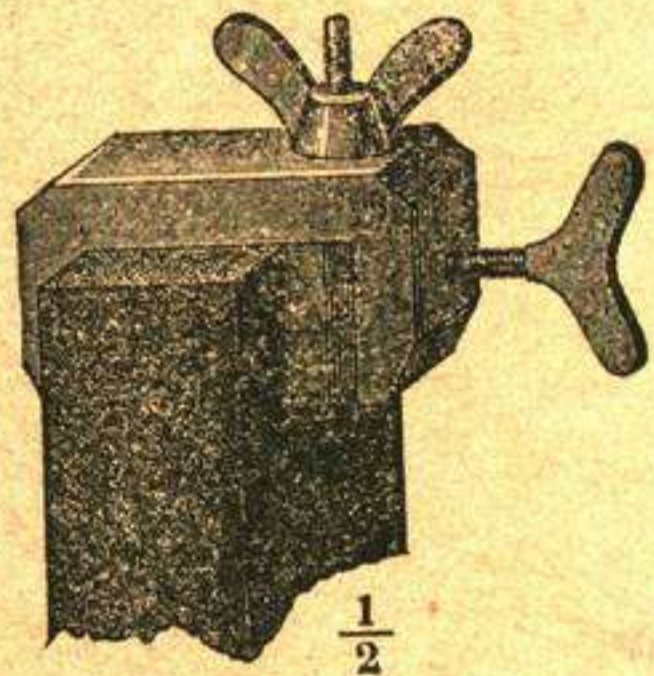


Fig. 194 bis.

(pirolusita); su disposición es la siguiente, (fig. 195): en un vaso de cristal con el líquido se mete una barra de zinc *z*; dentro va un vaso poroso con el carbón y el despolarizante. Estas pilas dan corrientes débiles é intermitentes, pero tienen las ventajas de que no dan vapores, y á circuito interrumpido no hay reacción, por lo que son muy á propósito para las aplicaciones en que no se necesita corriente constante, como para los timbres, teléfonos y telégrafos en estaciones de poco movimiento. Para entretenerlas basta echarles un poco de agua.

La pila LECLANCHÉ también se dispone como representa la figura 196, que en vez del vaso poroso lleva dos placas hechas con el despolarizante.

**Pilas Renard.**—Los metales son zinc como positivo y plata ó platinada como negativo: hay un sólo líquido mezclado con el despolarizante, y es una mezcla con partes iguales de ácido crómico y clorhídrico. Su disposición es un bastón de zinc rodeado de una lámina de plata ó platinada que se meten en un tubo cerrado por abajo en donde va el baño: los reóforos salen de los metales y éstos se retiran del baño cuando no han de funcionar.

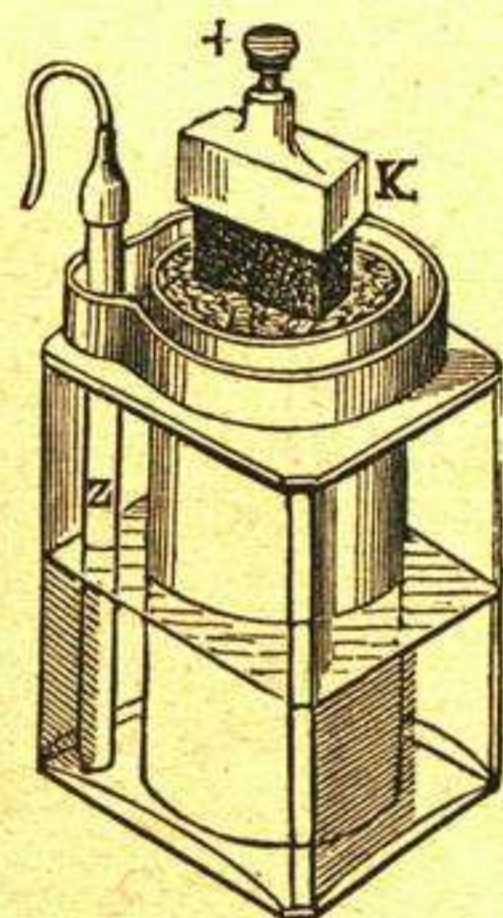


Fig. 195.

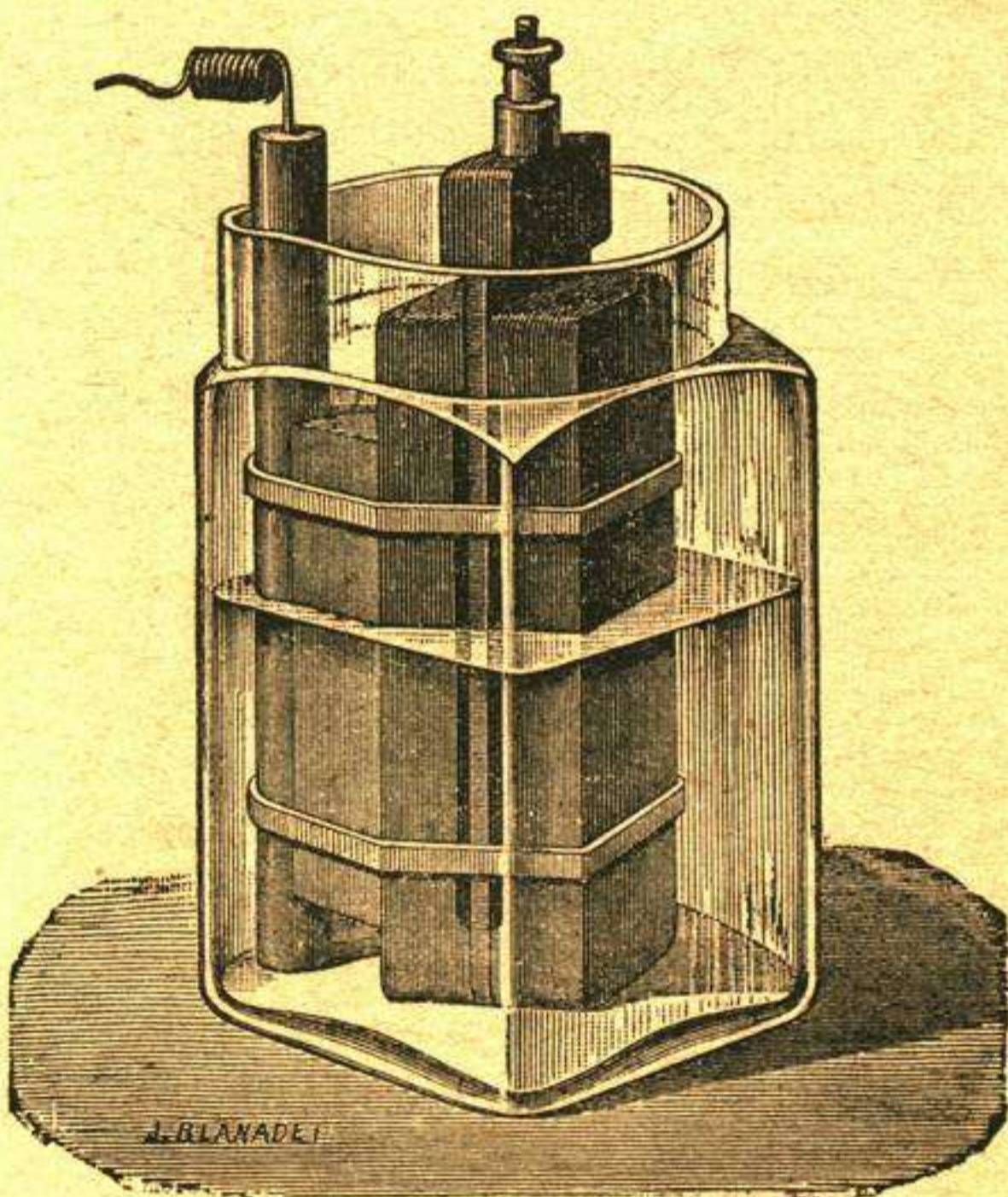


Fig. 196.

Renard para la navegación aérea, es su grande energía y poco volumen y peso, 36 de estos elementos pesan 15 kg. y proporcio-

La ventaja de estas pilas inventadas por



nan durante más de dos horas una potencia de 250 watts. y una diferencia de potenciales en cada elemento de 1,2 volts.

**Pilas de productos utilizables.**—Para disminuir el coste de las pilas, se ha intentado disponerlas de modo que los productos de la electrolisis que en ellas se verifique, sean de fácil salida en el comercio y de alto precio. Así se han procurado utilizar las sales verdes de las pilas de bicromato para la tintorería, y Perreux ha propuesto un modelo que en grande escala produzca sulfato de cobre, y como subproducto la electricidad.

**Pila Lalande Chaperon.**—Consiste en una cuba cuadrangular ó caja sin tapa, de chapa de hierro que sirve de polo positivo, y dentro de una disolución concentrada de potasa cáustica; en el fondo se ha extendido una capa de óxido de cobre formado por la tostación de virutas y recortes; intermedia en la caja y como un diafragma horizontal apoyado en soportes de porcelana va una placa de zinc que por un lado está doblada en ángulo recto de modo que sobresalga un poco de los bordes de la caja y forma el polo negativo; sobre la disolución de potasa se pone petróleo bruto ó parafina para evitar el ataque del ácido carbónico del aire.

La función de esta pila es la siguiente: á circuito abierto no hay reacción química, pero una vez cerrado se descompone el agua, el anodo es el zinc sobre el que va el oxígeno; el óxido del metal con álcali, forman zincato de potasa; el catodo es el óxido de cobre, sobre el que va el hidrógeno y lo reduce, quedando cobre metálico.

Como los electrodos son de gran superficie y están cerca, su resistencia interior es de 0,05 ohm; su fuerza electromotriz es de 1 volt. Estas pilas han adquirido importancia porque hechas regenerables se emplean como acumuladores.

**Modo de agrupamiento de las pilas.**—Los modos de asociar los elementos se pueden clasificar en dos clases, á saber: en *Serie* y en *Derivación*.

Se dice los elementos asociados en serie, y para fijar las ideas supongamos dos elementos Bunssen, cuando el zinc del uno se une al carbón del otro: así la fig. 197 representa ocho elementos reunidos en serie. El efecto de esta reunión es tener en los reóforos libres una diferencia de potenciales igual á la suma de los de cada elemento en particular. Por esto también se llama á este agrupamiento «en Tensión.»

El segundo modo llamado en *derivación*, *cantidad*, *superficie* ó en *arco múltiple*, que todos estos nombres lleva, consiste en reunir los

dos carbones entre sí y los dos zincs: esto en dos elementos equivale á tener uno de doble superficie. Si son más de dos los elementos que se han de reunir en derivación, por ejemplo 8, se pueden hacer las combinaciones que representan las figs. 198, 199 y 200; en la 198 se tiene una pila de cuatro elementos en tensión y de doble superficie que uno de los dados. En la fig. 199 se tienen dos elementos en tensión, pero de cuádruple superficie que uno de los dados, y en la 200 se tiene un elemento de la misma tensión, pero de ocho veces la superficie de uno de los dados.

Respecto de las ventajas de estos modos de asociación considerada en cuanto á la intensidad de la corriente en el cir-



Fig 197.

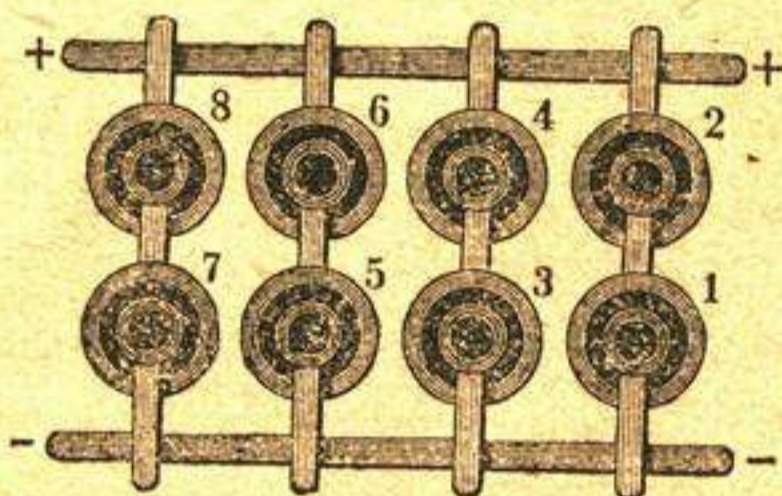


Fig. 198.

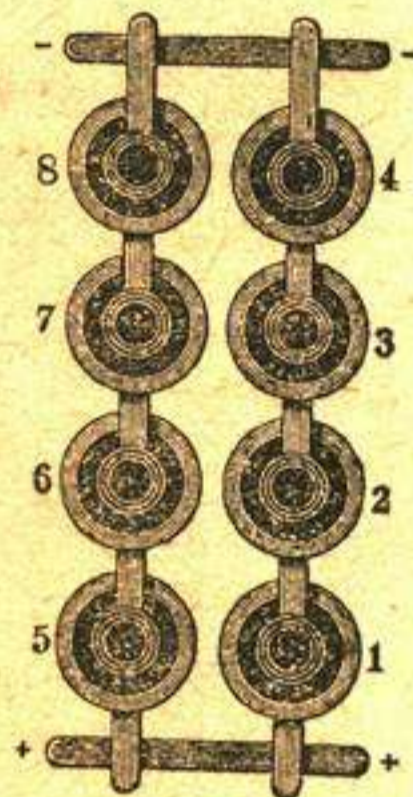


Fig. 199.

cuito exterior, hay que tener en cuenta la resistencia de éste.

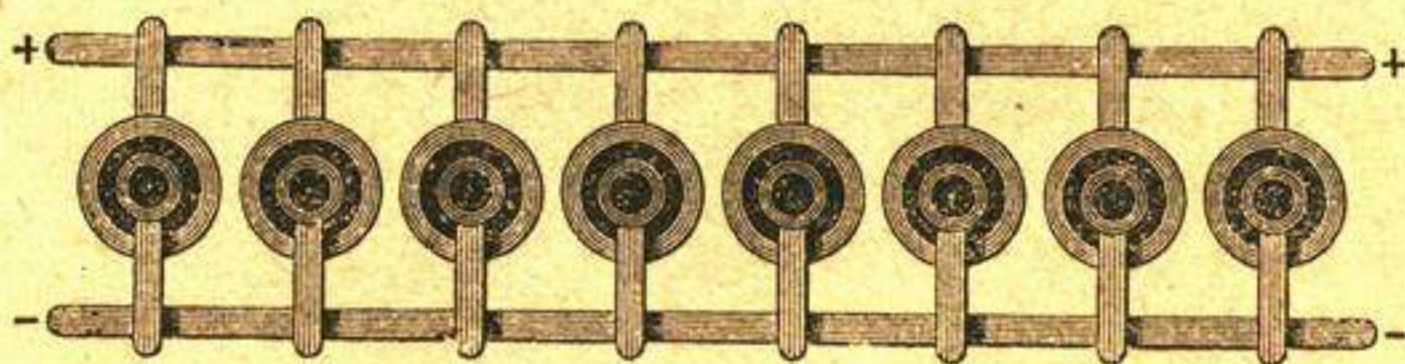


Fig. 200.

Así la asociación en tensión es ventajosa si la resistencia exterior es mayor que la interior, y al contrario, si la resistencia exterior es menor que la interior es ventajosa la asociación en superficie.

Las pilas primarias en general son muy caras para las aplicaciones industriales de la electricidad y sólo se emplean en aquellos servicios en que se necesitan corrientes débiles ó intermitentes y que por su importancia compensan los gastos; tales son las aplicaciones á los timbres y relojes domésticos, telégrafos y teléfonos y en las experiencias de gabinete; se calcula que con las pilas cuesta 3 pesetas un caballo hora de fuerza útil.

## LECCIÓN 38

### Hecho fundamental de las pilas secundarias ó acumuladores

2, 57.

**Reversión de las pilas.** — Hay pilas que si en su interior se hace pasar una corriente en sentido contrario, á la que ella misma origina cuando funciona como generador, las reacciones que se verifican son entonces las opuestas á las que se verificaron antes: á esto se llama ser la pila *revertible* ó *regenerable*.

El hecho de la regeneración puede tener lugar como ejemplo del modo siguiente: En una pila zinc, cobre y agua acidulada, si funciona como generador, la corriente va en el interior del zinc al cobre y los productos químicos que resultan de la *electrolisis* son sulfato de zinc, é hidrógeno libre. Si ahora de otra fuente electromotriz se hace pasar una corriente que vaya por el interior de la pila, al revés que antes, es decir, del cobre al zinc, ocurre que el sulfato de zinc se reduce depositándose el metal libre sobre la lámina de zinc. Como con esto se deshace lo que antes se hizo y vuelve la pila á su primitivo estado, se llama á este hecho regenerar la pila.

Pero hay otro hecho en la electrolisis de las pilas que se enlaza con el anterior y le da gran interés, y es que los productos de las reacciones químicas que origina la electrolisis por la corriente primaria, tienden por sí mismos á disociarse, para volver al estado primitivo que tuvieron. Nace por tanto una acción química de la electrolisis que va acumulando en las pilas una energía potencial, que al convertirse en actual, es decir, al disociarse los productos originados, causan una corriente en la pila de sentido contrario á la primaria.

De esto se han aprovechado los físicos para construir pilas de tal condición, que al pasar por ellas una corriente primaria, origine unas reacciones químicas que al cesar este flujo y por el retroceso de las reacciones producidas origina otra corriente.

**Tipos de acumuladores más usados.** — No todas las pilas son regenerables, esto es, no en todos los productos producidos por la electrolisis existe esa fuerza química de retroceso al estado primitivo, que

es la nueva causa electromotriz, sino que en general los que resultan son productos en los que no se manifiesta esta acción de retroceso. No pueden, pues, servir todas las pilas de acumuladores ó pilas secundarias.

Las que mejor se adaptan á este servicio hasta ahora, son los acumuladores de electrodos de plomo: Mr. Planté advirtió que si se emplean dos electrodos de plomo en el electrolisis del agua acidulada, se origina una fuerza electromotriz de polarización considerable, que puede después que cesa la corriente que atraviesa el electrolisis proporcionar una corriente secundaria intensa.

(Según la interpretación más admitida, los fenómenos que ocurren en tal sistema voltaico son los siguientes: Al descomponerse el agua, el oxígeno va al anodo (lámina positiva) y se une al plomo formando el peróxido; en cambio, el hidrógeno libre, cubre el catodo y se escapa; al cabo de cierto tiempo de este proceso, el anodo se cubre de una capa compacta de peróxido, la cual impide la continuación de la oxidación del metal, y el oxígeno también se desprende. Si en este momento se interrumpe la corriente que originaba la electrolisis, y se unen entre sí por un conductor las dos láminas de plomo, (anodo y catodo) se produce una electrolización inversa, es decir, que el hidrógeno del catodo va al anodo y reduce el peróxido á protóxido, el cual se combina con el ácido sulfúrico, produciendo sulfato de plomo: el oxígeno que se desprende al desoxigenarse el anodo sigue oxidando á la parte no atacada de la misma lámina, y este protóxido, reaccionando sobre el ácido del baño, produce también sulfato. Sulfatadas las dos placas, si se vuelve á unir las á los polos de una pila como al principio, se reduce el sulfato del anodo del que se desprende oxígeno, formándose peróxido y ácido sulfúrico; en el catodo, el hidrógeno vuelve á la lámina al estado metálico.

Se tiene, pues, que los electrodos retroceden al estado que tenían después del paso de su primera corriente, ó primera carga, salvo de que la capa de peróxido formada sobre el anodo es más considerable, á causa de que su superficie se ha hecho más porosa y la acción del oxígeno penetra más profundamente: el catodo se cubre de una capa pulverulenta de plomo reducido, que convierte su superficie lisa en rugosa, favoreciendo con ello las reacciones químicas enumeradas. A consecuencia de esto, la segunda carga, así como la descarga durarán más.

Repitiendo estos procesos muchas veces, se llegan á formar capas activas suficientemente gruesas para que las masas en que se verifi-

can las reacciones produzcan corrientes de mucha duración; á estas operaciones se les comprende bajo la denominación de «Constitución de la pila.»

Los primeros acumuladores del sistema Planté estaban constituidos (fig. 201) por dos láminas de plomo arrolladas una sobre otra

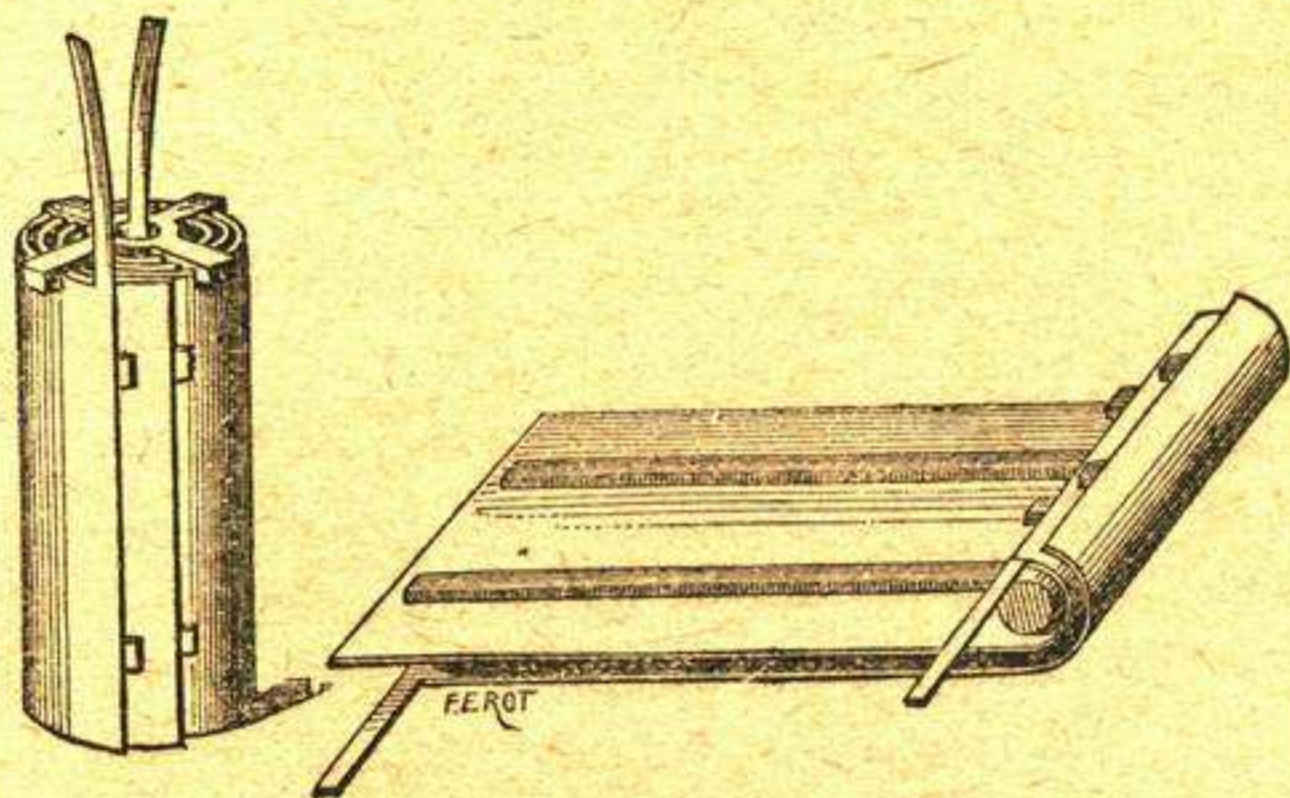


Fig. 201.

en forma cilíndrica y aisladas entre sí, las cuales servían de electrodos: de estas láminas venían dos tiras de plomo, que salían fuera del vaso, en que se sumergía el cilindro de plomo, y cuyo vaso tenía agua acidu-

lada, con ácido sulfúrico al 10 por 100; por esta disposición la superficie de reacciones es grande y la resistencia interior pequeña.

Más adelante Planté dispuso su pila en vasos de sección rectangular, que contenían una serie de planchas rectangulares de plomo, paralelas y salteadamente unidas, de modo que los anodos alternaban con los catodos. Pero la principal modificación de estas pilas la introdujo Faure y consiste en lo siguiente: En vez de producir por el electrolisis (operación larga y costosa) las materias activas que se depositan sobre los electrodos, se le ocurrió poner desde luego sobre las láminas de plomo una pasta compuesta del óxido de este metal, amasado con una disolución de ácido sulfúrico (una parte del ácido y dos de agua), con lo cual se trasforma el óxido en sulfato rojizo, dando á la masa suficiente consistencia, para que no se deshaga al meterla en el agua acidulada.

De esta manera, por medio de una carga prolongada, el sulfato pasa á peróxido (oxidopulga), sobre el anodo, y el plomo reducido va sobre el catodo; con esto, en pocas horas se tiene dispuesto el acumulador.

Para impedir la caída de la pasta con que se cubren las láminas, se han ideado muchos procedimientos: el primero fué envolver las láminas en sacos de fieltro, pero esto se abandonó porque éste se alteraba con el ácido. Después se ideó hacer las láminas en vez de

un plano liso, en forma de un enrejado, pero también se caían las pastillas de la masa alojadas en los huecos; para evitarlo se pasaron las planchas enrejadas y llenas de la masa, por un laminador, á fin de producir rebordes en los huecos, y encerrar las pastillas en celdas interiores; otros formaron las celdillas interiores, componiendo las planchas con dos, que al ajustarse dejaban entre sí huecos poligonales; otros, por fin, emplean placas macizas, con ranuras en zigzag, y alternando las que sirven de anodos con los catodos.

En resumen, los acumuladores sistema Planté-Faure, tienen el vaso en forma de caja rectangular y láminas planas de plomo, alternando los anodos con los catodos, y dispuestas de modo que se impida lo más posible la caída de la pasta con que se cubren ó se llenan sus huecos.

Los vasos son generalmente de vidrio, en las instalaciones fijas, y tienen la ventaja de que dejan ver el estado de los electrodos y su aislamiento; para impedir que el ácido ascienda por sus paredes, se parafinan los bordes, además se les coloca sobre planos aisladores.

Para que las placas no se toquen, se han ideado varias disposiciones, cuyo detalle suprimimos, bastando tener presente esta condición esencial, y para que por la caída al fondo de los vasos de los pedazos de pasta no se establezca comunicación entre ellas, se disponen de modo que estén algo levantadas de él.

Al cargar los acumuladores, por la salida de los gases, se suelen proyectar partículas del líquido, y para evitarlo se echa encima de éste una capa de parafina líquida; otros, ponen sobre los vasos una tapa de cristal; en todo caso no se debe de aproximar á los acumuladores ninguna llama, porque bajo la tapa ú hoja de parafina líquida se forman burbujas de un gas detonante, cuya inflamación es peligrosa.

**Rendimiento de los acumuladores.**—Se llama capacidad de un acumulador, el número de coulombs que restituye en su descarga. Se expresa esta cantidad en las unidades llamadas amper-hora, porque se mide con un amperómetro y un reloj.

En los buenos acumuladores (de láminas enrejadas) se ha conseguido una capacidad de 7 amper-hora por kilogramo de electrodo.

(El rendimiento de un acumulador es el cociente de la energía disponible en la descarga, y la absorbida en la carga.) Es claro que si este cociente diese el número 1, querría decir que una y otra energía eran iguales, ó sea que el acumulador devolvía toda la energía que se empleó en su carga: esto no se ha conseguido; sin embargo, los Julien han devuelto un 78,7 por 100; en experiencias poste-

riores con acumuladores provistos de todos los adelantos ha llegado á obtenerse un rendimiento de 80 por 100.

**Duración de los elementos secundarios de plomo.**—La duración de los elementos secundarios de electrodos de plomo, depende principalmente del cuidado que con ellos se tenga: así que el volmetro y el densímetro no se deben de dejar de la mano, para inspeccionar par por par, en cuanto la fuerza electromotriz de un elemento decae de su valor normal.

Una de las causas principales del decaimiento, es que las pastillas de masa desprendidas de sus celdas se quedan entre dos láminas, estableciendo con esto comunicación entre ellas: el color y estado de las placas es de gran interés; el cubrimiento de las placas por la costra de sulfato blanco, ocurre en los dos casos, de haber prolongado mucho: 1.º las descargas; 2.º el reposo de los elementos: si su influencia se extiende al interior de las planchas, éstas se hinchan, y anuncian la caída de la pasta. Así, que conviene inspeccionar si esto sucede, y con una varilla echarla al fondo; también conviene observar si las placas se han alaveado ó cubierto del sulfato blanco, para enderezarlas ó limpiarlas.)

(Bien cuidado un elemento de placa enrejada y en régimen normal de descarga, pueden durar 10 años sus placas negativas: las positivas que trabajan más, hay que substituir la masa de sus celdas á los dos ó tres años de servicio.)

Los acumuladores empleados en los tranvías y que tienen su régimen anormal y forzado de descarga, se gastan en mucho menos tiempo.

**Noticia de los acumuladores Commelin y Desmares.**— Los acumuladores que llevan este nombre por el de sus inventores, consisten en una pila Lalande Chaperon hecha regenerable por el electroliso. La solución de zincato de potasa que se reduce, va encerrada en un recipiente de tela estañada que contiene electrodos en tela metálica de hierro, alternando con otros de cobre poroso, que se obtiene comprimiendo cobre reducido entre las mallas de una tela metálica de cobre: estos electrodos van en sacos de papel pergamino, con lo cual se aislan de los otros de tela.

Durante la carga, las telas de hierro hacen de catodos, revistiéndose de un depósito de zinc; las telas de cobre hacen de anodos, en los cuales se verifica un desprendimiento de oxígeno que en su estado nascente oxidan al cobre que está entre las mallas.

Según sus inventores, un elemento que conste de seis láminas de

lata de hierro y cinco de cobre, pesando en junto seis kg. con una superficie total, los primeros de 70 dm<sup>2</sup>. y los segundos de 62 dm<sup>2</sup>., tiene de peso total con el vaso y líquido de 18 kg. Su fuerza electromotriz es de 1 volt, su régimen de carga de 27 ampers y el de descarga de 60. dando por elemento un trabajo electroliso de 0,5 kilo watt-hora. Por su poco peso relativamente á los otros de plomo, se han empleado en Francia (según parece) en los ensayos de la dirección de los globos y navegación submarina.

**Noticia de la pila secundaria de gases.**—Mond y Lauger, entre otros, han tratado de utilizar la fuerza electromotriz de la recomposición de los gases, oxígeno é hidrógeno, formando agua (de que ya se ha hablado) para construir un acumulador.

Para ello, dicen los inventores que la solución sulfúrica la encierran en los poros de una placa de pasta de yeso con un enrejado de plomo en cada cara, cuyas celdas las llenan de negro de platino; á través de estas celdas pasan los gases que se recombinan, produciendo la corriente eléctrica, cuya fuerza electromotriz, funcionando con aire é hidrógeno, estiman en 1 volt.

**Pares termoeléctricas.**—El efecto Seebeck es la producción de corriente eléctrica en los metales soldados cuyas soldaduras se calientan.

*Experiencias.*—Un hilo de cobre y otro de hierro en circuito cerrado é inserto en el último un galvanómetro, si se calienta la soldadura, se produce una corriente que va del cobre al hierro á través de la soldadura calentada.

El efecto *Peltier*, es la reversión del de *Seebeck*; en efecto, si por el circuito anterior se hace pasar una corriente que atraviese del cobre al hierro, la soldadura se enfría y si se invierte el sentido de la corriente, se calienta.

*Efecto Thomson.*—La fuerza electromotriz de las experiencias de Seebeck, no reside sólo en las soldaduras, porque si una barra metálica (excepto de plomo) se calienta en distintos puntos de modo que la temperatura sea desigual, se produce una diferencia de potenciales; combinando estas diferencias se han podido obtener corrientes eléctricas, sobre las cuales Becquerel ha dado las dos leyes siguientes:

1.<sup>a</sup> LLAMADA DE LAS TEMPERATURAS SUCESIVAS, á saber: en un par termo-eléctrico heterogéneo, la fuerza electromotriz correspondiente á dos temperaturas diferentes, de las soldaduras, es igual á la suma algebraica de las fuerzas electromotrices debidas á cada una.

2.<sup>a</sup> LLAMADA DE LOS METALES INTERMEDIOS. Si dos metales están



separados en un circuito por uno ó muchos intermedios, todos á la misma temperatura, la fuerza electromotriz del sistema, es la misma que si los dos últimos estuviesen directamente unidos y su soldadura calentada á la misma temperatura.

LEY THOMSON. Si los extremos de una barra homogénea se ponen á temperaturas diferentes, la fuerza electromotriz desarrollada es proporcional á la diferencia de aquéllas.

El estudio del poder termoeléctrico, ha demostrado que los pares de esta clase sólo producen fuerzas electromotrices muy débiles.

Entre los muchos modelos de pilas termoeléctricas, describiremos la de Nobili y Melloni por su aplicación en los gabinetes.

Esta pila tiene la forma de un paralelepípedo (fig. 202) constituido

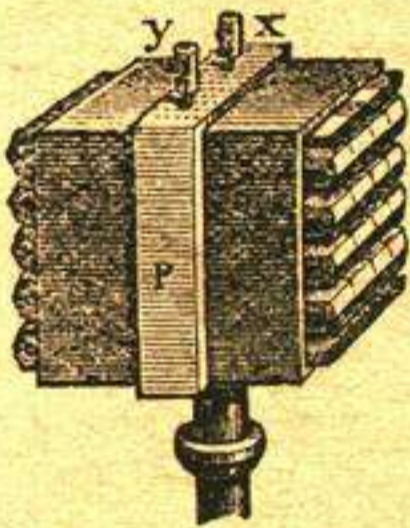


Fig. 202.

por barritas de bismuto y antimonio; estos panes están doblados por la soldadura como se representa en la (fig. 203), de modo que todas las que llevan número par, van á una cara, y las que llevan número impar, van á la opuesta del paralelepípedo; los extremos de la tira continua que forman todos los pares, se unen á dos tornillos de presión  $x$  é  $y$  que son los polos de esta pila.



Fig. 203.

Su uso está limitado al aparato llamado termomultiplicador, en las experiencias de termometría y apreciación del calor radiante.

## LECCION 39

### Imanes

L. 56.

**Imanes naturales.**—Existe en la naturaleza un óxido de hierro, cuya fórmula química es  $Fe_2O_3$ , y su nombre común «*Piedra imán*», que tiene la propiedad de atraer á distancia las limaduras de hierro y de otros cuerpos; esta propiedad se le puede dar también por medios artificiales al hierro dulce y sus derivados, la fundición y el acero, con la circunstancia de que la adquieren en más alto grado que los imanes naturales, y la retienen por más tiempo, principalmente el acero; este hecho artificial se nombra imantación.

*Experiencias.*—Si una barra imanada de acero se pone entre limaduras de hierro, éstas no son atraídas igualmente por todas las

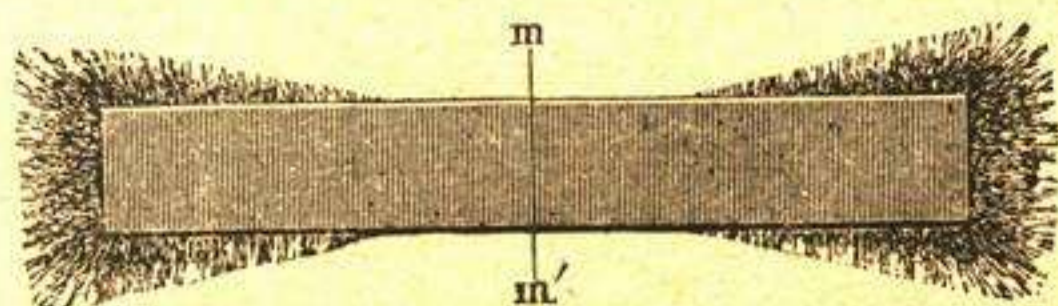


Fig. 201.

partes de la barra, sino que ciertas de ellas se acumulan, y en otras no son atraídas; las partes sobre las cuales se amontonan se llaman

Polos, y los que quedan libres LÍNEAS NEUTRAS (fig. 204).

También ofrecen los imanes, y especialmente los de forma de barras prismáticas alargadas (fig. 205), la notable propiedad de que puestos de modo que puedan girar fácilmente, por ejemplo, colgados de un hilo ó apoyados en un pivote por su centro de gravedad (fig. 206), uno de sus polos se dirige al Norte de la Tierra, y el otro al Sur; por cuya orientación se le ha dado á cada uno el nombre del polo á que se dirige.

*Ley de las atracciones y repulsiones magnéticas.*—Si se marcan los polos de varias barras imanes con las letras N y S, y se acercan los de una á los de otra,

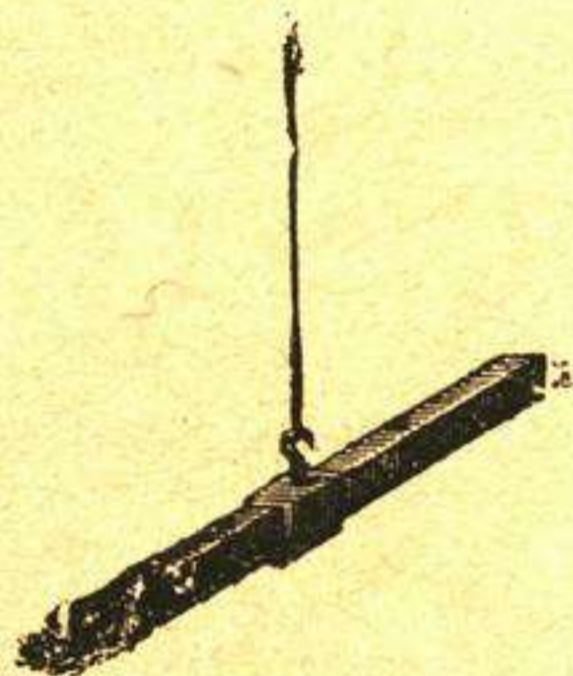


Fig. 205.

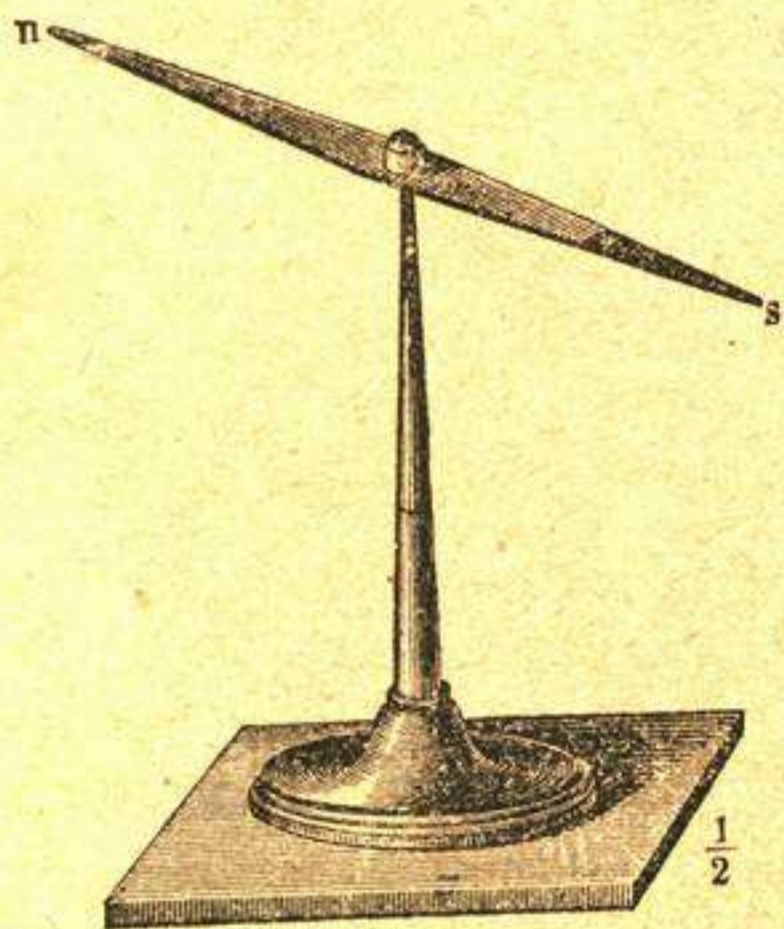


Fig. 206.

puesta en condiciones de moverse fácilmente, se observa que «los polos del mismo nombre se repelen y los de nombre contrario se atraen.»

En cuanto á la energía de estas acciones, con respecto á las distancias, se ha determinado que *está en razón inversa del cuadrado de las distancias*. Es decir, que sigue la ley de las llamadas fuerzas centrales ó Newtonianas.

Esta fuerza que atrae ó repele á distancia, se ha llamado Magnetismo, quizá por haberse observado sus efectos por primera vez en la ciudad de

Magnesia en el Asia Menor, cerca de la cual se encuentra la piedra imán; las acciones de los imanes tienen tal semejanza con las atracciones y repulsiones eléctricas, que desde luego se sospechó que obedecían á la misma causa; mucho tiempo se tardó en corroborar

la reciprocidad de las acciones magnética y eléctrica, hasta que Ørsted y Ampere con sus experiencias, Faraday y Maxwell con sus teorías, demostraron que electricidad y magnetismo son manifestaciones diversas de un mismo agente, sobre cuya naturaleza y modo de movimiento versan las actuales investigaciones que parecen haber dado un gran paso con las modernas experiencias de Hertz.

La fuerza magnética, según se ha indicado, obedecen las leyes Newtonianas de las energías á distancia, y les son por tanto aplicables los conceptos de campos y líneas de fuerza, que en general se idearon para tales energías.

Así se llama *Polo unidad* al que repelè á uno igual puesto á la distancia de un centímetro, con la fuerza de una dyna.

Si el polo puesto frente al unidad fuese de nombre CONTRARIO, la acción sería atractiva: se acostumbra bajo estos conceptos llamar á los polos *N, positivos*, y á los *S, negativos*.

*Campo magnético* es todo espacio en el que se manifiestan fuerzas magnéticas. La intensidad en un punto de un campo magnético, se mide por la acción que en él se ejerce sobre el polo + N. unidad. La dirección de esta acción es lo que se llama *dirección del campo*; *línea de fuerza* del mismo es la trayectoria que el polo + N. describiría al moverse *libremente* ó sea independiente de toda otra acción que no sea la magnética del campo.

La *estructura del campo magnético de un punto*, según Maxwell, puede aceptarse que es como el lumínico, es decir, que está constituido por un número infinito de radios que parten del punto que le crea; es claro que una superficie dada, por ejemplo un centímetro cuadrado, interceptará ó recibirá tanto número menor de estos rayos ó radios cuanto más lejos esté del centro magnético. En general, las líneas de fuerza magnética son curvas diversamente espaciadas entre sí.

Se llama *campo magnético uniforme* aquel cuyas líneas de fuerza son rectas paralelas equidistantes.

La tierra ofrece un ejemplo de campos magnéticos uniformes, considerando un corto espacio de ella; por ejemplo, el de un gabinete de experiencia, porque si no hay en él masa alguna magnética, se puede experimentar que una barra imantada oscila con duración constante: tal ocurriría con una aguja magnética, en forma de rombo de ejes muy desiguales, suspendida de un hilo sin torsión, la cual, puesta en distintos lugares de la sala, y sacada el mismo ángulo de su posición de equilibrio, daría el mismo número de oscilaciones hasta

volver á él, indicando con esto la uniformidad de ese corto espacio del campo magnético terrestre.

Tal aguja, al llegar al equilibrio, marca con su diagonal mayor la dirección próximamente del N S de la tierra; el plano vertical que pasa por esa diagonal es el que se llama *meridiano magnético* del punto que marca el centro de la aguja.

Si el meridiano magnético no coincide con el geográfico, forma con él un ángulo que se llama el ángulo de *declinación* de la aguja. También ocurre que una de las puntas de la aguja (la N si se está en el hemisferio N de la tierra ó la S en caso contrario) se inclina ó cae por bajo del plano horizontal que pasa por el centro de la aguja, y el ángulo que el eje del imán forma con este plano horizontal se llama de *inclinación*.

Aunque es cierto que por pequeño que sea un espacio terrestre, sus líneas de fuerza magnética concurren en los polos magnéticos de la tierra; pero se pueden considerar como paralelos á manera que dos verticales muy próximas se consideran también como paralelas, por la gran distancia desde el punto considerado al en que se reúnen.

**Potencial magnético** es la fuerza con que en un lugar de un campo magnético es solicitado á moverse un polo siguiendo una de las líneas de fuerza. La medida del *potencial de un punto de un campo* es la diferencia de las potenciales de los extremos de la parte de línea de fuerza que se considera que recorre el polo.

Si un polo se mueve en un campo cortando normalmente á las líneas de fuerza, no verifica ningún trabajo; á manera que en el campo gravitatorio, un móvil que se mueve en plano horizontal, cortando normalmente á las verticales, aparte de los rozamientos y respecto de la gravedad, no realiza trabajo alguno.

Los campos magnéticos pueden ser de diferentes potenciales: los más intensos hasta ahora obtenidos artificialmente han sido de 30.000 dynas, ó sean de unos 3 kilogramos sobre el polo unidad.

Si en todos los puntos de un campo magnético la intensidad es constante en magnitud y dirección, el campo se dice también uniforme, y si en él se considera una barra imantada libre, es decir, que no sufra más acción que la magnética del campo, se ve por experiencia que la barra no se traslada, sino que se *orienta* en dirección determinada, de lo que se ha inferido que las masas magnéticas de la barra son *iguales y contrarias*, toda vez que las atracciones se equilibran con las repulsiones que sobre ellas ejerce el magnetismo del campo.

Las resultantes de las dos acciones contrarias del campo sobre la

suma de las masas magnéticas opuestas de la barra imantada, se aplican á dos puntos de ella, llamados sus *Polos*. La línea imaginaria que une los polos se llama *eje magnético* de la barra; la longitud del eje magnético es la verdadera del imán.

Un ejemplo gráfico de esto se puede representar por la fig. 207, *a* es el punto que crea el campo magnético, en el cual está la barra N S: si *a* es de polaridad Norte, actuará repeliendo la media barra M N y atrayendo la media M S; las flechas indican las direcciones é intensidades de las acciones de *a*, y es claro que todas las ejercidas sobre MN se componen en una resultante R aplicada en P y todas las que se ejercen sobre MS se componen en la resultante R' aplicada en P': estos puntos P y P' son los verdaderos polos: PP' el eje magnético y longitud del imán.

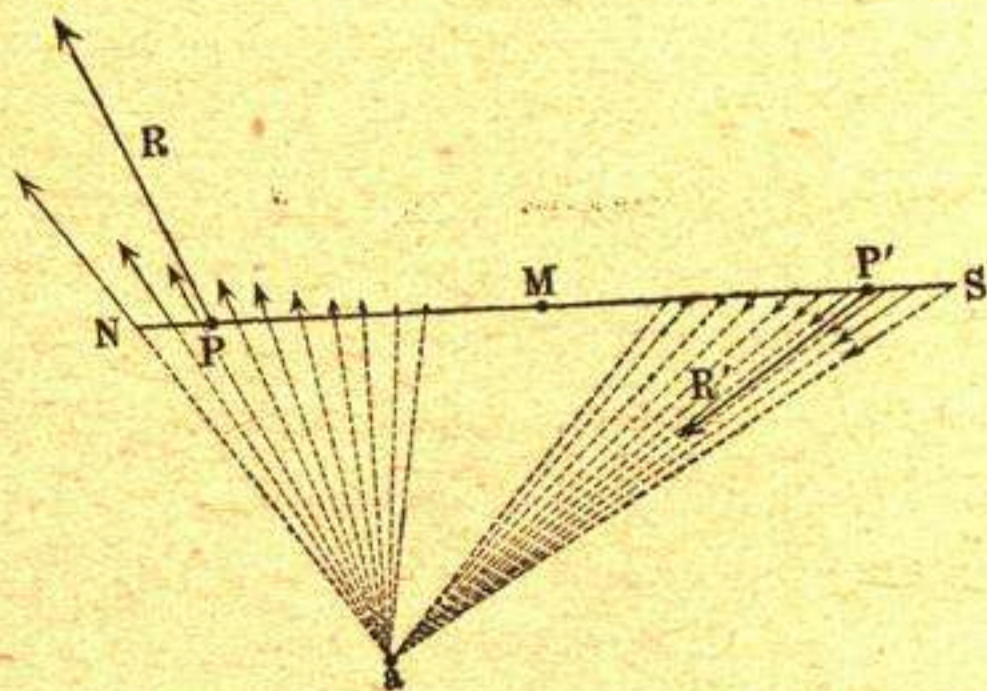


Fig. 207.

La determinación de los polos verdaderos se puede hacer experimentalmente, por un método debido á Coulomb y consiste en determinar gráficamente la curva de intensidad de una barra imantada, y obtenido esto, se investigan sus polos del modo siguiente:

**Determinación de las curvas de intensidad de una barra; su comprobación gráfica.**—Para ello, de una seda sin torsión se cuelga una aguja imanada de 12 milímetros de largo y 6 milímetros de grueso, de acero bien duro; se deja primeramente oscilar bajo la acción del magnetismo terrestre. Después se acerca á una barra imanada puesta verticalmente, como representa la fig. 208, de modo que esté en el meridiano magnético de la aguja. Mientras la distancia de la barra al polo más cercano de la aguja es de 17 milímetros, siendo el polo Sur de la barra al que se aproxima el Norte de la aguja, ocurre que las oscilaciones se apresuran, sólo que el apresuramiento es desigual, según los diferentes sitios de la barra á que se aproxima la aguja. Es decir, que las oscilaciones, son tanto más despacio cuanto más se acerca la aguja á los lugares de la barra más próximos á su mitad. De la duración de las

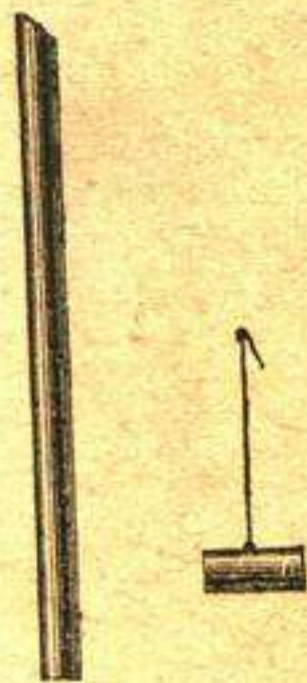


Fig. 208.

oscilaciones observadas en cada lugar de la barra, se puede deducir la intensidad de su acción magnética, y se representa gráficamente como expresa la fig. 209, á saber:  $ma$  es la mitad de una barra imanada;  $m$  su línea neutra y  $a$  su extremo; sobre esta línea y con una medida cualquiera, se van señalando puntos á distancias iguales, á partir de  $a$ , y levantando en ellos perpendiculares cuya longitud sea

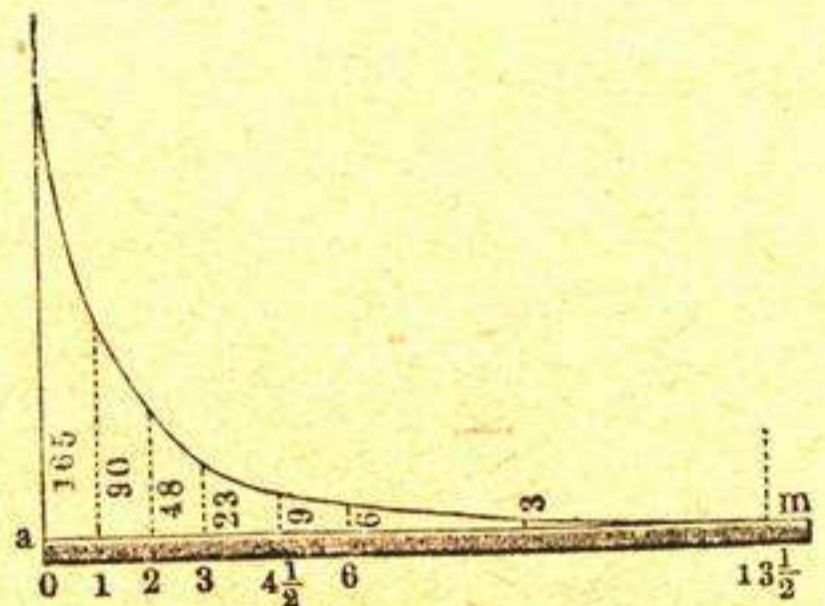


Fig. 209.

la intensidad observada en aquel lugar del imán, cuya intensidad se traduce como se sabe en las fuerzas, por unidades lineales; y si es la misma la que se emplea para expresar la intensidad en todos los lugares de la barra, se tiene, uniendo los extremos de estas perpendiculares, la *curva de intensidad* que representa la figura, y que manifiesta que su *máximum* está en  $a$ . Estas curvas así trazadas, tienen casi la misma figura para todas las barras cuya longitud es mayor

de 25 centímetros, es decir, que hacia su medio existe un espacio más ó menos largo, en el cual la intensidad es nula.

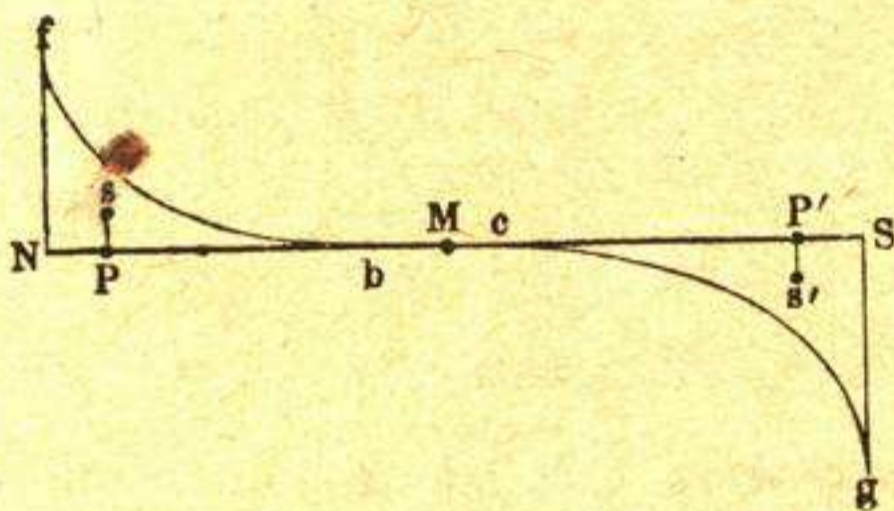


Fig. 210.

por las dos mitades de la barra imanada y las curvas de intensidad, y bajar desde ellas perpendiculares á la dirección de la barra: los pies  $P$  y  $P'$  de éstas, son los polos buscados.

La posición de los polos se deduce de la construcción de las curvas de intensidad, pues basta determinar los centros de gravedad  $s$  y  $s'$  de las superficies  $bfN$  y  $cgS$  (fig. 210), definidas

## LECCION 40

**Experiencias con las barras de acero imanadas ó imanes artificiales.**—Si se parte en dos pedazos una barra imanada, se obtienen dos imanes completos, es decir, con sus dos polos opuestos hacia los

extremos, y una línea neutra (cuando menos): cualquiera que sea el número de trozos en que se divida, cada uno es un imán *completo*.

**Hipótesis.**—Estos hechos indujeron á suponer que la constitución molecular de los imanes consiste en que cada molécula es un imán completo, y que en la posición respectiva de ellas reside la polarización: así, por ejemplo, el estado neutro es el efecto de estar los imanes moléculas desorientados (ó sea un estado análogo al que se representa gráficamente (fig. 211), en la que las partes sombreadas

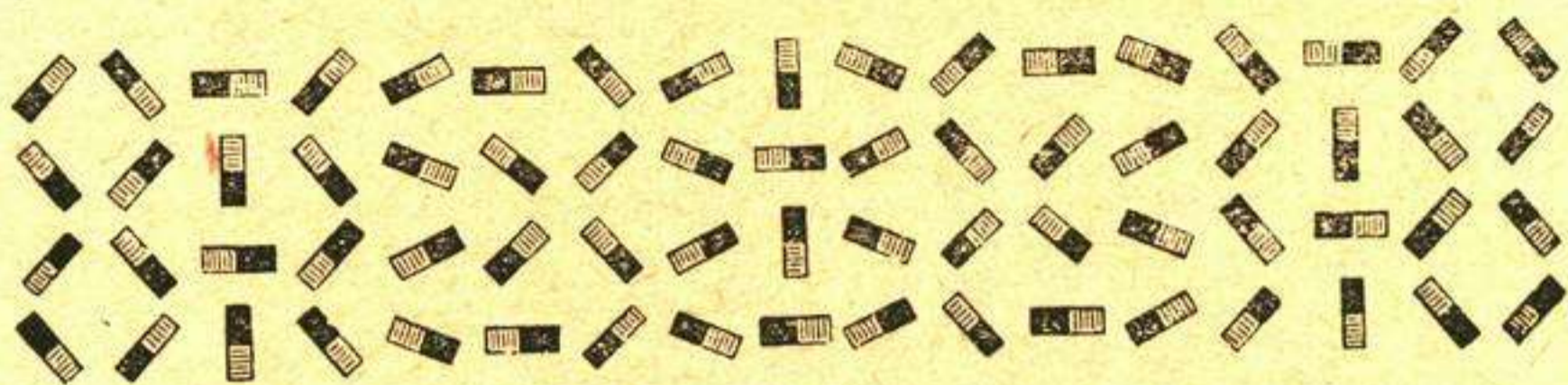


Fig. 211.

indican polos del mismo nombre, así como las claras), en este estado las acciones de los polos de las moléculas se neutralizan, la de cada uno con la de su opuesto,

La imanación proviene de que puesta la barra en un campo magnético, las moléculas imanes están solicitadas á orientar sus ejes según las líneas de fuerza del campo, es decir, los polos N á situar en la dirección del campo y los S á la inversa (fig. 212).

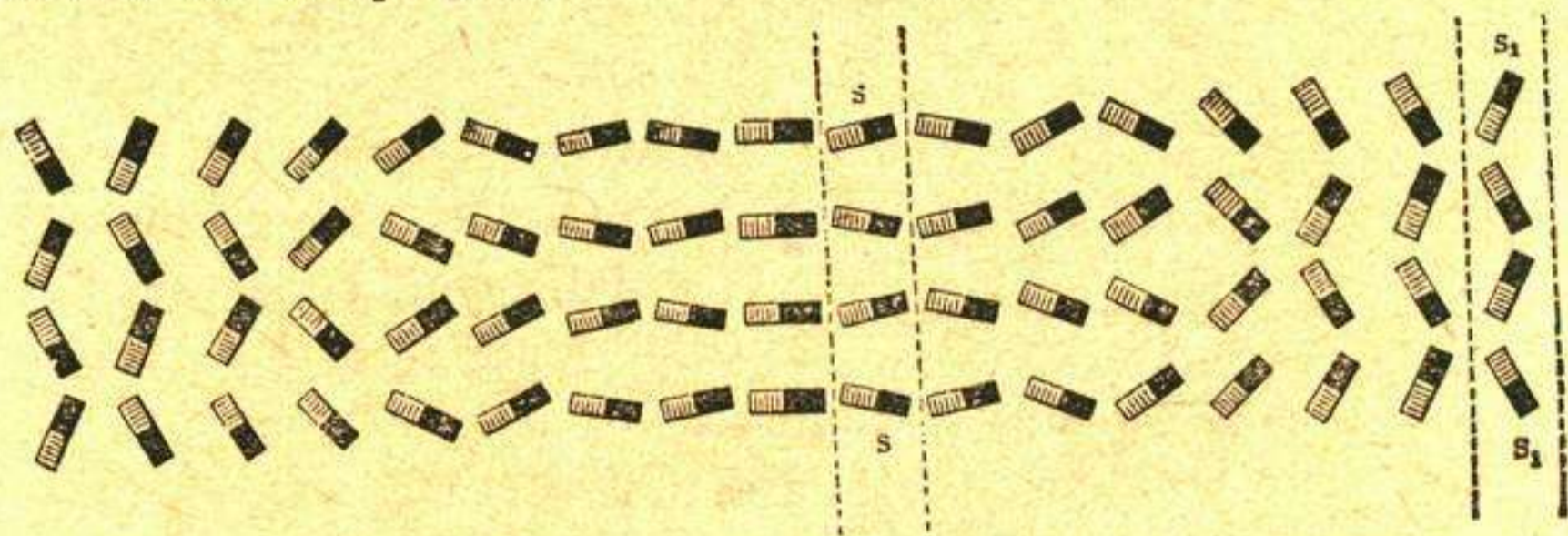


Fig. 212.

Como no todos los grados de imanación que toma una barra son idénticos en intensidad ni duración, hay que admitir una causa que se opone á la orientación de las moléculas imanes, cuando se ponen en un campo. Esta fuerza variable con muchas circunstancias, se ha llamado *fuerza coercitiva*.

La experiencia muestra que en el hierro recocado, la fuerza coercitiva es débil; es decir, que una barra de hierro dulce puesta en un campo magnético, se imana pronto; pero también pierde pronto su orientación, si se la saca del campo; poco tiempo después, sólo ofrece

ligeras señales de magnetismo y se llama á este resto *magnetismo remanente*.

En las mezclas del hierro con otras substancias, principalmente con el carbono (acero) y el tungsteno, aumenta mucho la fuerza coercitiva, es decir, que una barra de acero tarda mucho en imanarse por la acción de un campo, pero también tarda mucho en perder su imitación fuera de él.

La hipótesis sobre la constitución de los imanes está de acuerdo con los hechos siguientes:

1.º Si se introduce un imán en un campo magnético de *intensidad creciente*, el imán no va adquiriendo fuerza siempre creciente, sino que tiende á un límite que se llama  *saturación* , del cual no pasa; lo cual parece que corresponde á un perfecto paralelismo de los ejes de los imanes moléculas.

2.º Toda agitación molecular de una barra favorece su imitación en un campo, ó su desimantación fuera de él. Tales causas de agitación, son, por ejemplo, los choques y elevación de temperatura.

3.º La imantación produce una dilatación de las barras, que llega hasta un límite, á partir del cual se contraen, como si las moléculas, una vez orientadas, tendiesen á aproximarse.

4.º Si la fuerza magnetizante es variable, se produce un sonido, atribuído á las dilataciones y contracciones de la barra sometida á la acción variable.

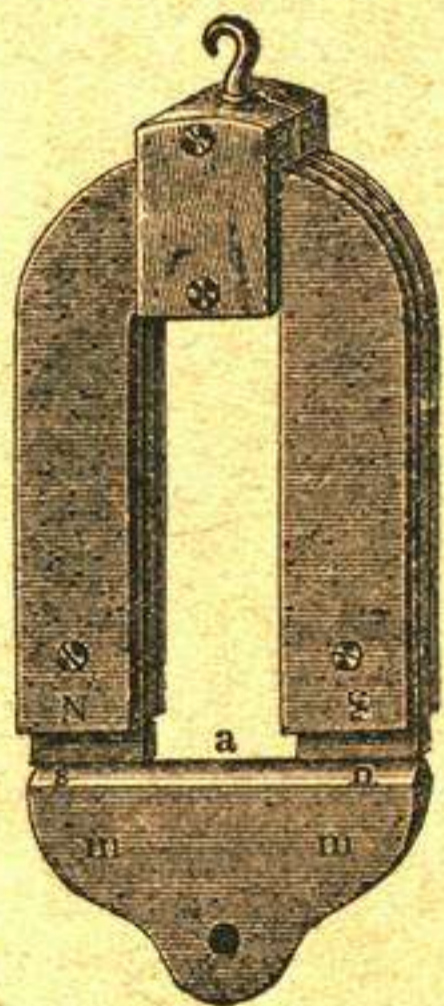


Fig. 213.

**Imanes artificiales de acero.**—En los imanes de acero, el magnetismo está en toda su masa, de modo que en su interior pueden existir masas magnéticas libres, y por eso se pueden superponer imantaciones inversas en una barra, sometiéndolas á fuerzas magnetizantes inversas; esto se ha averiguado experimentalmente, disolviendo una barra imantada en un ácido y haciendo ver la polaridad opuesta de sus capas, y que la imantación gana la superficie. Así se construyen imanes muy poderosos superponiendo hojas de acero imantadas, como hizo Jamin en los de esta clase que llevan su nombre. (fig. 213).

**Representación experimental de las líneas de fuerza de una barra imán.**—Si sobre una barra imantada se pone un papel y sobre él se proyectan limaduras de hierro, se ob-



tiene una figura análoga á la que se representa (fig. 214). Estas figuras las llamó Faraday «Fantasmas magnéticos», y pueden servir para dar idea de lo que es el campo magnético en una sección plana; en el fantasma se ve que las moléculas no se orientan todas en la misma dirección, debido á la repulsión mutua de sus polos próximos, que desvía algo el eje de las moléculas imanes, porque el fantasma es debido á la imantación por influencia de las limaduras.

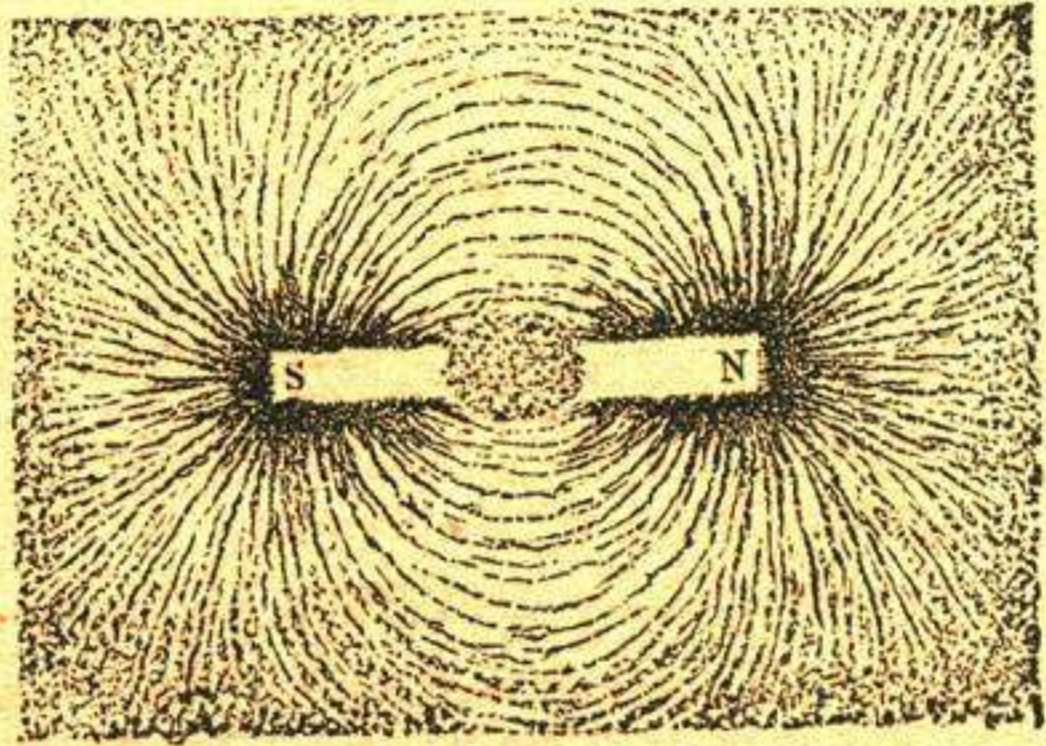


Fig. 214.

Según Faraday, las líneas de un fantasma magnético, corresponden á un estado particular del espacio que rodea á los polos de la barra imán, y que los modernos físicos, dicen que consiste en una especial modificación de la estructura del éter en el espacio que abarca el campo; Faraday se imaginaba un campo magnético como un espacio lleno de hilos elásticos (las líneas de fuerza) que van de un polo á otro, y cuya tendencia es á disminuir la distancia entre éstos, es decir, á acercarlos.

La curvatura de las líneas de fuerza las explicaba, admitiendo que las que van en el mismo sentido se repelen, y las que van en sentido contrario se atraen.

Con esto cada una toma una forma curva que tiende á hacerse rectilínea, y con ello equilibra la repulsión de las más próximas.

**Trazado gráfico de las líneas de fuerza de una barra imán.**

Sea (fig. 215) N y S los polos de una barra imán, y supongamos que tienen igual intensidad; sus acciones sobre un

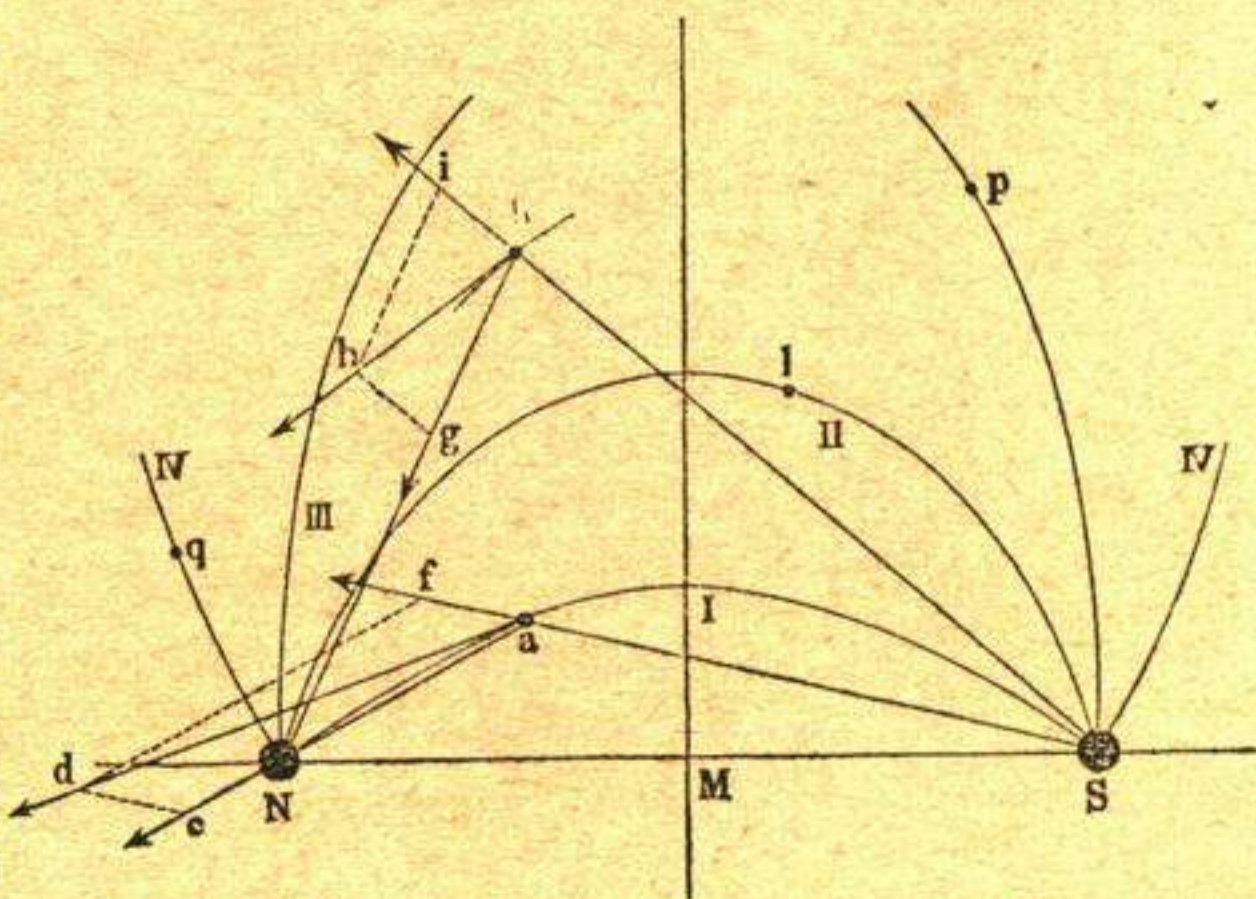


Fig. 215.

polo libre  $a$  serán opuestas; si  $a$  representa, por ejemplo, un polo Sur será repelido por el S de la barra y atraído por el N, con fuerzas de intensidad inversa al cuadrado de sus distancias; así en la figura, si  $aN$  (distancia del polo libre  $a$  al N) es la mitad que  $aS$ , el polo N atraerá al libre Sur  $a$  con cuatro veces más fuerzas que aquella con que es repelido por el S de la barra. Si, pues, se toma  $ac = 4af$  (pues  $ac$  y  $af$  representan respectiva y gráficamente las fuerzas con que los polos N y S actúan sobre el Sur  $a$ ) se tendrá que la diagonal del paralelogramo  $afde$  expresa en magnitud y dirección las del movimiento que en ese punto seguiría el polo libre; en otro punto próximo se haría análoga construcción, y de este modo se tendrían diversos puntos de las trayectorias curvas del polo libre, ó sea de las líneas de fuerza del campo de la barra.

En la figura se representa también la construcción de la resultante de las fuerzas polares para la posición en  $b$  del polo Sur unidad.

Todas las líneas curvas que van de N á S tienen tal figura que la tangente geométrica en un punto cualquiera de ellas, denota la dirección de la resultante, ó sea de la resultante de las fuerzas con que actúan los polos sobre el unidad, colocado en aquel punto; así, son líneas de fuerza la recta que une á los polos y las curvas enteras marcadas I y II y las de ramas parciales III y IV.

Esta construcción explica el medio de investigación experimental de las líneas de fuerza de un campo por medio de una aguja imantada ligera, colgada de un hilo sin torsión, porque si en tales puntos como los  $a$  y  $b$  etc., se pone el centro de gravedad de la aguja de investigación, la dirección que toma ésta será la de la tangente á la línea en ese punto, ó sea, marcará la de la resultante de las dos fuerzas angulares con que los polos de la barra actuarían sobre un polo libre puesto en el punto donde se coloca el centro de gravedad de la aguja.

Así, trasladando el centro de gravedad de la aguja, desde un punto de ensayo, por ejemplo, el  $a$ , ó el  $b$  ó  $p$ , en la dirección que vaya marcando la misma aguja, la posición de equilibrio que ésta va tomando irá marcando direcciones distintas, que al ser seguidas por el centro de gravedad va marcando éste distintos puntos de una misma *línea de fuerza*.

**Puntos consecuentes.**—La investigación de la intensidad de una barra imantada en sus diferentes partes, da alguna vez por resultado el descubrimiento de polos intermedios entre los extremos, y entonces la barra aparece en sus efectos como si constase de varias, unidas,

por polos del mismo nombre, observándose que á un polo intermedio S cerca del N de la barra, corresponde uno N cerca del S de la barra.

**Conservación de la imantación de las barras.**—Las barras imantadas aisladas van perdiendo su imanación, en virtud de la repulsión mutua entre los polos cercanos de las moléculas imanes orientadas; para evitarlo se guardan las barras poniéndolas paralelas en las cajas con sus polos opuestos hacia un mismo lado y unidos con una pieza de hierro dulce, que se llama armadura; en ésta se producen polos por influencia que retienen por su acción la orientación de las moléculas imanes (fig. 216).

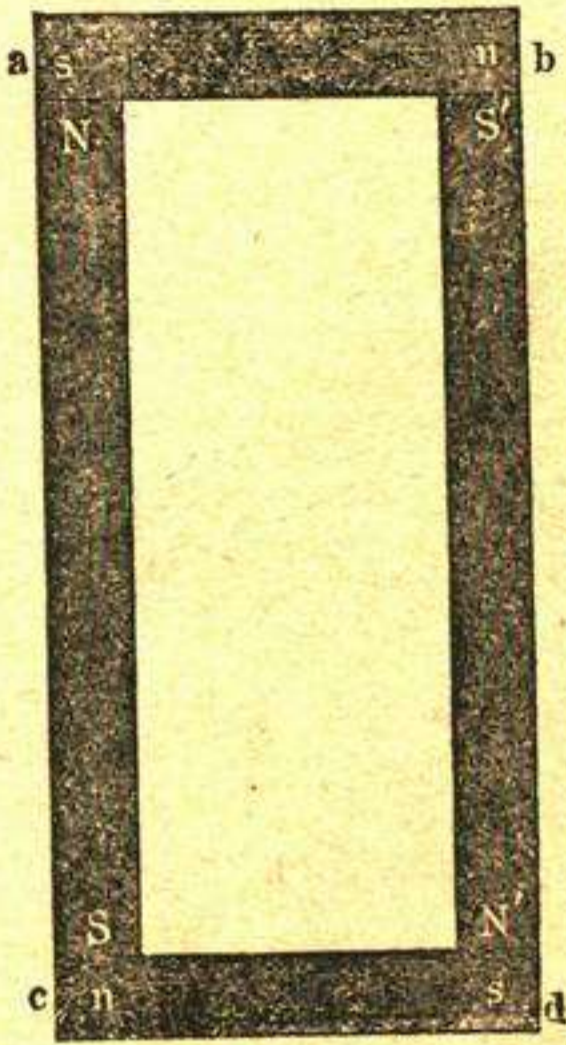


Fig. 216.

**De la imantación por influencia.**—Todos los cuerpos, situados en un campo magnético de suficiente intensidad, muestran que ceden á la acción del campo por una

tendencia á orientarse en una dirección determinada.

Pero esta dirección es de dos maneras respecto de las líneas de fuerza del campo. Una es siguiendo la misma que las de estas líneas, tal sucede con las limaduras de hierro, y los derivados de este metal, como el acero, la fundición, (excepto el acero manganesífero) el cobalto, níquel, óxido magnético, percloruro y sulfato de hierro, etc. La fig. 217 representa un hecho de la imantación por influencia.

En cambio, otros como el bismuto, si bien ceden á la acción magnética, tienden á ponerse en *cruz* con las líneas de fuerza.

Los cuerpos cuya orientación es como la del hierro dulce, se llaman *magnéticos* ó *ferromagnéticos*, y aquellos cuya orientación es como la del bismuto, se llaman *diamagnéticos*.

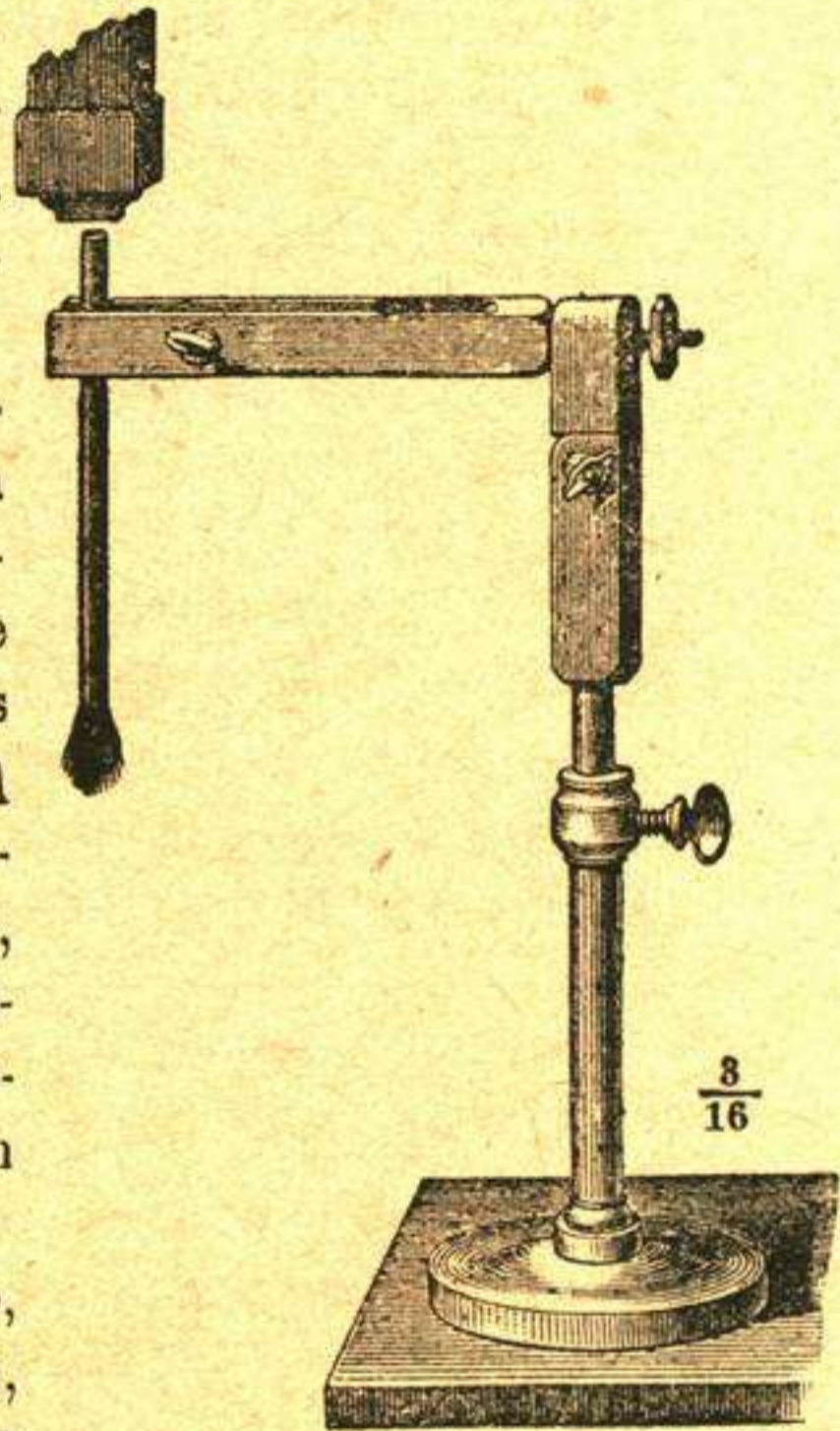


Fig. 217.

Se llama coeficiente de IMANTACIÓN ó de SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA de una barra de una substancia, al cociente de los números que expresan la intensidad de imantación de sus diversos puntos, y la intensidad de la fuerza del campo magnetizante.

Los cuerpos de susceptibilidad magnética más elevada son por su orden, el hierro dulce de gran pureza, los aceros dulces (Thomas y Besemer), la fundición maleable y la gris.

El acero templado tiene poca susceptibilidad y el acero manganesífero no es más magnético que el aire.

Los cuerpos puestos en un campo magnético tienden á moverse, los magnéticos hacia los polos y los diamagnéticos como rechazados por éstos.

Así se experimenta, con un líquido magnético (disolución de sulfato de hierro), puesto en un cristal de reloj sobre los polos de un iman (electro) y como diamagnético una disolución de bisulfuro de carbono.

En el primer caso el líquido es atraído hacia los polos, presentando una concavidad en su centro, y en el segundo es repelido y presenta una convexidad.

El diamagnetismo fué explicado por Faraday, por analogía con los efectos de la gravedad en los cuerpos sumergidos en un líquido más denso que ellos, y en los cuales la presión de abajo arriba es superior á la de arriba abajo y le hace subir, apareciendo el hecho como si fueran rechazadas por el líquido: de manera análoga si un cuerpo es de menos susceptibilidad magnética que el aire que le rodea, el hecho de la repulsión de los diamagnéticos se explica por una menor susceptibilidad. Esta hipótesis ha sido nuevamente confirmada por observaciones de Parker y Duhem.

Las barras, aunque sean de naturaleza homogénea en toda su masa (ó isotropas) al imantarse por la acción del campo, modifican por la acción de los polos que en ellas se forman, la constitución magnética de éste: por eso es muy difícil calcular la intensidad de su campo, después de introducido en él el cuerpo que sufre su influencia. Los casos más fáciles de considerar, en un campo de intensidad constante, son en las formas siguientes:

1.º En una esfera su imantación es uniforme en dos hemisferios separados por un círculo máximo normal en la dirección del campo magnetizante.

2.º En el caso de un anillo (toro de revolución) su imanación es uniforme sin polos libres.

3.º En el de un cilindro indefinido cuyas generatrices son paralelas á la dirección del cuerpo, se imana con relación á un punto exterior; es como si tuviera dos capas en sus extremos de densidades magnéticas iguales pero de contraria polaridad.

**Fenómenos de Hysteresis.**—Llámase así á la variación de intensidad de imantación de un cuerpo, por la variación de la fuerza magnetizante.

En efecto, si una barra de hierro dulce y de longitud indefinida se somete á la influencia de un campo de intensidad creciente, se observa que su imantación crece lentamente para fuerzas pequeñas:

1.º Si la intensidad del campo aumenta entre ciertos límites, crece rápidamente la imantación; pero pasado el límite, la barra no aumenta su magnetismo y llega al estado que se llama de saturación.

2.º Si la fuerza magnetizante *decrece* sucesivamente, la imantación no retrocede por los mismos grados que creció, sino más lentamente, manifestando que le queda magnetismo remanente.

3.º Si la fuerza magnetizante cambia de sentido, la barra se imana con polaridad contraria, siguiendo una marcha análoga al caso 1.º

En todos los casos de imantación, el tiempo es un factor de gran importancia; así que una barra neutra puesta en un campo constante toma de momento una intensidad que crece por grados pequeños y pasa cierto tiempo apreciable antes de llegar á un régimen constante: claro es que este efecto es tanto más sensible, cuanto más espesor tenga el cuerpo que se magnetiza. Resumiendo, la imantación de un cuerpo depende de la fuerza magnetizante, del tiempo que dura su acción y del estado magnético anterior del cuerpo.

Estos fenómenos de *retardo*, llamados *Hysteresis* por Ewing, parecen ser debidos á una cierta dificultad en las moléculas para rodar y orientarse, debida á los frotamientos: por otra parte, el calentamiento que sufren las barras al imanarse, corroboran que existe el roce entre las moléculas.

La marcha descrita de la imantación de una barra, indica que para volverla al estado neutro debe de sometérsela á fuerzas magnetizantes periódicas decrecientes: así, por ejemplo, se ha experimentado que un reloj cuyas piezas se han imantado, se desimanta sometiéndole á la acción de un imán, cuya distancia se aumenta progresivamente haciéndole girar al mismo tiempo á fin de invertir el sentido de las líneas de fuerza de su campo.

# LECCION 41

## Electromagnetismo

L. 71.

Llámase así aquella parte de la teoría y hechos eléctricos, que estudia las acciones mutuas y recíprocas de las corrientes sobre los imanes, y de éstos sobre aquéllas, de la imanación por las corrientes, y de las acciones de las corrientes entre sí.

Los hechos experimentados son los siguientes:

1.º **Acción de las corrientes sobre los imanes.**—*Si una aguja imantada se pone cerca ó en el interior de un circuito por el cual pasa una corriente galvánica, se nota que en el momento de circular ésta, la aguja se desvía de su posición normal.*

Esto se experimenta con facilidad, de muchas maneras, una de ellas es del modo siguiente (fig. 218): se dobla una banda de cobre en forma de un cuadrado *b c d f g*, por cuyos extremos entra y sale una corriente: en los lados que están horizontales hay unos pivotes para poner sobre ellos unas agujas imantadas, ya sobre el circuito, ya debajo de él: puesto el cuadro en el meridiano magnético, en cuanto circula la corriente, las agujas se desvían de su posición normal.

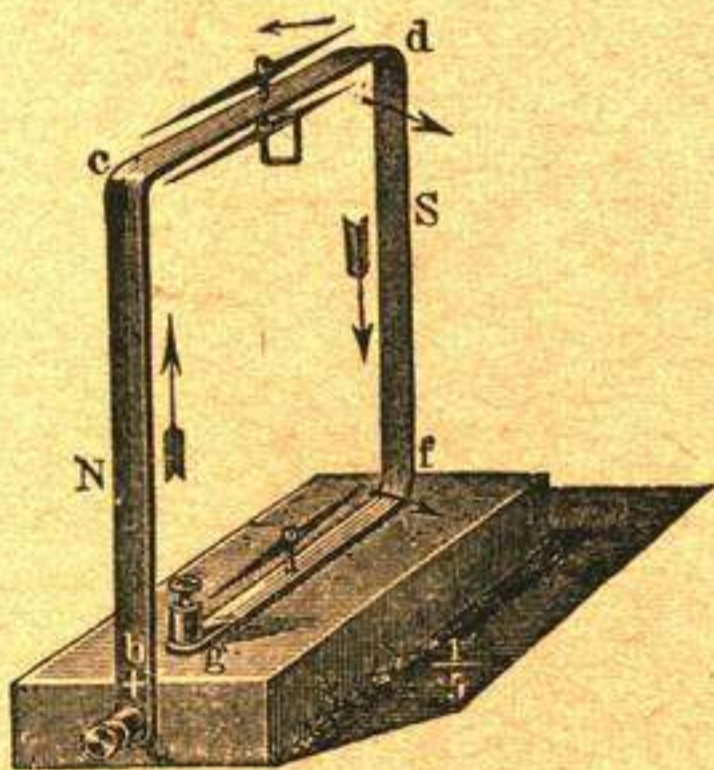


Fig. 218.

Este descubrimiento debido á Ersted, desde luego sugirió la idea de aprovecharle para conocer si por un circuito circula una corriente galvánica. Además, estudiando con atención los movimientos de las agujas en relación con el sentido é intensidad de las corrientes, se pudo construir una porción de aparatos, que sirviesen para conocer, no sólo si por un circuito pasa una corriente, si que también su *sentido é intensidad*.

Con respecto al sentido, los hechos se resumen en una regla práctica que dió Ampere y es la siguiente: *Si el observador se supone*

paralelo y de cara á la aguja, y que la corriente lleva el sentido de entrarle por los pies y salirle por la cabeza, verá el polo Norte de la aguja (es decir aquella punta que se dirige al Sur) desviarse hacia su IZQUIERDA, esto es lo que se indica en la figura 218 por las flechas: en efecto, aplicando la regla á la aguja que está sobre *cd*, el observador estaría sobre ella boca abajo, con los pies hacia *c* y la cabeza hacia *d*, y vería que la punta que mira al Sur se desviaba hacia su izquierda.

La aplicación de la regla á los otros dos casos de la figura, puede servir de ejercicio.

Además del sentido, la intensidad de la corriente influye en la mayor ó menor desviación de la aguja de su posición normal; de manera que por la desviación conocemos que hay corriente en un circuito, por el lado á que es la desviación conocemos el sentido, y por la cantidad que se desvía, la magnitud de dicha corriente.

Desde luego se reveló la grande importancia que estos hechos tenían para el estudio de las corrientes, careciendo, como carecen, los hombres, de un sentido que *directamente* se impresione por las corrientes galvánicas; así que desde luego se construyeron muchos aparatos fundados en estas acciones, y que venían á suplir ese sentido que falta á los hombres, para conocer el paso, dirección é intensidad de una corriente eléctrica, por un circuito. Los aparatos que esto manifiestan se llaman galvanómetros y son de muy diferentes clases:

1.º Para corrientes relativamente fuertes se usan los llamados galvanóscopos, y consisten en una aguja horizontal ó vertical, fácilmente movable sobre su eje, y puesta en el hueco de un carrete, en el que se han devanado varias vueltas de un alambre de cobre forrado de seda, cuyos extremos vienen á dos tornillos por medio de los que se inserta el aparato en el circuito. La fig. 219 representa el llamado vertical de Stohrer; el marco es giratorio y la aguja se mueve sobre un círculo de cristal graduado.

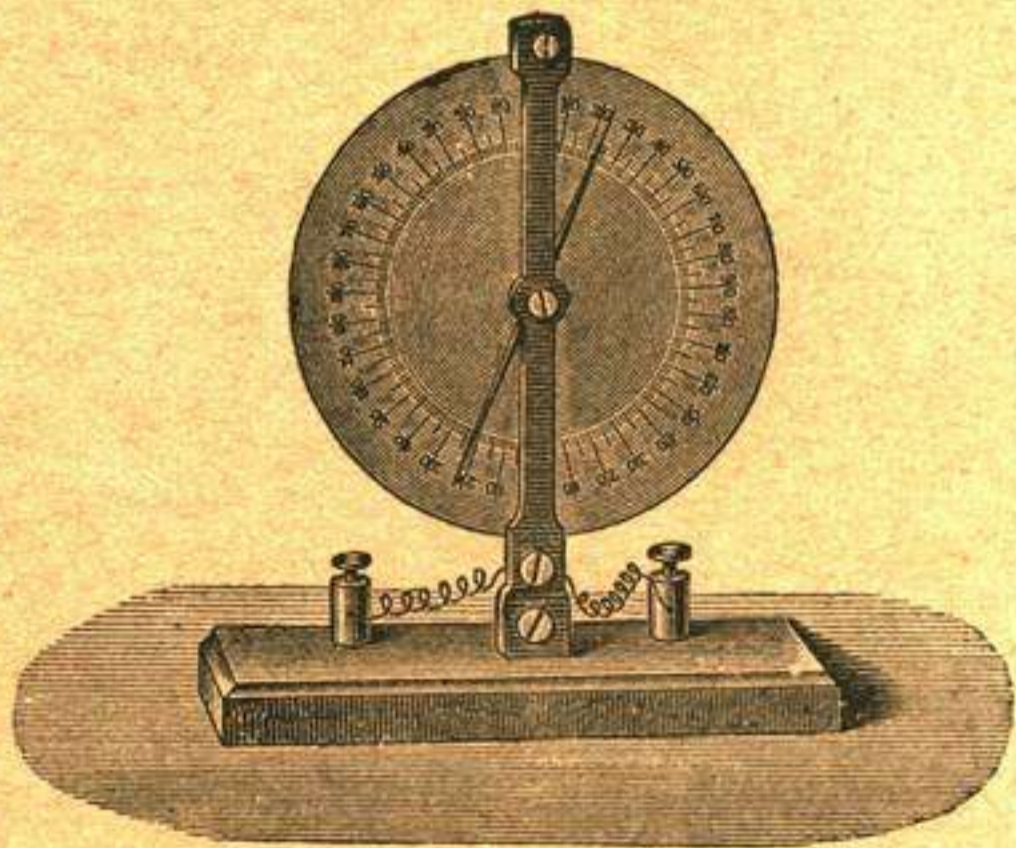


Fig. 219,

Cuando se trata de corrientes débiles, su acción de desviación también lo es, y se ha procurado que se manifieste de dos modos: uno reforzando su acción por medio de la repetición de las vueltas del alambre devanado en el carrete; el otro fué construyendo un sistema magnético, y que sin embargo la tierra no tuviese acción directriz sobre él, es decir, que estuviesen en equilibrio las acciones de los polos de la tierra sobre los del sistema; por esto se llamó *astático*, y consiste en dos barras imanadas (fig. 220)  $sn$  y  $s'n'$  unidas rígidamente por sus centros de gravedad, paralelas y con sus polos invertidos; se comprende que de este modo se compensan las atracciones y repulsiones de los polos de la tierra sobre el sistema magnético. Inventado esto, ya la corriente galvánica, por muy débil que sea, no encuentra resistencia por magnetismo para mover el sistema, y sólo ha de vencer su inercia y los rozamientos, y por esto

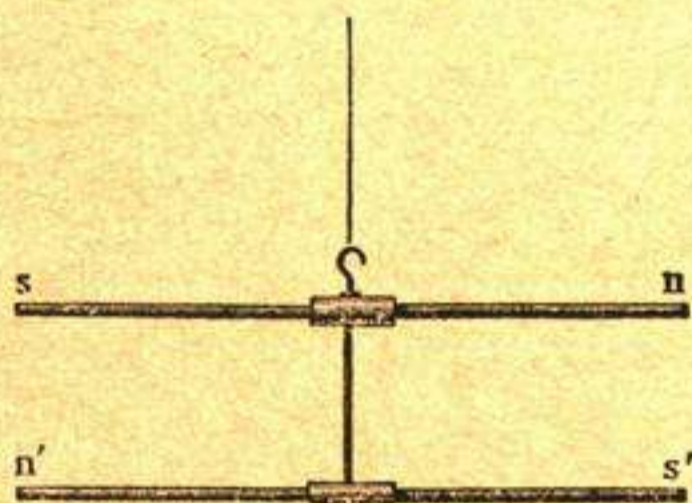


Fig. 220.

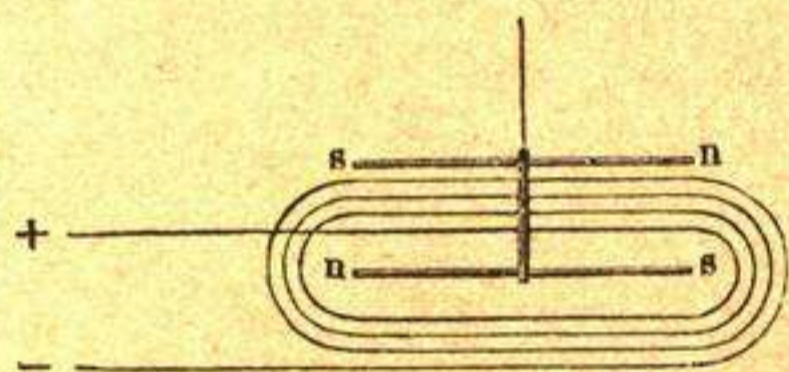


Fig. 221.

se hace muy ligero el sistema y se cuelga de una seda sin torsión, metiéndolo además en el hueco de un carrete con muchas vueltas y de modo (fig. 221) que una de las agujas (en posición horizontal) quede en el hueco y la otra esté sobre el carrete y un limbo graduado. El conjunto que se representa (fig. 222) con otros detalles para su más escrupuloso manejo y conservación, se llama GALVANÓMETRO MULTIPLICADOR.

Aun estos multiplicadores son poco sensibles para cerciorarse de la resistencia y condiciones de algunas corrientes debilísimas, y para ellas se emplean otros galvanómetros llamados «*Electrómetros de cuadrante*», de uso muy delicado y construcción complicada, y cuya descripción y empleo sale de los límites de estas nociones.

*La segunda acción magnética de las corrientes es la imantación de ciertos metales, principalmente del hierro dulce.*

*Experiencias.* 1.<sup>a</sup> Si un alambre de hierro es atravesado por una corriente galvánica, da señales de imantación.

2.<sup>a</sup> Si alrededor de una barra de hierro se hace pasar una corriente eléctrica, mientras ésta circula, la barra se imana; cuando cesa la corriente, cesa también la imantación: á los imanes así creados



mientras pasa la corriente, se llaman imanes temporales, electroimanes, ó más generalmente electros.

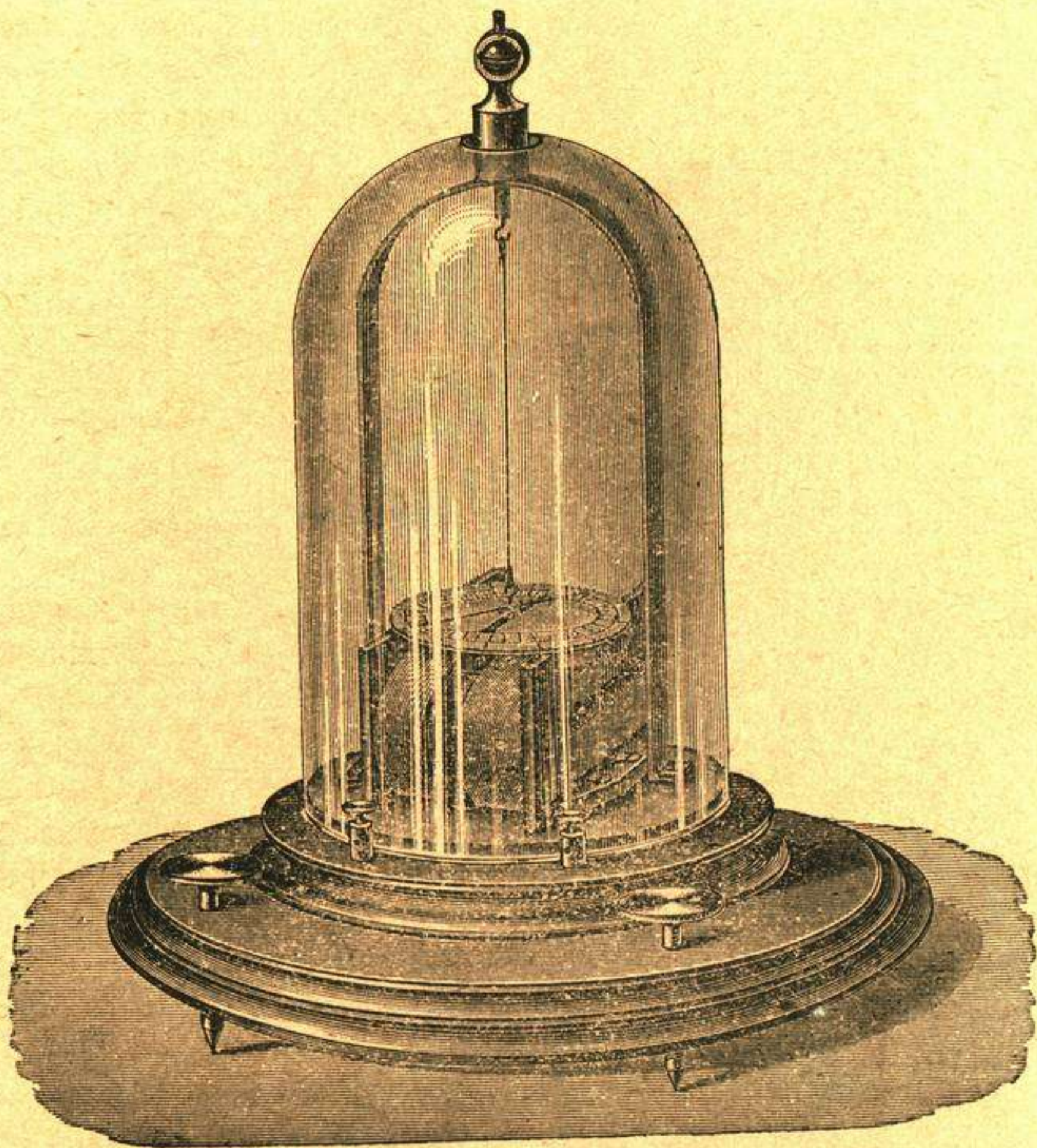


Fig. 222.

Un electro consta de un carrete (fig. 223) sobre el que se devanan

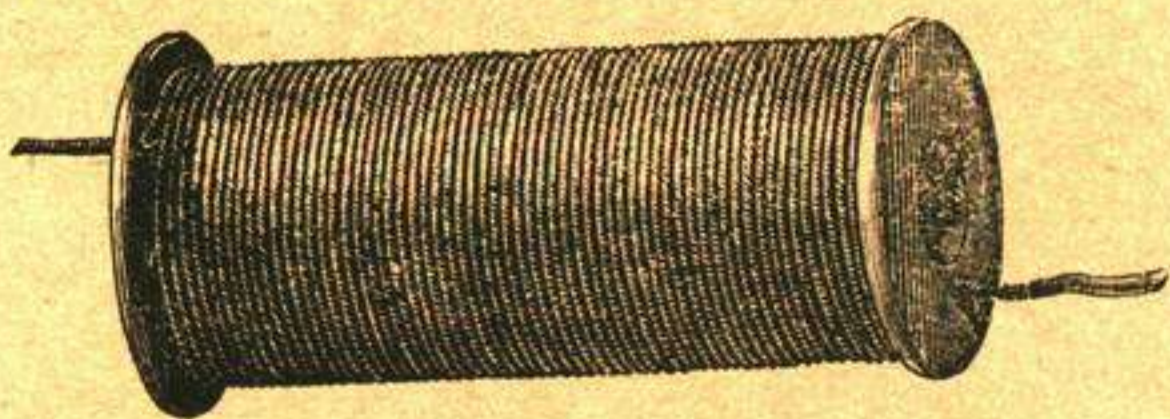


Fig. 223.

en espiral muchas vueltas de un alambre de cobre cubierto de seda, y de una barra de hierro dulce que se mete en el hueco, y cuyos extremos asoman un poco por los de éste.

sobre el que se devanan en espiral muchas vueltas de un alambre de cobre cubierto de seda, y de una barra de hierro dulce que se mete en el hueco, y cuyos extremos asoman un poco por los de éste.

Los electros se disponen también en forma de herradura, para que sus dos polos actúen sobre la misma pieza de hierro dulce que les sirve de ancla (fig. 224) y entonces en cada rama

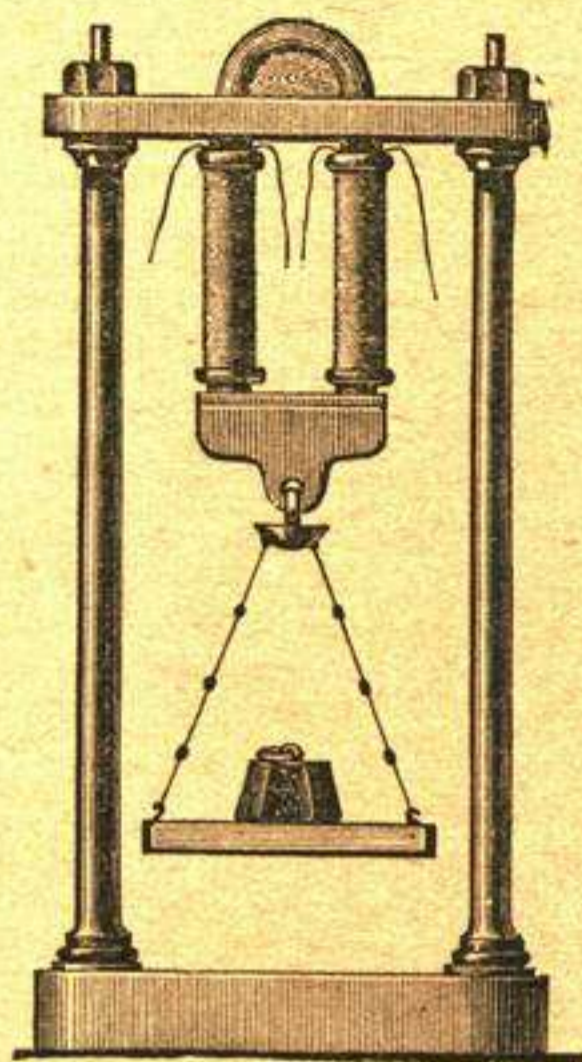


Fig. 224.

lleve un carrete, devanados de tal modo, que si las vueltas en la una, miradas de frente, giran como las manos de un reloj (polo Sur), las de la otra rama vayan al contrario (polo Norte) (fig. 225) Las múltiples é importantes aplicaciones que se han hecho de estos imanes temporales, han movido á estudiarles con escrupulosidad, y entre las particularidades que se han notado han sido las siguientes:

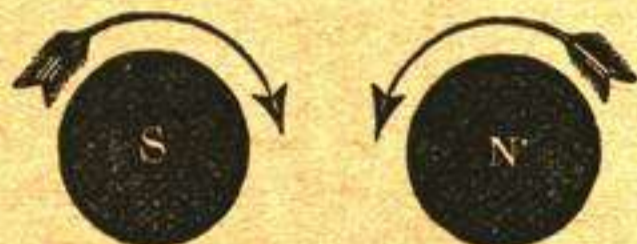


Fig. 225.

1.º Una masa de hierro hecha polvo é imanada dentro de un tubo, toma menos magnetismo que la misma masa, formando una barra sólida.

2.º Una vez imanada una barra de hierro, su magnetismo no se anula por completo, siempre le queda algún rastro de él, y se llama «*Magnetismo remanente*». Este es tanto mayor, cuanto más delgada es la barra y más rápidamente se interrumpe la corriente imanada.

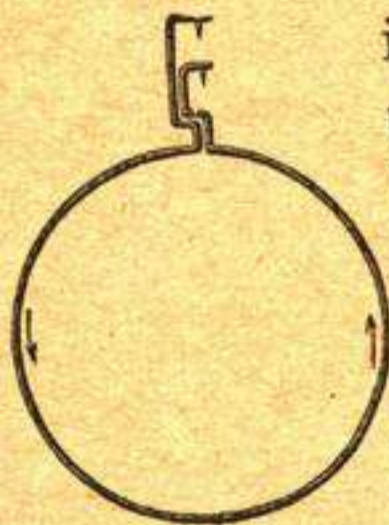
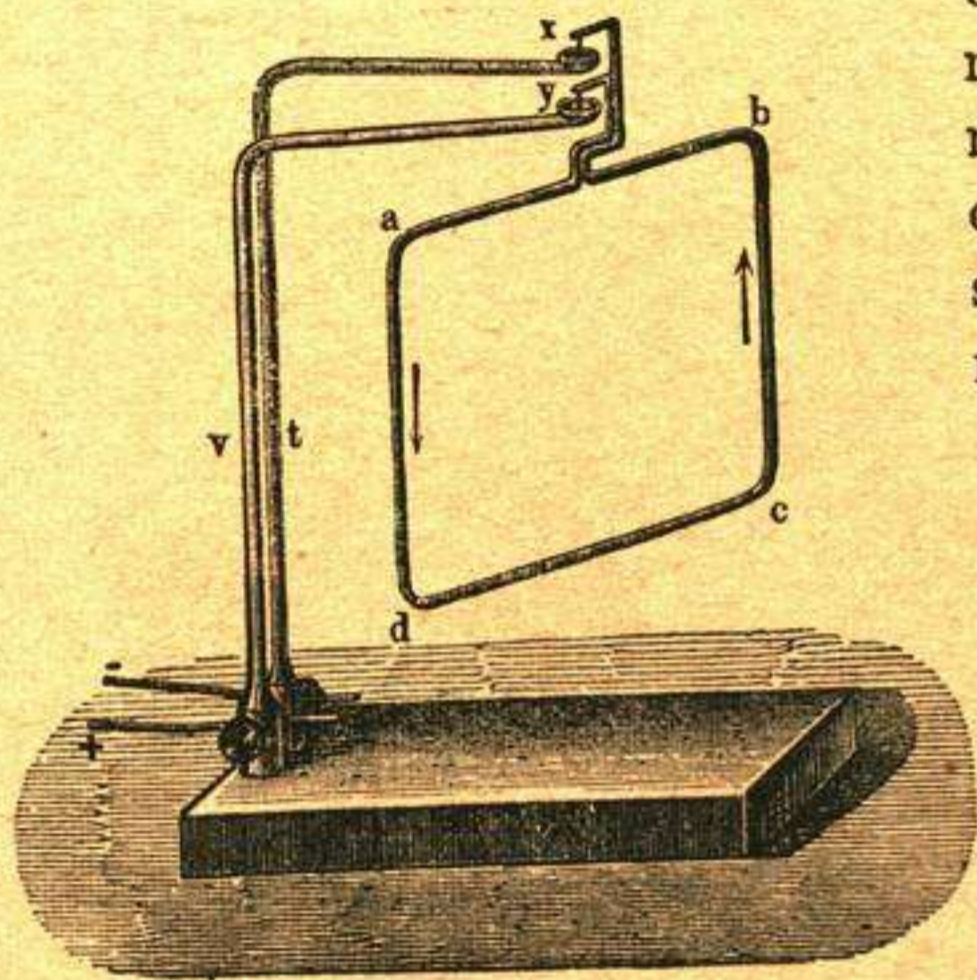
3.º El magnetismo de un electro no se reparte uniformemente en la sección de la barra; es más intenso en las capas exteriores, y si la corriente es débil, sólo se manifiesta en el exterior.

4.º Las barras de los electros y sus capas tienen puntos diversos de saturación magnética, al cual, llegada cada una, los efectos de la corriente magnetizante son mantener el estado de la barra y calentar las espiras por donde circulen.

**Acciones recíprocas de los imanes sobre las corrientes.**—*Experiencias.*—Las atracciones y repulsiones magnéticas, entre imanes y corrientes, se manifiestan sencillamente de dos maneras: una es por la acción directriz de la tierra, otra por la acción de los imanes, sobre los circuitos no magnéticos cuando está pasando una corriente.

La acción directriz de la tierra se experimenta, colgando unos circuitos de alambre de cobre, de figura rectangular ó circular (figs. 226 y 227) de dos tacitas (con fondo de ágata y con una gota de mercurio) que están á los extremos de dos brazos horizontales de latón, por los cuales puede pasar la corriente galvánica, en sentido determinado.

(A las columnas que sostienen las tacitas, y conmutador de corriente que les acompaña, se llama la mesa de Ampere). Cuando por el circuito de cobre no pasa la corriente, no ofrece señales de magnetismo; pero cuando pasa, ocurren dos hechos, uno es que se orientan como una aguja magnética, otro es que puesto cerca de ellos un imán, atrae ó repele á uno de los lados del circuito, siguiendo la ley de las atracciones y repulsiones magnéticas.



Figs. 226 y 227.

Observados más atentamente estos hechos, se notó que la orientación de los circuitos y sus atracciones y repulsiones por un imán, eran más enérgicos cuanto de más vueltas circulares iguales y paralelas constaban, y fundado en esta observación construyó Ampere los llamados *solenoides* (fig. 228) que no son más que una serie de corrientes circulares iguales y próximas, cuyo plano es perpendicular á un eje que une sus centros ó á una recta paralela á este eje.

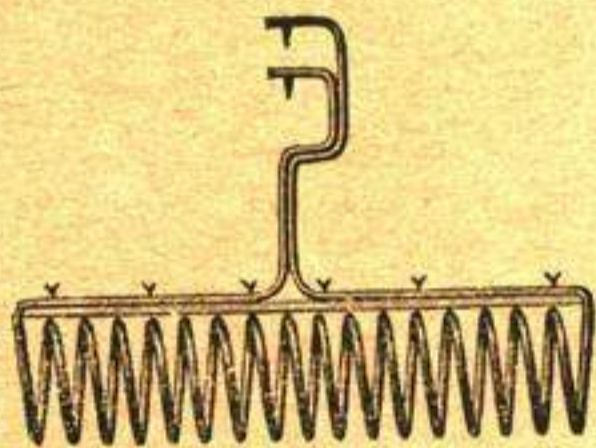


Fig. 228.

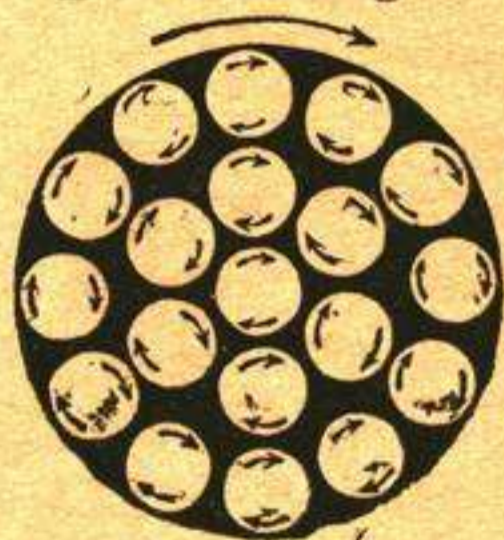


Fig. 229.

De la analogía entre solenoides é imanes dedujo Ampere que las barras antes de imanarse eran cuerpos con corrientes elementales circulares, pero no orientadas (fig. 229), y las imanadas eran cuerpos circulares por corrientes eléctricas ya orientadas (fig. 230), y por cierto en tales sentidos que mirados



Fig. 230.

de frente los extremos de la barra imán, en el del polo Sur, circulaban como las manos de un reloj, y en el polo Norte al contrario, como ya se ha dicho en los electros.

**Acciones mutuas entre corrientes.**—También entre las corrien-

tes, se notan atracciones y repulsiones á distancias, y se experimentan del modo siguiente: En la mesa de Ampere (fig. 231) se cuelga un

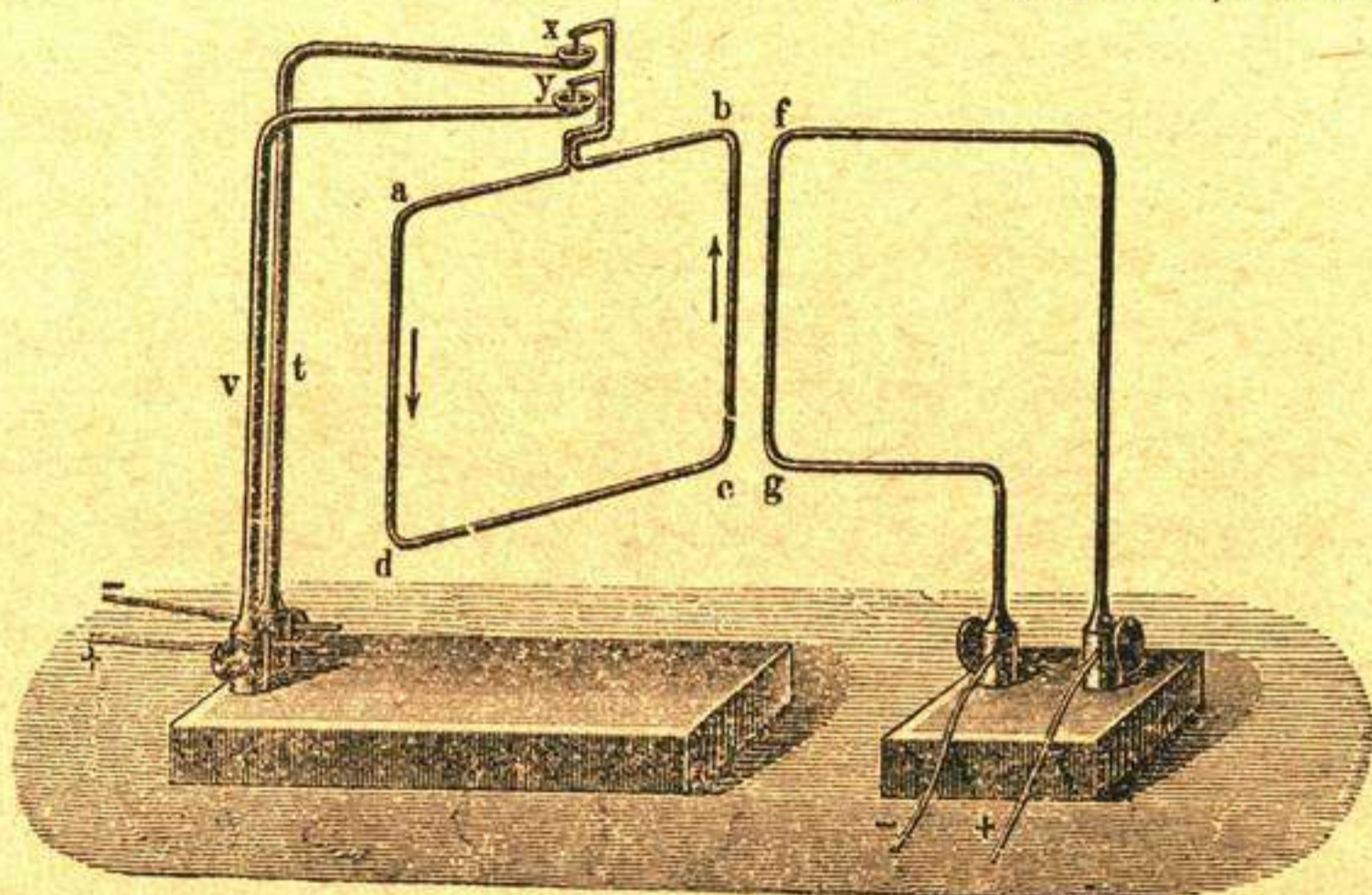


Fig. 231.

circuito de cobre, de forma rectangular, y por el cual circule una corriente  $adcb$ ; frente á él se pone otro circuito, también de alambre de cobre y con una rama  $fg$  paralela á dos de los lados del  $abcd$  y por el cual circule otra corriente; y se nota que cuando se ponen cerca las dos ramas paralelas  $fg$  y  $bc$  por las cuales circulan las corrientes respectivas en el mismo sentido, se atraen; pero si se ponen más inmediatas, las  $fg$  y  $ad$ , por las cuales circulan en sentidos contrarios, se repelen.

Si los conductores están cruzados, y se llaman así siempre que no son paralelos (es decir, que los hilos no estén *en un mismo plano* y prolongados no se encuentran), el *punto de cruce* es cualquiera de los de la recta que une los dos puntos más próximos de los hilos, y se nota que al circular la corriente (fig. 232) hay atracción entre las ramas  $cr$  y  $ar$ , ó entre las  $rb$  y  $rd$ ; en cambio hay repulsión entre las  $cr$  y  $br$ , ó entre las  $ar$  y  $rd$ . Estos efectos se formulan del modo siguiente:

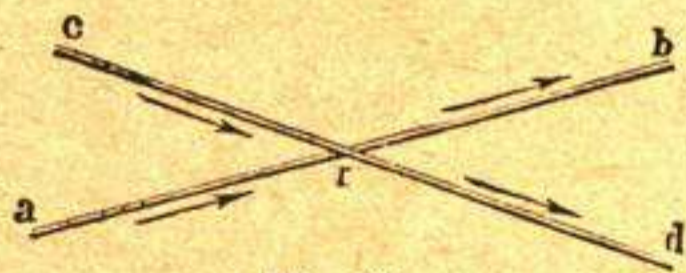


Fig. 232.

1.º *Las corrientes paralelas, se atraen si van en el mismo sentido y se repelen si van en sentidos contrarios.*

2.º *Las corrientes cruzadas se atraen si las dos entran ó las dos salen del punto de cruce, y hay repulsión, si la una entra y la otra sale.*

**Explicación de los efectos electromagnéticos.**—Los fenómenos electromagnéticos hasta aquí citados, son hechos fácilmente expe-

rimentables, y los aparatos que en ellos se fundan, muy comunes y de manejo usual; lo que no es tan fácil es su explicación, no ya de la esencia de sus causas, pero ni aun mediatamente del enlace con un hecho fundamental; nos referimos á una explicación no fundada en hipótesis; pero aún no es posible emanciparse de ellas mientras no se sepa qué es la electricidad y cómo actúa. Entre todas las hipótesis establecidas, la que mejor unifica todos estos fenómenos y más modernamente seguida por los expositores, es la debida á los ilustres Faraday y Maxwel, de la cual vamos haciendo un ligero resumen, que al mismo tiempo que en cierto modo satisface la natural curiosidad, alejando un poco la ignorancia en que estamos sobre la naturaleza del agente eléctrico y acciones á distancia, sirve de lazo común á todos los hechos eléctricos, facilitando su comprensión, y por eso se ha adoptado en estas nociones.

Según los citados físicos y consecuentes con sus ideas ya anteriormente expuestas, los efectos electromagnéticos, son consecuencia precisa de la creación de los campos magnéticos y de la acción mutua de las líneas de fuerza.

En efecto, se ha dicho que Faraday no admitía las acciones á distancia, sin intermedio material entre el cuerpo que actúa y el que sufre su acción, y que atribuyó las reacciones electromagnéticas á un *medio* que se pone en estado de tensión ó de movimiento suficiente para provocar las acciones observadas entre corrientes ó imanes, y de corrientes entre sí.

Este medio se lo representaba como cursado por las llamadas líneas de fuerza que imaginaba á manera de hilos *elásticos* que tienen *tendencia á acortarse*, siguiendo el camino más permeable (fácil) bajo el concepto magnético: Además estas líneas afectan formas curvas, porque las que están cerca *si van en el mismo sentido se repelen*, y si van en sentidos contrarios tienden á unirse y confundirse, *es decir, se atraen*, como más ampliamente dejamos explicado.

El convencimiento de la creación de campos magnéticos por las corrientes y por los imanes se ha experimentado, y además ofrecen la imagen de las que llamó líneas de fuerzas, por más que haya de aceptarse con ciertas restricciones, por lo que este mismo autor las llamó fantasmas magnéticos, según hemos dicho ya al hablar de los imanes.

Los fantasmas debidos á éstos, ya se ha citado cómo se obtienen: los debidos á los campos creados por las corrientes se experimentan del modo siguiente:

Si una hoja de papel se pone bien *horizontal* y se espolvorea con limaduras finas de hierro, después se le atraviesa por su centro con un alambre que suponemos *vertical* y se hace pasar por éste una corriente, se ve que las limaduras se agrupan en circunferencias concéntricas con el punto por donde atraviesa el alambre; de aquí inferimos que un polo libre para moverse, lo haría por la acción del campo creado, dando vueltas alrededor del alambre, y su sentido sería según la regla de Ampere, suponiendo al observador sobre el papel y coincidiendo con el conductor, de modo que la corriente le entrase por los pies y le saliese por la cabeza, vería al polo moverse hacia su *izquierda*.

Confirmado así la creación de los campos magnéticos por las corrientes mediante las reglas prácticas anteriores, se explican los efectos electromagnéticos; de ella se deduce que una aguja imantada tiende á ponerse en cruz con la corriente, de manera que su eje magnético sea tangente á la línea de fuerza que pasa por su punto de apoyo.

Un carrete cilíndrico, sobre el que se devana una capa de hilo conductor, si bien las vueltas no son paralelas, se compensa la oblicuidad de las espiras llevando los extremos del hilo al eje, ó poniendo igual número de espiras en un lado que en otro é igualmente inclinadas en sentido inverso; su campo magnético está formado por líneas de fuerza que van por fuera del carrete de N á S, y entran por el interior de S á N: son uniformes y forman como una envoltura por fuera y dentro del carrete; el flujo en tales bobinas y en las *barras imanes*, á las cuales son análogos, es constante y va como se deja indicado. La fig. 233 indica con *a, b, c*, las vueltas del alambre y por

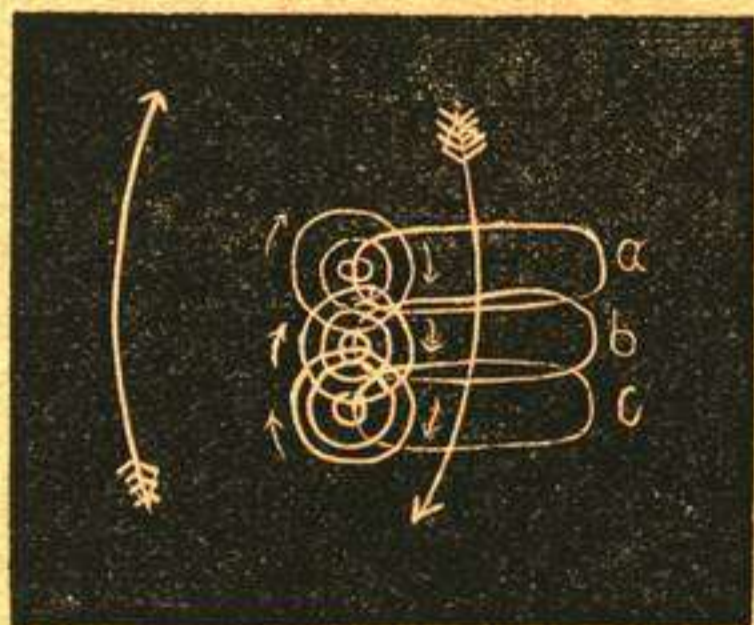


Fig. 233.

los círculos concéntricos sus líneas de fuerza en un plano: las flechas grandes indican las líneas de fuerzas resultantes en el carrete.

Según esto, por ejemplo, si entre los dos polos de un imán en herradura se pone uno recto, su fantasma magnético muestra que las líneas de fuerza del primero sufren una desviación y parte de ellas entran en el imán pequeño y recto por su polo S y salen por el N: como estas líneas tienen la *tendencia á acortarse*, actúan sobre el imán recto, poniéndolo orientado entre los polos y

coincidiendo su eje con la recta que une los polos del de herradura (fig. 234).

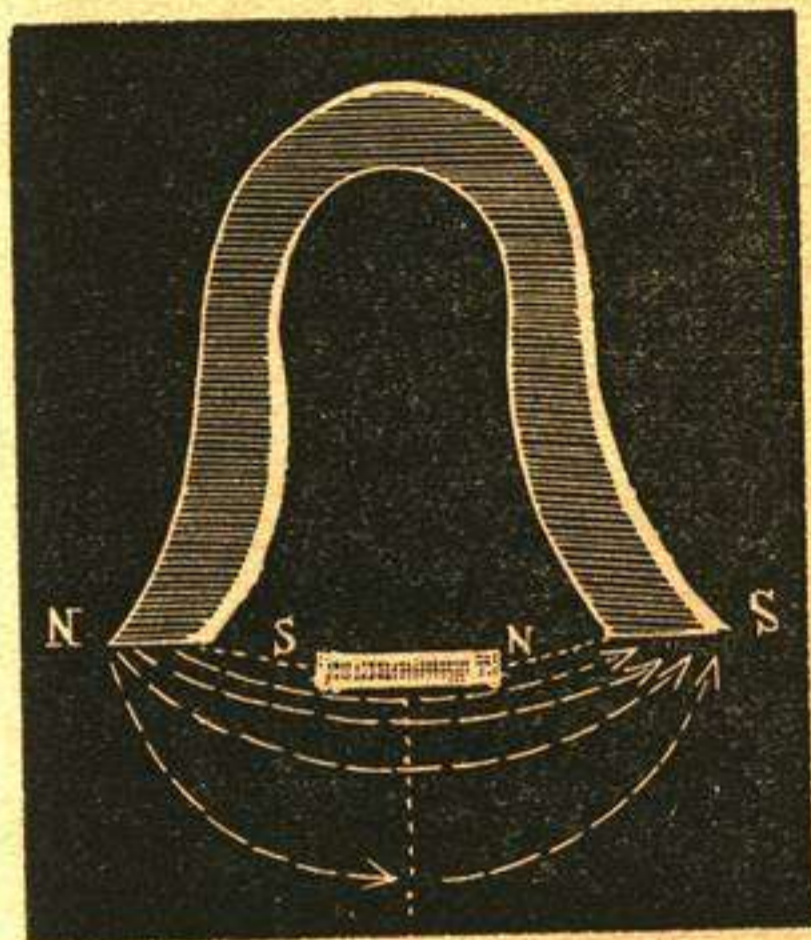


Fig. 234.

Si en vez del imán recto se pusiese entre los polos del de herradura un circuito circular atravesado por una corriente, las líneas de fuerza del imán, si atraviesan la corriente por su cara negativa, la empujan por su tendencia á ponerse normalmente á la línea de los polos.

Si se trata de dos corrientes paralelas y en el mismo sentido, sus campos al interferir, combinan sus líneas de modo que se producen nuevas líneas que rodean á los dos conductores, y por su *tendencia* á acortarse

los aproximan; en cambio, si van en sentido contrario, las líneas de fuerza que rodean á cada conductor no se combinan por su choque, sino que se hacen ovoideas, y para recobrar su forma circular (curva mínima) tienden á separar los conductores.

Por estas ligeras indicaciones se puede conocer que la hipótesis de Faraday es suficiente para explicar todos los hechos electromagnéticos, y que una vez admitidos los principios sencillos á que se consideran sujetas las líneas de fuerza, de las leyes teóricas de sus interferencias, se deduce la explicación de los hechos observados, con lo cual se establece un lazo de unión entre manifestaciones tan diversas y al mismo tiempo análogas y correlativas.

## LECCIÓN 42

### Corrientes inducidas

272.

Se llaman **CORRIENTES INDUCIDAS** las que se originan por la acción de una corriente ó de un imán sobre un conductor.

Los hechos con que puede experimentarse esta causa electromotriz son tan numerosos, que para abarcarlos mejor en su conjunto, con-

viene exponerlos por modo sintético, descendiendo del principio general de inducción á los ejemplos particulares.

El principio general de inducción es que *siempre que hay intersecciones entre una masa conductora y las líneas de fuerza de un campo magnético, se produce en el conductor una corriente eléctrica.*

Ahora bien; esta intersección puede ocurrir por muchas causas, que pueden agruparse del modo siguiente:

1.<sup>a</sup> Dado un campo magnético, *en régimen permanente*, es decir, cuyas líneas de fuerza están mantenidas por una causa constante en posición invariable, puede verificarse el corte de estas líneas por una traslación del conductor, estando el campo en reposo, ó por una traslación del campo estando el conductor quieto.

2.<sup>a</sup> En un campo magnético de intensidad variable, ó sea que sus líneas de fuerza se mueven constantemente ensanchándose ó replegándose respecto de su origen, puede verificarse el corte suponiendo dentro de este espacio, donde hay tal movimiento de líneas, á un conductor, el cual será cortado por éstas al ensancharse ó replegarse; por donde se ve que aun estando en reposo el conductor y la masa creadora del campo, la inducción se verifica.

De lo dicho se infiere ya, cuán varios pueden ser los casos de inducción, y como además se ha conseguido que las corrientes que por inducción se originan, sean las más poderosas, y en cierto modo de poco costo, hasta ahora obtenidas, por ambas razones, este modo de producción de energía eléctrica, tiene al presente grande importancia.

**Sentido de las corrientes inducidas con relación á las causas que las originan.**—Si se imagina un tirabuzón de sacar tapones, sabemos que cuando gira como las manos de un reloj, su punta avanza hacia el tapón, y si giran al contrario, su punta sale. Ahora bien; la regla de Maxwell respecto del *sentido* de una corriente y *sentido* de las líneas de fuerza circulares, ó sea del polo Norte en el campo magnético que crea, es *que el sentido del GIRO del tirabuzón indica el de las líneas de fuerzas circulares y el avance ó retroceso de la punta indica el sentido de la corriente (creadora del campo) en el conductor.*

Así, pues, suponiendo un alambre vertical que atraviesa una hoja de papel horizontal, donde echando limaduras de hierro, se va á formar el fantasma magnético del campo que crea la corriente en el conductor, se tiene respecto del sentido de las líneas de fuerza, que si la corriente va de arriba abajo, es decir, la punta del tirabuzón avanza, el sentido rotatorio de las líneas de fuerza es como las manos de un reloj, pues girando en este sentido el mango horizontal del tirabuzón



es como avanza su punta. La explicación de la regla en otros casos puede servir de ejercicio.

Teniendo por regla tan sencilla el medio de conocer el sentido de las líneas de fuerza de un campo creado por una corriente, se dió otra regla por Faraday para determinar el *sentido* de la corriente *inducida* en un conductor, por el movimiento relativo del mismo en un campo magnético, ó de las líneas de éste.

Para aplicar la regla se supone al observador acostado en una línea de fuerza (que para la mejor comprensión de la regla supondremos horizontal) y mirando al conductor, que suponemos vertical, y que se acerca ó aleja al observador, ó éste al conductor, la línea le entra por los pies y le sale por la cabeza.

En esta posición, si se acerca ó ve venir al conductor la corriente inducida, en éste va de su derecha á su izquierda; si se le ve ir ó se aleja del conductor, la corriente en éste va de su izquierda á su derecha.

Esta regla, que es muy importante, se suele formular de otro modo, cuya explicación se aclara por la fig. 235, en la cual N y S son las dos masas polares creadoras del campo; a, a, a, a, las líneas de fuerzas, que suponemos en un plano horizontal; A B un conductor vertical que se mueve paralelamente, asimismo en la dirección que marca la flecha E: esto supuesto, la regla es: si se supone al observador coincidiendo con el conductor, vuelto de cara á las líneas de fuerza, se tendrá

que si se mueve de izquierda á derecha (sentido de la flecha E), la corriente producida en el conductor irá de sus pies á su cabeza; es decir, será *ascendente* y así se marca en la figura por la flecha C D.

Claro es que si se invierte la polaridad del campo (y por tanto el sentido de sus líneas de fuerza), se invierte el sentido de la corriente inducida; también se invierte si cambia el movimiento del conductor,

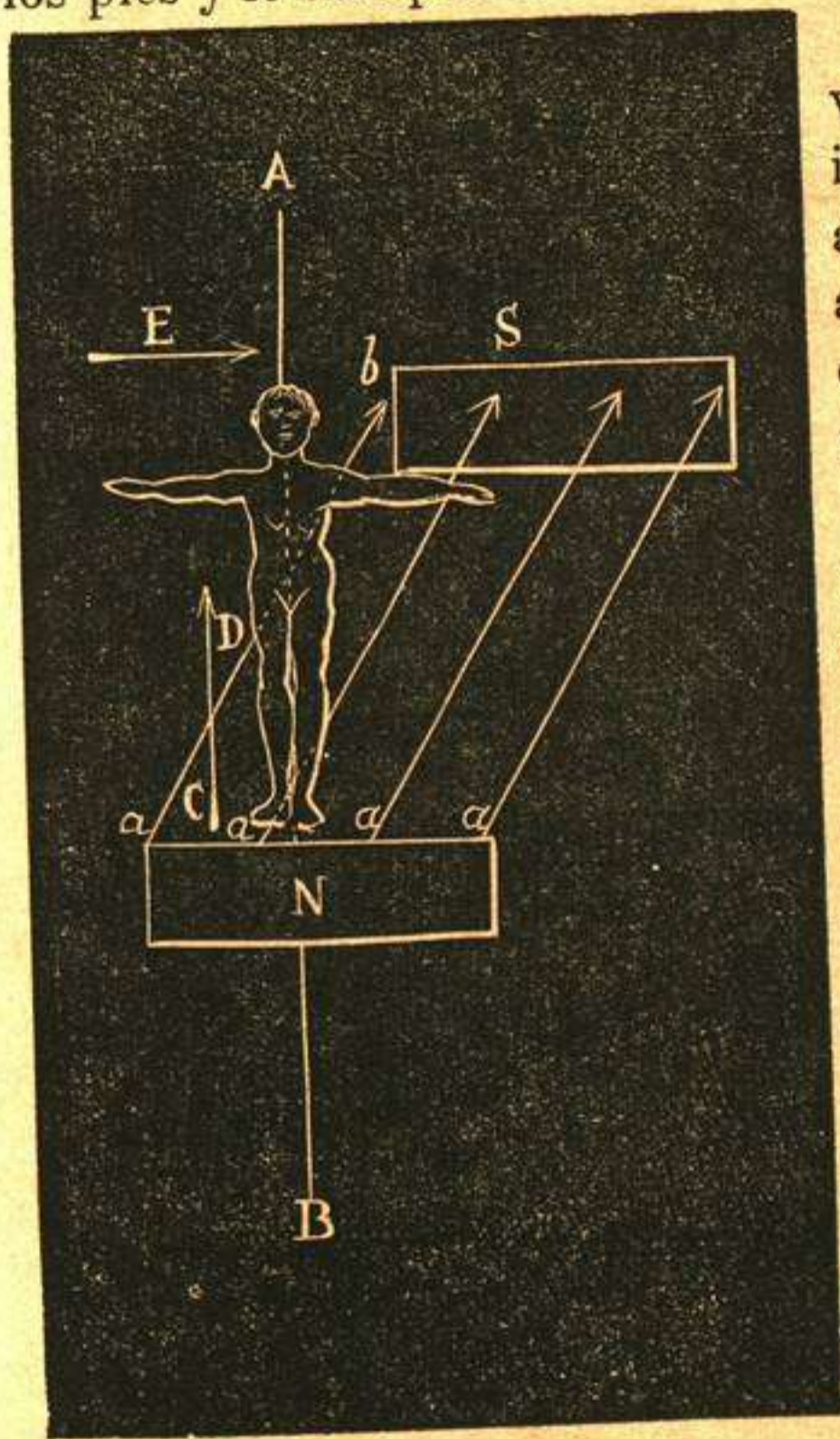


Fig. 235.

ó del campo; pero si ambos á la vez cambian, el sentido queda el mismo que el una vez determinado. La aplicación de las reglas en estos casos puede servir de ejercicio.

En el segundo modo de inducción, ó sea estando el conductor y las masas polares en reposo, pero moviéndose las líneas de fuerza por las alteraciones de intensidad de la causa que origina el campo magnético, la regla de Faraday también puede aplicarse, porque al aumentar la intensidad del campo magnético, fluyen y se ensanchan sus líneas, y á manera de ondas sucesivas encuentran al conductor como las producidas por una alteración, cada vez más profunda del equilibrio de nivel en la superficie del agua; en el caso de ensanche, el observador puesto en una línea de fuerza se acerca al conductor, en cambio en el repliegue de líneas se aleja; por tanto es aplicable la regla á ambos casos.

Hemos supuesto hasta aquí, que el alambre ó conductor corta normalmente á las líneas de fuerza, por ser el caso más favorable para la inducción, verificándose ésta, sin embargo, en el *corte oblicuo*, y dejando sólo de existir cuando el conductor se mueve según una línea de fuerza, es decir, cuando no hay corte ó choque entre ambos, que es de donde proviene la fuerza eelectromotriz de inducción.

Dado el principio general de inducción, ningún hecho de esta clase, hasta ahora observado, se sustrae de la ley general, es decir, que en todo fenómeno de inducción, hasta hoy conocido, siempre se puede determinar el movimiento relativo entre un campo y un conductor, ó sea el choque entre líneas de fuerza y la materia (ponderable é imponderable) del conductor.

Apliquemos esta explicación á varios ejemplos.

1.º *Inducción entre dos alambres próximos, uno en estado neutro y el otro circulado por una corriente que puede interrumpirse.*

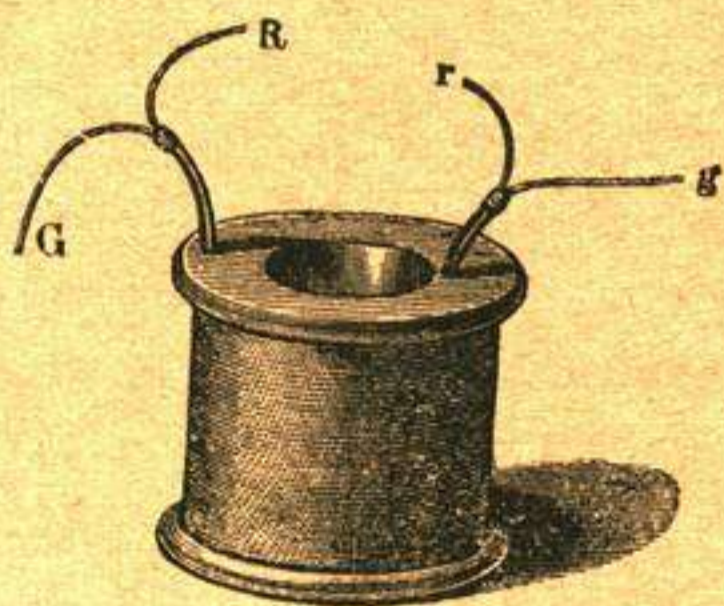


Fig. 236.

*Hecho.*—Si se arrollan juntos en un carrete dos alambres de cobre cubiertos de seda (fig. 236) (de distintos colores, para distinguir los cabos de uno mismo) y por uno de ellos Rr se hace circular una corriente galvánica, en el otro Gg se produce una corriente inducida que se manifiesta (uniendo sus extremos con un multiplicador) por la desviación de la aguja.

La explicación por el hecho general de inducción es ya sencilla:

si al alambre Rr le llamamos *primario, principal ó inductor* y al Gg secundario ó inducido, se tiene que la corriente que pasa por el primario, crea á su alrededor un campo magnético, y si dentro de éste se halla el secundario, las líneas de fuerza del primero al ensancharse le cortan y dan origen á la corriente inducida.

2.º *Hecho.*—*Llegando al régimen permanente la corriente inductora, CESA LA INDUCIDA:* esto se manifiesta porque la aguja del galvanómetro vuelve á su posición normal.

La explicación es porque cesando el ensanche de las líneas de fuerza, no hay movimiento del campo ni del conductor ó sea corte de las primeras, ni por tanto inducción.

3.º *Hecho.*—*Si se interrumpe la corriente inductora, vuelve á producirse una inducida, en el alambre secundario,* lo cual se manifiesta por una nueva desviación de la aguja del galvanómetro.

La explicación es que, por interrumpir la corriente inductora, que llegó al régimen permanente, su campo magnético se anula, y hay un replegamiento de sus líneas de fuerza sobre el primario; en este replegamiento vuelven á cortar el alambre inducido y por tanto á producir la corriente en él.

4.º *El sentido de la corriente inducida es contrario al de la inductora cuando se origina por cerrar el circuito y el mismo cuando proviene de interrumpirse.*

Esto se manifiesta porque la aguja del galvanómetro se desvía hacia un lado, que según la regla de Ampere ó Faraday, manifiesta el sentido contrario en la inducida que es la inductora, cuando ésta empieza, y hacia el opuesto cuando acaba. La explicación, ó más bien el acuerdo de este hecho con la regla de Faraday, muestra que está bien deducida.

En efecto, para hacer ver este acuerdo supongamos dos alambres próximos, verticales, y que la corriente inductora *sube*, las líneas de fuerza del campo que crea, y que al ensancharse, chocan con el inducido, son circulares y tienen en cada plano horizontal un sentido (mirados desde arriba), contrario al de las manillas de un reloj (regla de Maxwell), por tanto el hombre acostado en una de estas líneas y mirando al inducido, el cual se acerca, tiene su derecha encima del plano horizontal en que está echado y su izquierda debajo, y como en el caso de acercarse la línea de fuerza al conductor, dice la regla que la inducida en éste va de la derecha á izquierda, quiere decir que la corriente en el secundario al empezar las primarias va hacia abajo ó sea *en sentido contrario á la primaria.*

El mismo acuerdo existe entre el hecho manifestado por el galvanómetro y la regla de Faraday respecto del sentido de la inducida en relación con el de la inductora, cuando ésta se interrumpe ó acaba, que sabemos que son los mismos.

Explicar este acuerdo, puede servir de ejercicio á los alumnos, para posesionarse bien de las reglas de Maxwell y Faraday.

En resumen; *entre dos alambres próximos, por uno de los cuales circula una corriente, hay inducción: la corriente inducida dura mientras en el inductor no llega la primaria al régimen permanente: también hay inducción al cesar la corriente primaria, y en cuanto al sentido de la inducida es contrario al de la primaria cuando ésta empieza, é igual cuando acaba.*

Estas experiencias de inducción entre circuitos próximos, se varía del modo siguiente:

En un carrete ó bobina A (fig. 237) de 3 á 4 centímetros de diá-

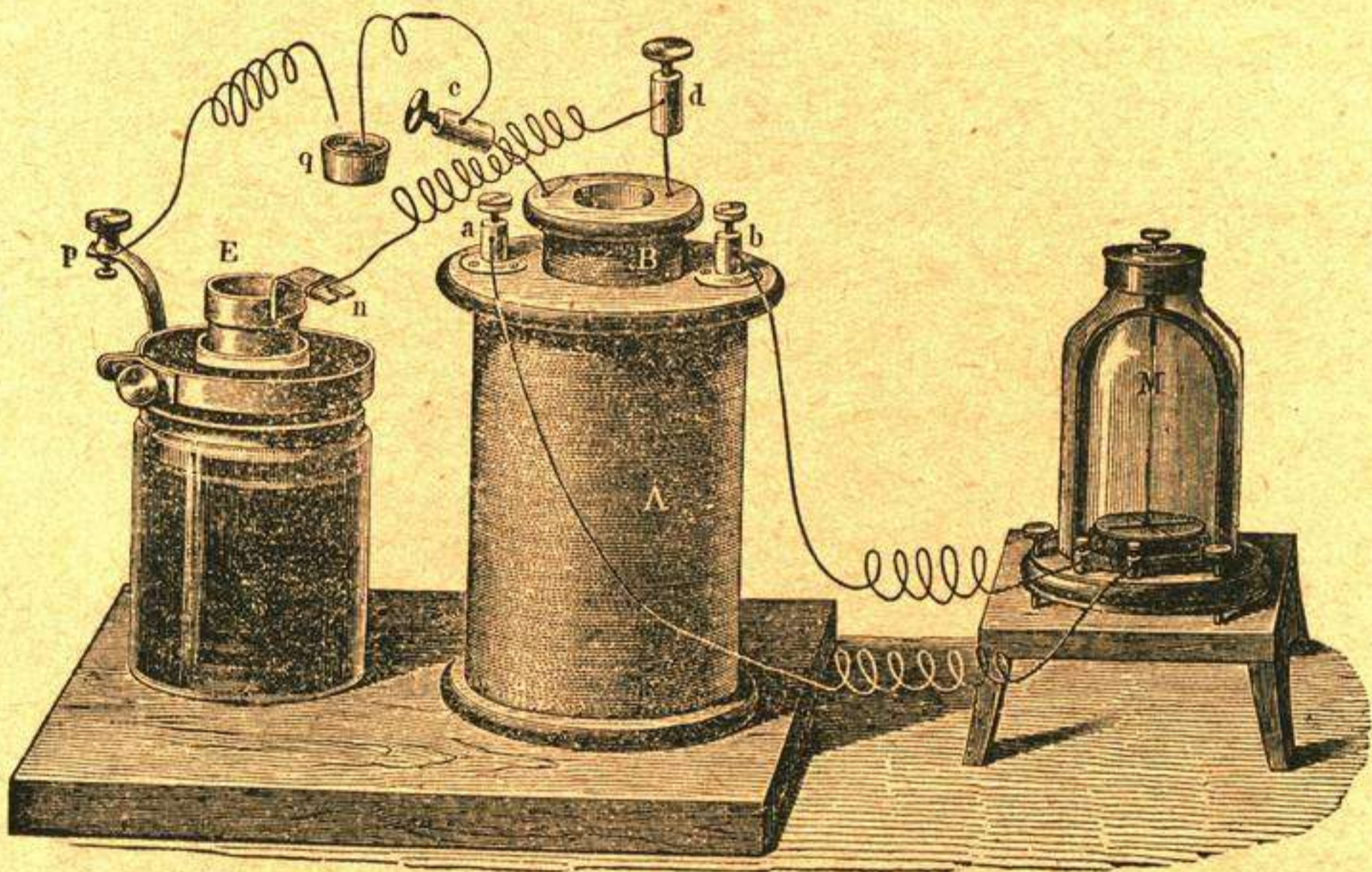


Fig. 237.

metro, se arrolla un alambre delgado de cobre cubierto de seda, cuyos extremos, para mayor comodidad, pasan por bajo y se sujetan por dos tornillos *a* y *b*. En el hueco de esta espiral A, á la cual se ha llamado secundaria ó inducida, va embutida otra B construída de un modo análogo, con sólo la diferencia de tener el alambre algo más grueso y menos vueltas que la primera; esta segunda es la espiral

principal ó inductora; los extremos de ella se sujetan con los dos tornillos *c* y *d*.

Puesta la espiral inducida en comunicación con un multiplicador, los extremos de la principal ó inductora se ponen en comunicación con los reóforos de una pila (un elemento Buussen), pero de modo que fácilmente se pueda establecer ó interrumpir la corriente. La manera más sencilla de conseguirlo es por medio de una taza con mercurio *q*, en la cual el extremo del alambre que viene de *c* siempre está hundido, y el que viene de *p* se sumerge ó saca, según se quiera. En el momento en que se cierra el circuito, metiendo en la taza el alambre que viene de *p*, y que la corriente *se establece en la espiral B*, la aguja del *multiplicador* sufre una desviación, lo cual demuestra la corriente inducida en la espiral secundaria. Por el lado hacia el cual se desvía la aguja, se conoce que la corriente inducida es de opuesta dirección á la principal ó inductora.

Si se interrumpe ésta, la aguja del multiplicador se desvía nuevamente y en dirección opuesta á la primera, cuyos hechos ya conocemos y hemos explicado, y demuestran que la «corriente producida en la espiral secundaria, por la interrupción de la principal, tiene la misma dirección que ésta».

Por consiguiente, las corrientes inducidas se producen tanto por la circulación de otra, como por su interrupción, y puede ya enunciarse el siguiente principio.

La corriente inducida tiene «la misma dirección que la principal cuando ésta cesa, y la opuesta cuando la principal empieza».

Si *p* y *c*, así como *n* y *d*, están unidos por espirales de alambre suficientemente largos, se puede (mientras pase la corriente continuamente por el carrete inductor) meterlo ó sacarlo del inducido. Con esto se muestra que por meter la espiral inductora en la inducida, se produce en ésta la misma corriente que cuando se cerró el circuito; por el contrario, si se saca ó separa la espiral principal, la acción que se produce en la inducida es la misma que por la interrupción de la corriente.

Si circulando la corriente en el alambre principal aumenta respectivamente su intensidad, produce cada salto una corriente inducida en el secundario y de dirección opuesta; en cambio, cada disminución repentina de intensidad, en la principal, produce una inducida que tiene la misma dirección que la inductora. Cuyo efecto es el mismo que el que hemos visto se produce por acercar ó alejar los dos circuitos primario y secundario.

La explicación de estos fenómenos es sencilla y se refieren á casos ya estudiados; porque, en efecto, meter ó sacar la espiral inductora, aumentar su intensidad ó disminuirla, que son casos análogos, equivale á que en el campo magnético creado por la inductora, haya nuevos flujos, en un caso, ó repliegues y estrechamientos de líneas de fuerza en el otro, y de aquí el hecho de inducción.

**Auto inducción ó Self inducción.**—*Descripción del fenómeno.*— Si un circuito se pone en comunicación con una pila que está en su régimen constante, la corriente no llega en el circuito instantáneamente al régimen constante, sino que hay un período de tiempo apreciable durante el cual el régimen de corriente es variable.

Mientras dura este período, se manifiesta en el *mismo circuito* una fuerza electromotriz ó sea una corriente inducida que tiene sentido contrario á la principal. Lo mismo ocurre, si estando un circuito en régimen permanente se corta la comunicación con la pila: la anulación no es instantánea, y hay un período de tiempo apreciable, durante el cual nace una fuerza electromotriz en el mismo circuito, que se manifiesta por una corriente inducida del mismo sentido que el que tenía la principal al ser cortada.

Ambas corrientes, nacidas por establecer ó cerrar el circuito y por cortarlo, que se manifiestan durante los dos períodos variables, se llaman *extracorrientes de cerradura ó de ruptura*.

**Experiencias de extracorrente.**—1.<sup>a</sup> Por su manifestación en los galvanómetros.—Si el carrito A de la figura anterior quitado el B, es decir, dejando un solo circuito, se pone en comunicación con la pila, por medio de la taza de mercurio, y además con el multiplicador, provisto éste de un botón que pueda sujetar la aguja en cualquier lugar, se verán los hechos siguientes: Al empezar la corriente la aguja se desvía un ángulo  $\alpha$ : por medio del botón se detiene en un lugar  $\gamma$  del limbo para que no vuelva al cero: si ahora se interrumpe y vuelve á establecer la corriente habiendo dejado libre la aguja, se nota que ésta se desvía más allá del arco  $\alpha$ : esto manifiesta que una nueva corriente inducida en el mismo alambre se ha sumado con la primera, y que va en el mismo sentido, toda vez que aumenta su intensidad.

Esta inducida es la *extracorrente de ruptura*.

Si ahora se pone la aguja en el cero y se cierra el circuito, la aguja va al lado opuesto, cuyo efecto lo origina la corriente inducida en el mismo alambre por la *cerradura*, y que es de sentido contrario á la primera: esta es la *extracorrente de cerradura*.

**Experimentación fisiológica de la extracorrente.**—En un solo elemento voltaico en que el circuito está cerrado por un alambre corto, se obtiene, al interrumpir la corriente, una chispa débil, pero no una descarga. Si se emplea en lugar de un alambre corto uno muy largo y arrollado en espiral, se ve, al abrir el circuito, que saltan chispas desiguales, y si los extremos de los alambres se tienen en la mano, se sufre una descarga en el momento de cortar el circuito.

Para experimentar estas descargas por las interrupciones sucesivas de una sola espiral y enviarlas á través del cuerpo humano, se emplea

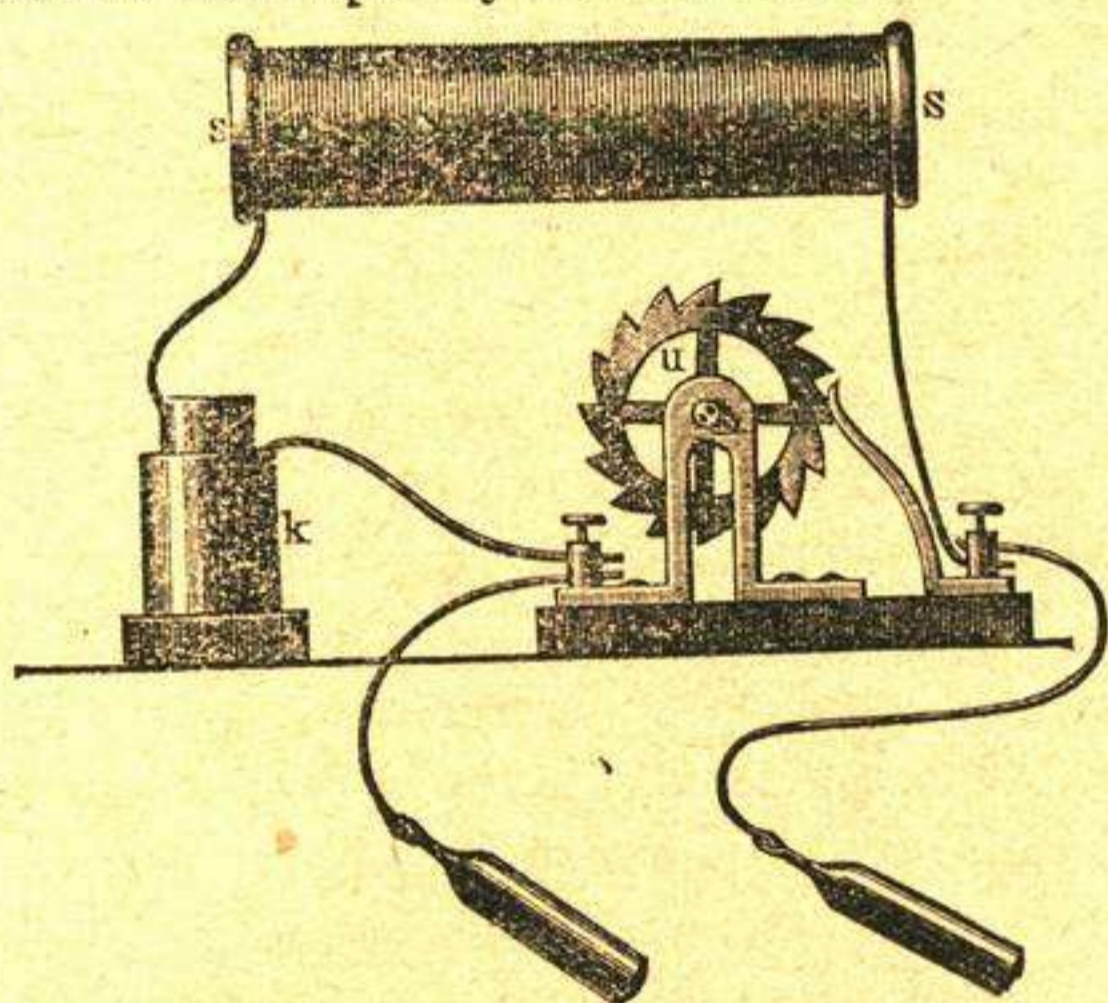


Fig. 238.

la disposición siguiente (fig. 238): *s* es la espiral, *k* el elemento galvánico, *u* la rueda de interrupción: los mangos están puestos de modo (según representa la figura) que durante la interrupción de la corriente inductora, el cuerpo cierra el circuito, que está formado entonces por la espiral, el elemento galvánico y el cuerpo humano.

La extracorrente originada por la ruptura ó desaparición de la corriente principal en la espiral, pasa de este modo por el cuerpo.

Lo mismo ocurre ordenando las partes del aparato, como representa la fig. 239 aquí por la interrupción de la corriente principal; el cuerpo humano sólo cierra el circuito con la espiral: el elemento voltaico queda fuera del circuito.

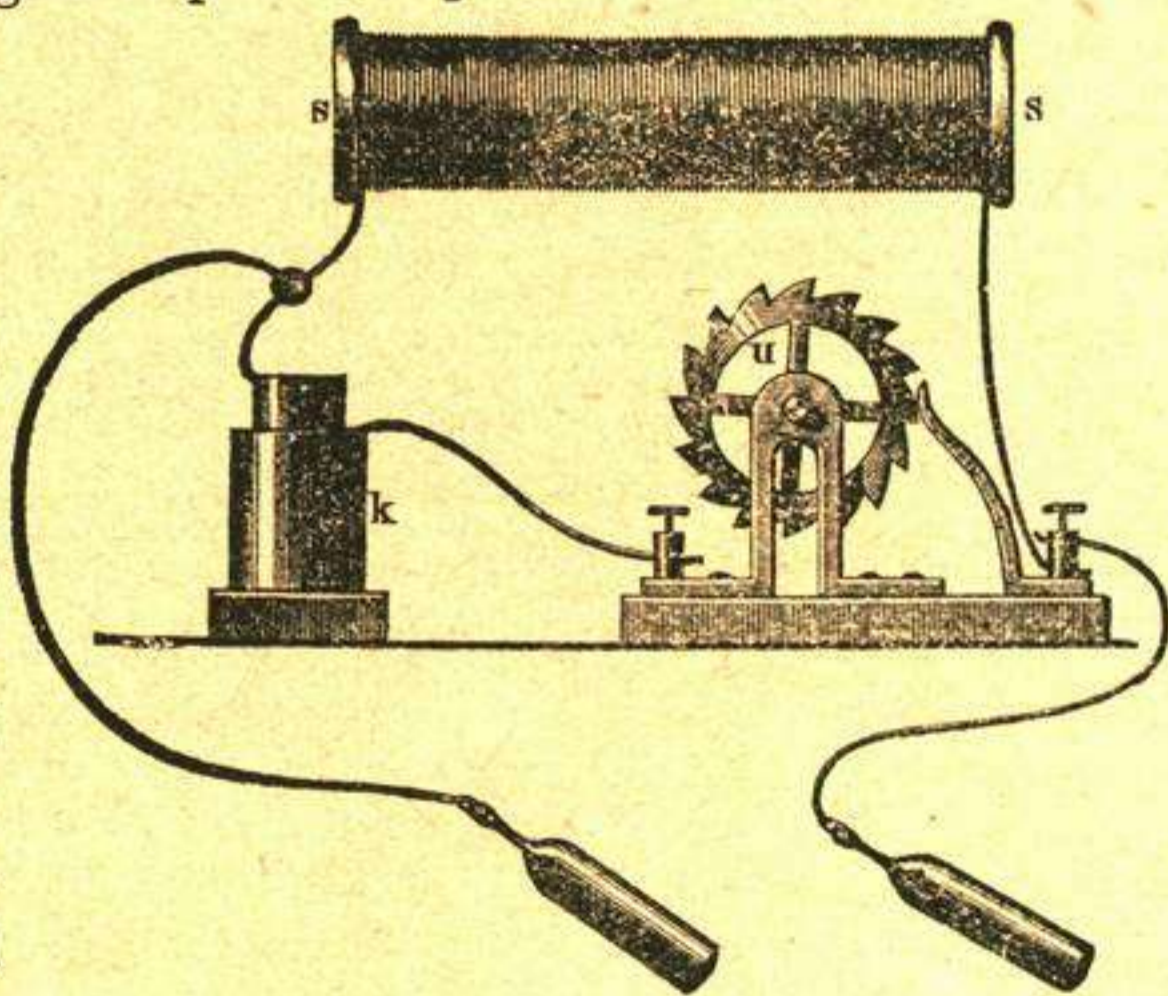


Fig. 239.

Por último, en la disposición (fig. 240) no se sufre descarga alguna,

pues el cuerpo humano cierra el circuito sólo con el elemento voltaico, quedando fuera de él la espiral, por la interrupción.

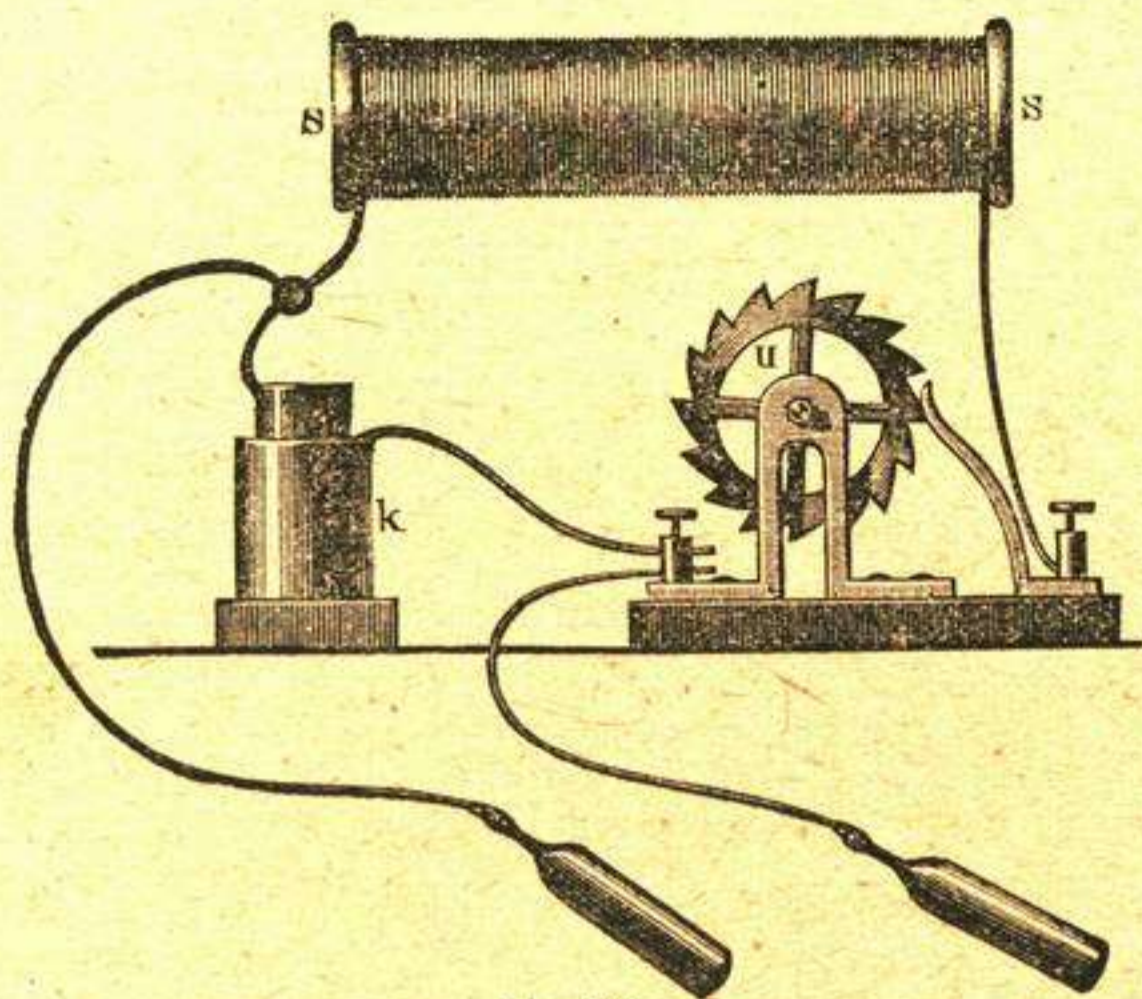


Fig. 240.

**Explicación de las extracorrientes ó auto inducción por el hecho general de inducción.**

Ya se ha dicho que el régimen permanente, no se establece ni se anula en un circuito instantáneamente, sino que por cerrarle ó interrumpirle, las líneas de fuerza del campo mag-

nético del régimen permanente, se extienden ó repliegan, durando este movimiento un tiempo apreciable; ahora bien, estas líneas al ensancharse durante un período, cortan á la masa del mismo conductor, y por tanto, inducen en ella una corriente; análogo corte, acontece al interrumpir el circuito y replegarse; el sentido observado de estas corrientes inducidas en el mismo alambre, ó *auto inducidas* ó *extracorrente*, se acuerda con la regla de Faraday; manifestar este acuerdo puede servir de ejercicio.

Si el circuito está en espiral, los efectos de las corrientes *auto inducidas*, son mayores (principalmente el de ruptura por ser del mismo sentido que la primaria), porque entonces la masa del circuito no sólo es cortada por las líneas de fuerza que en cada sección de él se crean, sino por las del campo magnético de las vueltas próximas, cuyos efectos se suman porque las vueltas están paralelas.

L. 73.

**Inducción en un circuito, producida por un imán.**—*Descripción del fenómeno.*—Los carretes, en los cuales se ha arrollado un alambre de cobre, cubierto de seda en muchas vueltas en espiral, se llaman bobinas. Si se unen los cabos de una bobina con un multiplicador, y en su hueco se saca y se mete un imán, ó si estando en quietud dentro de él, se altera su intensidad, se ve que la aguja del galvanómetro se separa de su posición normal, indicando con esto que se produce en su alambre una corriente inducida.

De modo que *por toda variación relativa de posición de un imán, ó*



*por variación de intensidad de éste, se produce una corriente inducida en un conductor que esté dentro de su campo magnético.*

El sentido de las desviaciones de la aguja marca en cada caso cuál es el de la corriente inducida, pero en todos concuerdan con la regla de Faraday, teniendo presente que por acercarse un imán ó aumentar su intensidad, se refuerza el campo magnético, y por retirarle ó disminuir su intensidad, se debilita, ó lo que es lo mismo, que en los primeros casos, hay flujo de líneas de fuerza, y en los segundos repliegue ó estrechamiento. Pero por ser muy importantes las corrientes inducidas por la variación de posición entre imanes y conductores, se dió por Lens la regla que ahora exponemos; con respecto á la explicación de la fuerza electromotriz en estos casos, está derivada del fenómeno general de inducción.

**Experiencia de Lens.**—Se hacen estas experiencias con un rollo de alambre cubierto de seda, cuyos extremos van á un galvanómetro, y cuyas vueltas se ponen en plano vertical; si en esta posición se hace pasar, horizontalmente por su centro, una barra imanada, se observa desviación en la aguja del galvanómetro, manifestando la producción de las corrientes inducidas; además estas desviaciones cesan al pasar la línea neutra, y son en sentidos contrarios para cada medio imán.

Esto se representa en la fig. 241, en las cuales los signos + y — indican el sentido de la corriente inducida en el rollo, y además esto mismo se indica por una flecha puesta junto á él para marcar mejor lo que ahora se dirá. Otra flecha puesta en el imán marca el sentido de su movimiento, así como las letras N y S, la clase de polaridad de sus extremos.

Demostrada experimentalmente la producción de la corriente inducida en el rollo, respecto de su sentido, se nota que en todos los casos, la inducida en éste tiene sentido contrario á la que, según la teoría de Ampere, circula en la parte del imán, que pasa por su centro; en efecto, recordaremos que en toda la parte S del imán, la corriente circula como las manos de un reloj, y en toda la parte N al contrario.

Ahora bien; en la experiencia (figs. 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup>) (visto el rollo desde el lado opuesto del en que viene el imán, es decir, viendo venir á éste), en el imán que se acerca, su corriente (inductora) circula como las manos de un reloj, y la que origina en el rollo (inducida) va al contrario; esto es lo que marcan las flechas según experiencia.

En la fig. 3.<sup>a</sup>, también el observador estaría á la izquierda viendo

venir el imán; pero en la parte de éste que pasa por el centro del rolo, su corriente va al contrario que las agujas de un reloj, y la inducida en el rolo circula como las manos de un reloj; por tanto, también en este caso la corriente inducida es de sentido contrario á la inductora.

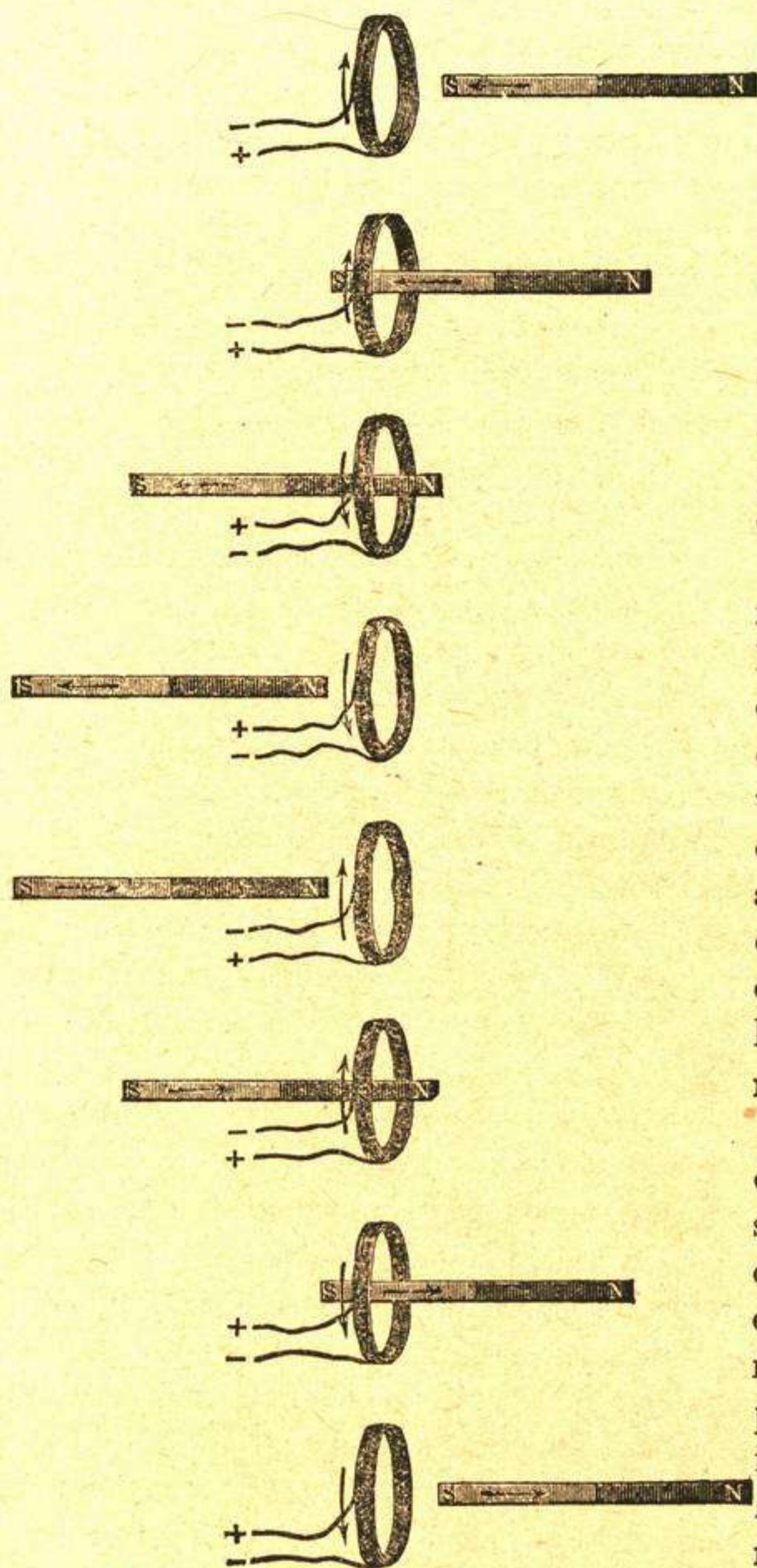


Fig. 241.

simane cuando cesa, es decir, que sea un imán temporal, porque en estos casos las líneas de fuerza de los campos magnéticos, que la corriente crea en el primario y en el imán, se ensanchan y por

inducida en el rolo circula como las manos de un reloj; por tanto, también en este caso la corriente inducida es de sentido contrario á la inductora.

Lo mismo se nota en las experiencias 4.<sup>a</sup> á la 8.<sup>a</sup>, y el explicarlo puede servir de ejercicio.

En resumen; que respecto del sentido de las corrientes producidas por el movimiento de un imán á través de un conductor, se produce en éste, si está arrollado en vueltas, corrientes inducidas en opuesto sentido á la de los imanes ó inductores.

La acción inductora de los imanos se puede sumar con la de una corriente para inducir en un secundario, corrientes más energicas: para ello basta que se imane ó crezca su magnetismo, cuando la corriente circula por el primario, y que se de-

tanto se refuerzan, y cuando cesa la corriente, en ambos campos se repliegan.

Respecto del imán que ha de ponerse en el hueco del carrete primario para reforzar su acción, Magnus demostró que la acción de la espiral se refuerza, cuando en vez de una barra maciza de hierro dulce, se introduce en su hueco un haz de alambres delgados. Sea figura 242

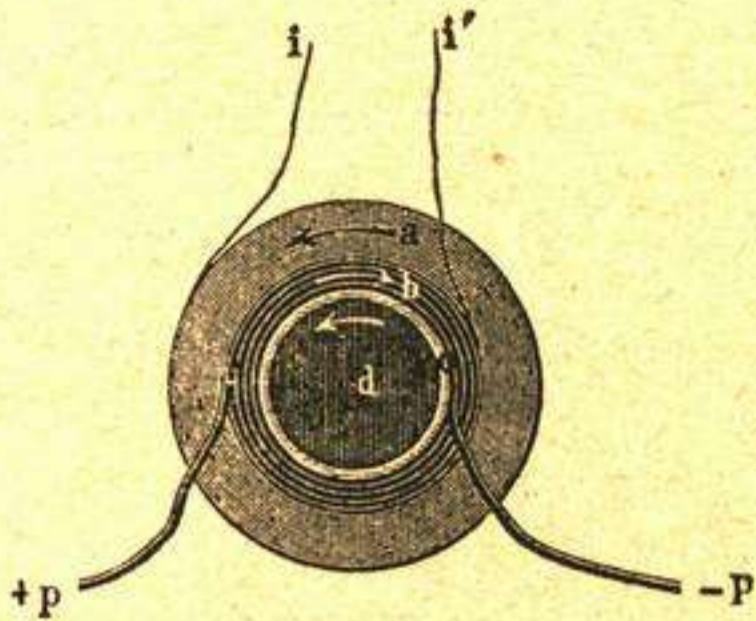


Fig. 242.

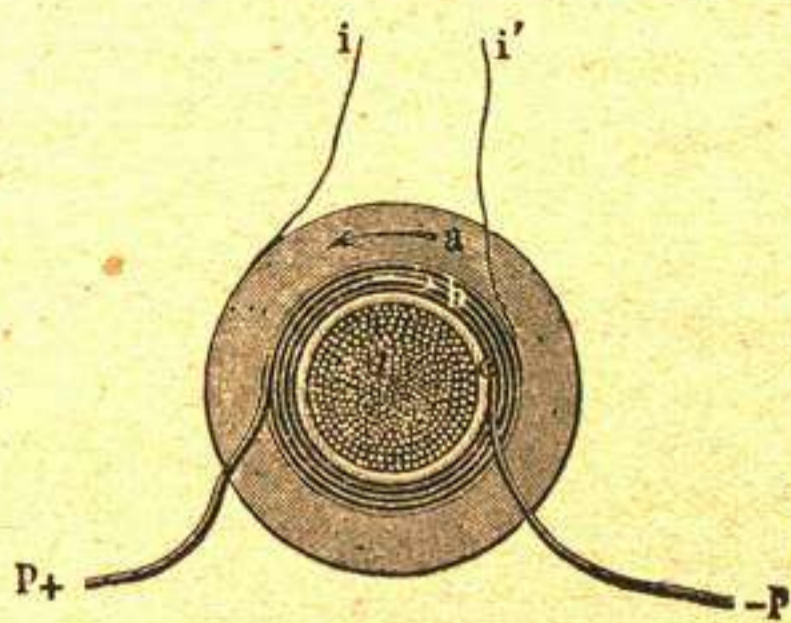
una sección de un rollo de inducción: *a* es el exterior, que se compone de muchas vueltas del alambre secundario, cuyos extremos están en *i*, e *i'*; sea *b* la posición del alambre de la espiral primaria ó inductora y sus extremos  $+p$  y  $-p$  unidos á los polos de la pila: sea *c* el cilindro del carrete sobre el que van las vueltas de este alambre; por último, sea *d* el núcleo de hierro maci-

zo. En cuanto circula la corriente primaria por las vueltas del alambre, en el sentido que marca la flecha *b*, se producen corrientes inducidas, no sólo en el alambre secundario, si que también en la barra de hierro y en la dirección que marcan las flechas *a* y *d*. Y si el cilindro del carrete fuese de materia conductora, también se establecerían en ella análogas corrientes inducidas.

En ese caso y de todos modos, las corrientes inducidas en *c* y *d* actúan debilitando por varios conceptos las inducidas en *a*. En primer lugar, ellas mismas producen en *a* una corriente inducida en opuesta dirección, que después actúa sobre el interior de la masa de hierro, para magnetizarlo en sentido opuesto al que establece la corriente primaria, por lo que el establecimiento de un magnetismo completo se retarda. Por la abertura de la corriente primaria, se establecen en *c* y *d* corrientes inducidas de idéntica dirección, las cuales nuevamente actúan para debilitar la corriente inducida por la abertura del circuito, puesto que retardan la pérdida del magnetismo en el hierro. Además, en el núcleo se originan las corrientes parásitas, de que se hablará al tratar de los dinamos.

Para evitar estas acciones, hay, pues, que cuidar de que en *c* y *d* no se produzcan corrientes inducidas, en tanto que no se interrumpa la comunicación, para ello se substituye á la barra sólida una serie de alambres finos aislados unos de otros (fig. 243) y se construye el cilindro *c* del carrete de una substancia aisladora (como madera, gutapercha) ó se le abren fendas á su largo.

En lugar de la barra formada del haz de alambres en  $d$ , se puede usar de una espiral de hoja de lata, cuyas vueltas se aíslan unas de otras. También en lugar de las vueltas exteriores se pueden usar envueltas metálicas.



Las mismas leyes rigen para tales aparatos.

**Aparato de inducción, por corriente primaria reforzada con un imán temporal.**—Llámanse á este aparato *Bobina de Ruhmkorff*.

Inductor de chispas, de descargas alternativas, y últimamente por Hertz el *Vibrador*, de sus notables experiencias.

Consta de tres partes principales, que suelen reunirse en una sola peana, en los aparatos pequeños, ó separados en los grandes, y son la *bobina*, el *interruptor* y el aparato para las descargas.

La bobina es un carrete en el que va arrollado un primer alambre, aisladas las vueltas entre sí y las capas de éstas, y cuyos cabos salen al exterior, para comunicarse con los reóforos de una pila.

Sobre las vueltas del primario y de alambre mucho más largo y delgado van muchas capas de vueltas, constituyendo el secundario, y los extremos que quedan salen fuera del carrete á unos botones con tornillo, y entre ellos se verifica la descarga de inducción, ó se llevan al descargador, que es una especie de excitador como el descrito (página 241) sólo que en vez de bolas termina en puntas.

En los aparatos pequeños el alambre secundario da unas 33.000 vueltas, en los grandes la longitud del alambre es de muchos kilómetros.

En el hueco de la bobina y para el refuerzo de la auto inducción se pone un núcleo de hierro dulce, que por la razón anteriormente expuesta es de alambres delgados y aislados: este haz saca sus extremos del carrete y sobre uno de ellos se apoya una placa de hierro dulce, sostenida por un resorte de acero que le permite vibrar y que cuando no toca á los alambres cierra el circuito de la pila con el primario, y cuando le toca le interrumpe: con esto el haz se imana cuando no le toca la placa y la atrae, y se desimana y la suelta después del contacto con ella, por este medio las interrupciones del circuito, y por tanto de la corriente inducida, son muy rápidas, y las descargas alternativas se suceden entre las puntas del descargador ó extremos de los alambres del secundario, con gran rapidez.

Los efectos de estas descargas sólo se aplican á experiencias de gabinete; sus efectos fisiológicos, aun en los aparatos más pequeños, son tan enérgicos, que han de manejarse con mucho cuidado, y con ciertas precauciones se emplean en la medicina.

## LECCION 43

### Dinamos

L. 74.

Llámanse dinamos á unas máquinas que producen corrientes eléctricas de gran fuerza, é inducidas por la variación de posición entre unos imanes y unos conductores que están dentro de su campo.

**Principios teóricos de la construcción de las dinamos.**—Si un círculo de hierro A B (fig. 244) gira en el campo magnético creado

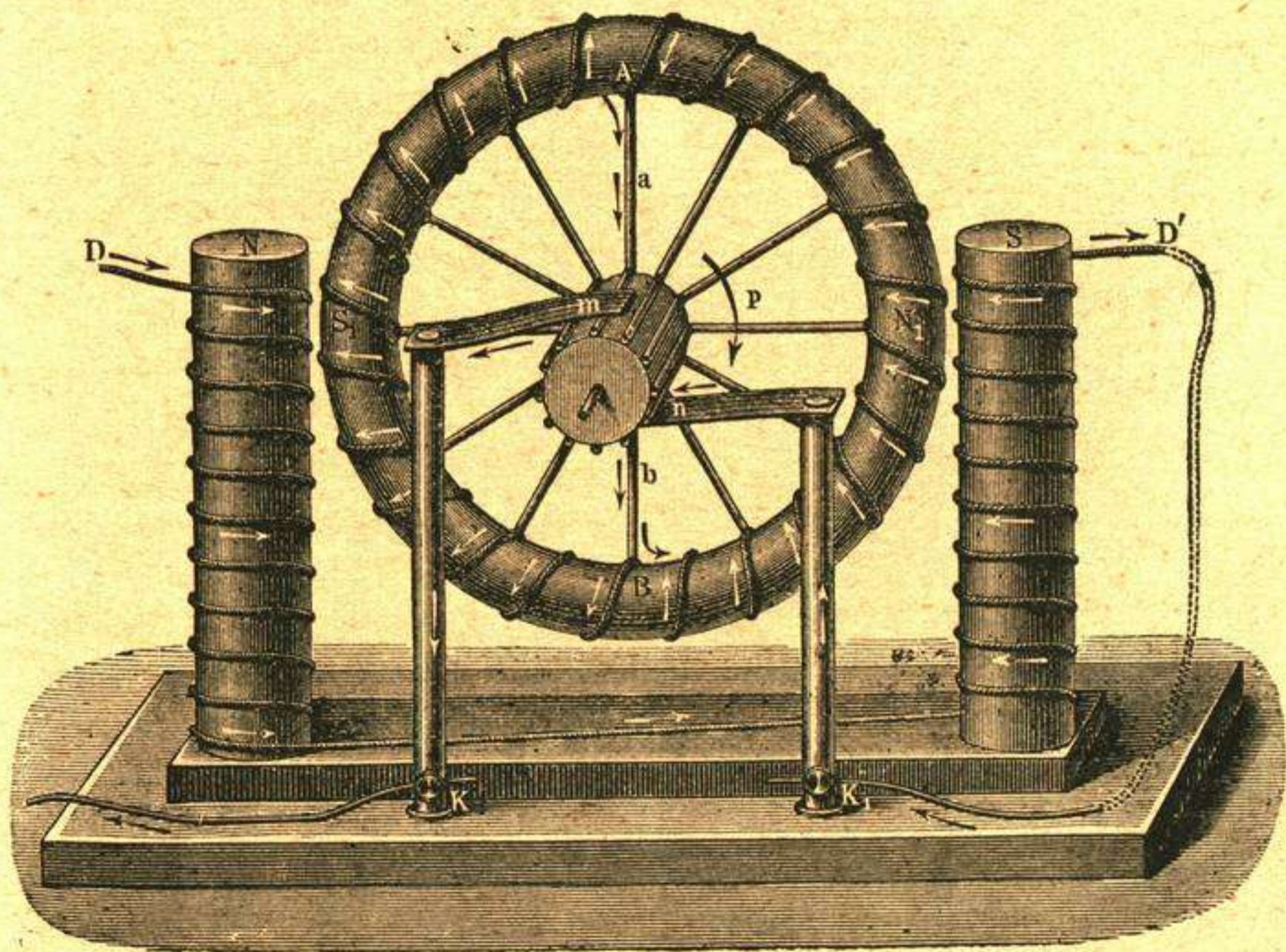


Fig. 244.

por los polos N y S de un electro en el sentido de la flecha *p*, como

corta más ó menos normalmente á sus líneas de fuerza, se produce en él una fuerza electromotriz de inducción, como ya sabíamos por el fenómeno general de inducción. Ahora bien; el sentido de la corriente que en él se produce, cambia dos veces al dar una vuelta completa, de lo cual fácilmente nos convencemos, considerando que la semicircunferencia  $A N_1 B$ , corta á las líneas de fuerza que van de  $N$  á  $S$  de un modo opuesto que la  $B S_1 A$ ; en efecto, un observador acostado en las líneas de fuerza que corta la semicircunferencia  $A N_1 B$ , por ejemplo, en la que viene horizontal, tendría los pies hacia  $N_1$ , la cabeza hacia  $S_1$  y la cara hacia arriba (vuelta al conductor movable), y por tanto sería venir al conductor; la corriente en éste iría como de su derecha á su izquierda, ó sea de la cara de detrás de la figura á la de delante; y como esto sucede en toda la semicircunferencia  $A N_1 B$ , por eso se marca ese sentido de la corriente inducida sobre el conductor con las flechas que están sobre esa parte del medio anillo.

Veamos ahora la aplicación de la regla para el otro medio anillo  $B S_1 A$ : aquí el observador también tiene los pies hacia  $S_1$  y la cabeza hacia  $N_1$ ; mas para mirar al conductor que viene (lo suponemos acostado en la línea de fuerza horizontal) ha de estar boca abajo, y según la regla, como ve venir al conductor, la corriente inducida en éste va de su derecha á su izquierda, es decir, de delante del plano de la figura, hacia atrás, y esto, que sucede en toda la semicircunferencia  $B S_1 A$ , es lo que se marca con las flechas puestas en ella. Vemos, pues, que en todo anillo conductor que gira en un campo magnético y corta á sus líneas de fuerza, se produce una corriente que cambia dos veces de dirección, para un giro completo del anillo, y que podríamos llamar respecto de sus sentidos *alternativos*. Con sólo lo descrito, tendríamos corrientes alternativas, cuyo circuito es el anillo; y no son utilizables, mientras no se las haga salir á un circuito exterior; el mecanismo por cuyo medio se consigue esto, se llama el *conmutador ó colectores*.

Los conmutadores son de dos clases (por su disposición), según se quiera tener en el circuito exterior corrientes *alternativas*, tal como se producen en el anillo inducido en una revolución completa, ó corrientes *continuas*, es decir, que el conmutador sea tal, que siempre vaya la corriente por el circuito exterior, en un mismo sentido, á éstos se les llama *enderezadores*.

Describiremos su disposición en ambos casos:

**Conmutador de corrientes alternativas.**—Supongamos que sobre

el anillo de hierro A N<sub>1</sub> B S<sub>1</sub> hay arrollado un alambre, que es el conductor sobre el que se producen las corrientes inducidas alternativas, ya descritas, reforzadas por el núcleo imantado, que es el anillo, la cuestión estriba en sacar fuera de ese alambre las corrientes producidas; para ello (fig. 245) los extremos del circuito exterior son dos

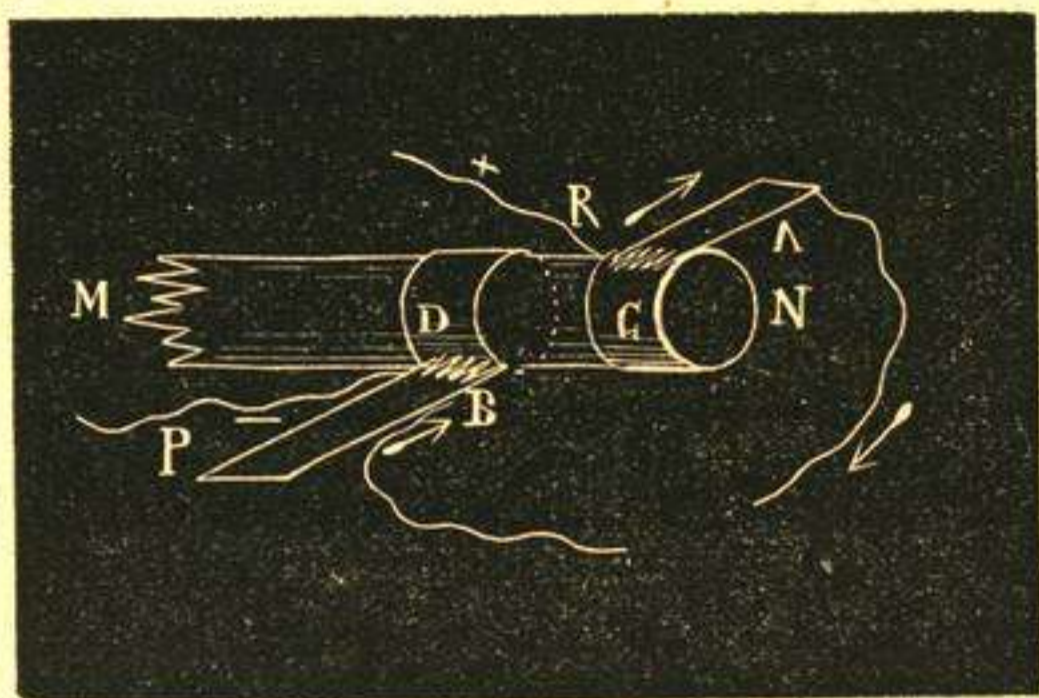


Fig. 245.

láminas ó resortes metálicos elásticos A y B que se apoyan en dos aros C y D, soldados á los extremos P y R del alambre inducido; estos aros van apoyados en el eje de giro M N y aislados de él, con lo cual puede moverse el sistema inducido, y el circuito exterior está siempre en comunicación con él,

porque sus extremos, que son las dos láminas *metálicas*, rozan en la superficie movable de los aros. Como las partes del inducido cambian su corriente dos veces por una vuelta, claro es que por los aros saldrán y por el circuito exterior circularán dos veces en sentidos contrarios las corrientes inducidas por una vuelta.

El conmutador enderezador es análogo (fig. 244): también consiste en un tambor sobre el eje, que lleva unos rebordes salientes metálicos que se corresponden y comunican por medio de los radios metálicos del anillo, con las espiras inducidas; ahora bien, si las láminas resortes *m* y *n* del circuito exterior, se apoyan sobre los rebordes de este tambor, justamente en tales lugares, donde siempre se invierten las corrientes, se tendrá que todos los rebordes al llegar al contacto con la lámina *m*, envían la corriente hacia *afuera*, y los en que se apoya la lámina *n*, envían la corriente hacia *adentro* del sistema inducido; en virtud de esta disposición, la corriente, aunque cambia dos veces por vuelta en el sistema inducido, va siempre en el mismo sentido, en el circuito exterior.

Ya con esto tenemos el esquema de una dinamo, porque, en efecto, si suponemos que por medio de un motor se hace girar el anillo y los alambres que lleva encima (á todo lo cual se llama el inducido de la dinamo) en el campo magnético creado por los dos polos del electro N S, la corriente inducida va del anillo al tambor, de éste, por los rebordes que van sucesivamente tocando, al resorte ó escobilla *m*, salen á la columna y tornillo K (que se llama borne), y de aquí

marcha al circuito exterior, y después de recorrerle vuelve al borne  $K_1$  lámina  $n$ , y entra por los rebordes del tambor y radios al anillo, cerrando así el circuito.

Descrito ya por la figura esquemática (244) el mecanismo y función de una dinamo, los detalles prácticos corresponden á la técnica de estas máquinas; expondremos algunos que directamente se imponen por las condiciones que acompañan al fenómeno de inducción.

En primer lugar, las dos láminas  $m$  y  $n$  deben de apoyarse sobre los rebordes del conmutador, justamente cuando éstos se ponen en el plano de *la conmutación*, que teóricamente es cuando el plano de las espiras es perpendicular á las líneas de fuerza, ó sea en el diámetro del anillo ó núcleo de hierro imanado que corresponde á su línea neutra (así se representa en la figura, pues el diámetro  $ab$  del anillo es perpendicular al que va de  $S_1$  á  $N_1$  que son sus polos por influencia de los N y S del electro).

Pero en virtud de la auto inducción del anillo, hay un *retardo*, entre la fase de la corriente y la fuerza electromotriz del inducido, y el plano de conmutación pasa más allá de su posición teórica (es decir, de la calculada sin tener en cuenta la influencia de la auto inducción del anillo) y en el sentido del giro; por tanto en las máquinas, hay que adelantar las láminas resortes, que comunican con el circuito anterior, (y que en las máquinas modernas, suelen ser unos peines ó brochas metálicas, llamadas escobillas), un cierto arco en el sentido de la rotación; así en la figura esquemática tendría que ser la  $m$  sobre el reborde de la parte alta que está más á la derecha y la  $n$  sobre el que está por abajo más hacia la izquierda; al ángulo que forma el plano teórico de conmutación con el práctico, se llama *ángulo de las escobillas* y se investiga experimentalmente por tanteo, moviendo las escobillas hasta que se apoyen en un lugar del tambor donde menos chispas saltan entre ellas y los rebordes (chispas provenientes de la interrupción que sufre la corriente entre las láminas y los rebordes por ajustado que se haga el contacto).

Otro detalle técnico es el determinar los elementos de una dinamo, de cuyas condiciones depende su fuerza electromotriz, ó sea la energía de la corriente en el circuito exterior: estos elementos ó factores de la fuerza electromotriz de una dinamo son tres, á saber: *superficie del inducido, velocidad de su giro é intensidad del campo en que se mueve*. Es decir, que aumentando alguno de estos factores aumenta la fuerza electromotriz de la máquina. El factor velocidad, á pesar de que se ha conseguido darles á algunos inducidos unas velocidades angulares



hasta de 80<sup>m</sup> por segundo; pero tienen muchos inconvenientes, por lo que hoy se atiende para el aumento de energía, á la superficie de los inducidos ó intensidad de los campos magnéticos; así que en los brevísimos detalles técnicos que vamos exponiendo, sólo nos ocuparemos de los *inducidos* y de los *campos magnéticos*.

## LECCIÓN 44

**Detalles sobre el inducido de las dinamos.**—Sabemos que los inducidos se componen de núcleo y conductores. El núcleo que soporta al conductor, no conviene que sea de hierro macizo, como en la figura esquemática se ha supuesto, porque además de lo expuesto acerca del núcleo de las bobinas se tiene que por la auto inducción que en él se verifica al cortar su masa, las líneas de fuerza del campo en que gira, las corrientes auto inducidas, se cierran ó circulan por su misma masa, no salen por consiguiente al conductor que lleva encima, ni por tanto al exterior; estas corrientes se trasforman en calor, consumiendo con ello energía del motor en pura pérdida de efecto útil de corriente; á estas corrientes auto inducidas en la masa del núcleo, las llamó *Fócault*, *corrientes parásitas*; no sólo se producen las corrientes parásitas en el núcleo, si que también en todas las piezas metálicas que se mueven en el campo magnético.

Para atenuar su efecto perjudicial, se construyen el núcleo ó anillo, y las demás piezas que se mueven en el campo, de partes conductoras aisladas entre sí, por ejemplo, de alambres separados con un betún ó materia aislante, ó de láminas metálicas (de hoja de lata) y entre sus caras el aislador.

También el calentamiento del núcleo es producido por el fenómeno de *Hysteresis* ya explicado, y el cual no se evita si el flujo es constante por la división del núcleo en partes aisladas.

El calentamiento del núcleo trae graves inconvenientes, porque disminuye su resistencia á ser atravesado por las líneas de fuerza, con lo que las que pasan por su masa dejan de ser cortadas por las espiras del alambre inducido, y además puede llegar á establecer una comunicación entre las espiras, con lo que se disminuiría notablemente la intensidad del campo de la dinamo.

La evitación de las corrientes parásitas es de tanto interés, que á

conseguirla se han de dirigido preferentemente los esfuerzos de los constructores; así que esta parte de las dinamos se ha ensayado el hacerlas de muchos discos de hierro y hoja de lata, ya barnizados y unidos entre sí, ya separados por substancias aisladoras, otros las hacen de telas metálicas, y otros, á fin de evitar su calentamiento, les dejan huecos para que pase el aire y los ventile y refresque.

Sobre estos núcleos van los conductores en los que se inducen las corrientes, y es parte muy principal de esta sección de las dinamos; porque si se compone de rollos formados por vueltas de hilo sobre el núcleo, las únicas *vueltas eficaces* son aquellas que van por el exterior, pues son las que al girar el núcleo cortan normalmente á las líneas de fuerza.

Esto se ve bien en la fig. 246 que representa la sección del anillo y los rollos del inducido de una máquina Gramme: en el rollo B, por ejemplo, una vuelta completa del hilo, se puede asemejar á un rectángulo; de éste, el lado que está al exterior es el único eficaz para inducirse; pues los laterales y el interior, si se inducen (que sí ocurre porque siempre cortan algunas líneas de fuerza que pasan al anillo) sus corrientes contrarrestan á la principal (sentidos distintos).

Es, pues, de gran interés que los hilos eficaces de los rollos sean lo mayor posible en relación con las otras partes de las vueltas, y por eso algunos, desconfiando de todos sistemas de devanado de los rollos, les substituyen por barras puestas sobre el anillo.

El hueco que hay entre el inducido y los polos inductores se llama el *Entreferro* y conviene que sea lo más estrecho posible, para que no se distraigan del campo útil las líneas de fuerza; por esto los imanes terminan en unas piezas curvas que ensanchan sus polos y abarcan el inducido muy estrechamente; pero esta estrechez tiene sus límites, pues para evitar el roce (por mala construcción ó desgaste de los ejes) entre los rollos del inducido y los polos, ó piezas polares, no se puede dejar un espacio entre ellos menor de 2 á 3<sup>mm</sup> en las máquinas mejor construídas.

Como el aumento de velocidad en las dinamos tiene muchos inconvenientes, según se ha indicado, se ha tomado el camino de aumentar la energía del campo magnético y para ello se ha aumentado el número de electros que le crean; este número ha servido para clasificar las máquinas en *bipolares* si no hay más que un electro y *multipolares* si hay más de uno.

**Detalles sobre el campo magnético de las dinamos.**—Los imanes que en las dinamos crean el campo magnético inductor, son en

las grandes máquinas unos electros, y en los que no se destinan á producir corrientes muy poderosas, son imanes permanentes. La ventaja de estos últimos es no necesitar de corriente excitatriz; como los electros, en cambio, los campos magnéticos que con ellos pueden crearse, son muy inferiores en intensidad á los que se obtienen con los electros, y por tanto, la fuerza electromotriz producida.

Otra ventaja de los electros es su poco peso, relativamente al que tendrían imanes permanentes que diesen un campo de igual energía; se llama *excitación* de los electros á la corriente que recorre su bobina y los imanes. Esta excitación se realiza de distintos modos: 1.º *Excitación independiente*; tal es la que se representa en la fig. 244 esquemática, en la que la corriente que viene por D recorre las espiras que están sobre el núcleo N, en tal sentido, que lo convierte en un polo Norte, después va al núcleo S y lo convierte en un polo Sur, y de allí vuelve por D á la fuente eléctrica que la origina, que es independiente de la corriente inducida en la máquina; á su fuente se llama la *excitatriz*. 2.º *Por auto excitación* ó excitación por sí misma, y consiste en que una parte de la misma corriente inducida pasa por las espiras de los electros.

Es claro, que como para que haya inducción, ha de existir primero el campo magnético, ó sea la excitación de los electros, parece que cada vez que empiece á funcionar una dinamo, hay que excitar antes los electros, ó como se dice técnicamente, *cebar las máquinas*. Tal sucedería si los núcleos se desimantasen por completo al cesar la corriente excitatriz. Pero como esto no sucede y siempre les queda un resto de magnetismo, basta esto para que al empezar á funcionar la máquina se induzca, aunque débilmente, una corriente en el inducido; esta corriente, al pasar por las espiras aumenta el magnetismo de los electros, y con ello se refuerza el campo y la corriente inducida, y así se suceden estos refuerzos hasta que pronto llega la máquina á su régimen constante.

En esta auto excitación, según la manera de llevar la corriente inducida sobre las espiras de los electros, se dice *excitación en Serie* ó en *Derivación*; lo primero es cuando toda la corriente principal circula por las bobinas, y lo segundo cuando por medio de un hilo en contacto con el cable por donde circula toda la de la máquina, se lleva una parte á las espiras de los electros, que con esto forman como un circuito secundario que toma su origen, y vuelve al principal.

La segunda manera de intercalar el circuito es la más usada, porque evita muchos inconvenientes.

Pero aún hay otro tercer modo de intercalamiento de este circuito de los electros en el principal y que se llama *Compueste* (Componund) y que su nombre indica que participa de los dos, es decir, que las bobinas de los electros se componen de dos hilos independientes, uno intercalado en serie y el otro en derivación; esto se ha hecho para evitar los inconvenientes de los cambios bruscos de resistencia en el circuito exterior.

Con estos brevísimos antecedentes se comprenderá mejor la descripción de los tipos de dinamos que vamos á exponer.

## LECCION 45

### Tipos prácticos de dinamos

Los tipos prácticos de dinamos, sean de corrientes continuas ó alternativas, se pueden clasificar en tres grupos:

1.º Que el inducido vaya arrollado sobre un anillo; 2.º que vaya arrollado sobre un tambor, y 3.º que vaya sobre un disco.

*Tipos del primer grupo.*—En este grupo están las máquinas cuyo

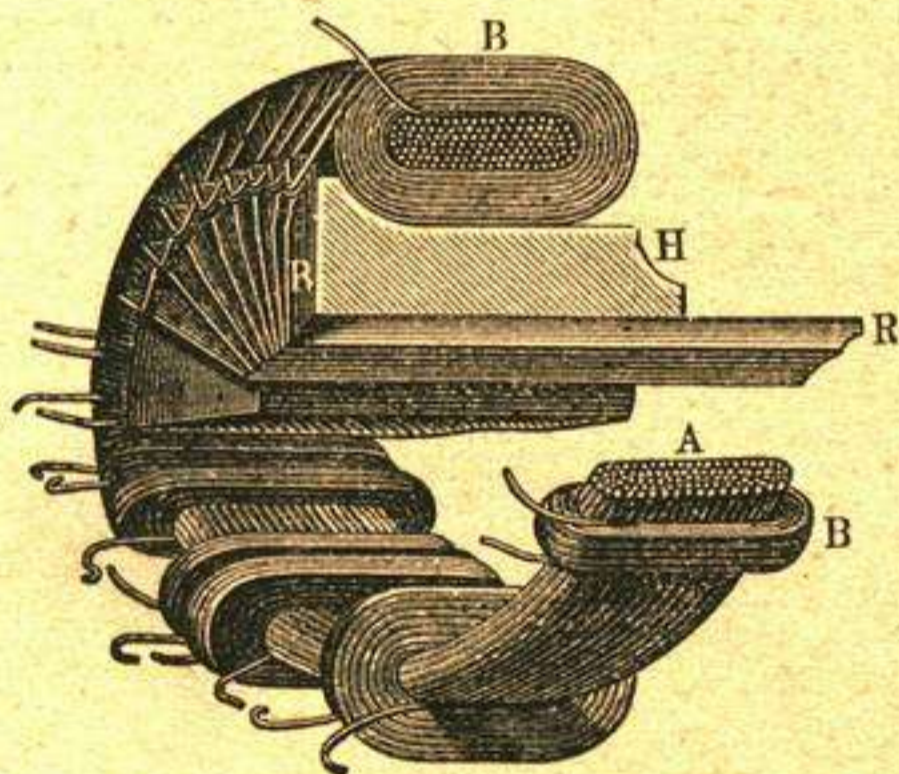


Fig. 246.

inducido va arrollado de un modo fijo sobre un núcleo anular de hierro dulce, y giran ambos juntos en un campo magnético; todas las espiras comunican por sus extremos con un reborde ó tira metálica del conmutador. La figura 246 representa en sección el anillo del tipo Gramme, cuyo núcleo exterior consiste en un haz de alambres (en sección se representa en A aislados), sobre él va arro-

lado el inducido formando rollos separados B, cuyos cabos se comunican con unas placas de cobre RH que van á parar al conmutador sobre el eje. Ya hemos indicado que en esta forma de inducido los hilos que cortan á las líneas de fuerza, ó sean los *eficaces*, son la parte de vuelta exterior, porque en las otras partes, no sólo van sus corrientes inducidas en sentidos contrarios á la de la parte exterior, sino que además ofrecen resistencia al paso de la corriente del hilo exterior.

Las figs. 247 y 248 representan en perspectiva y sección una di-

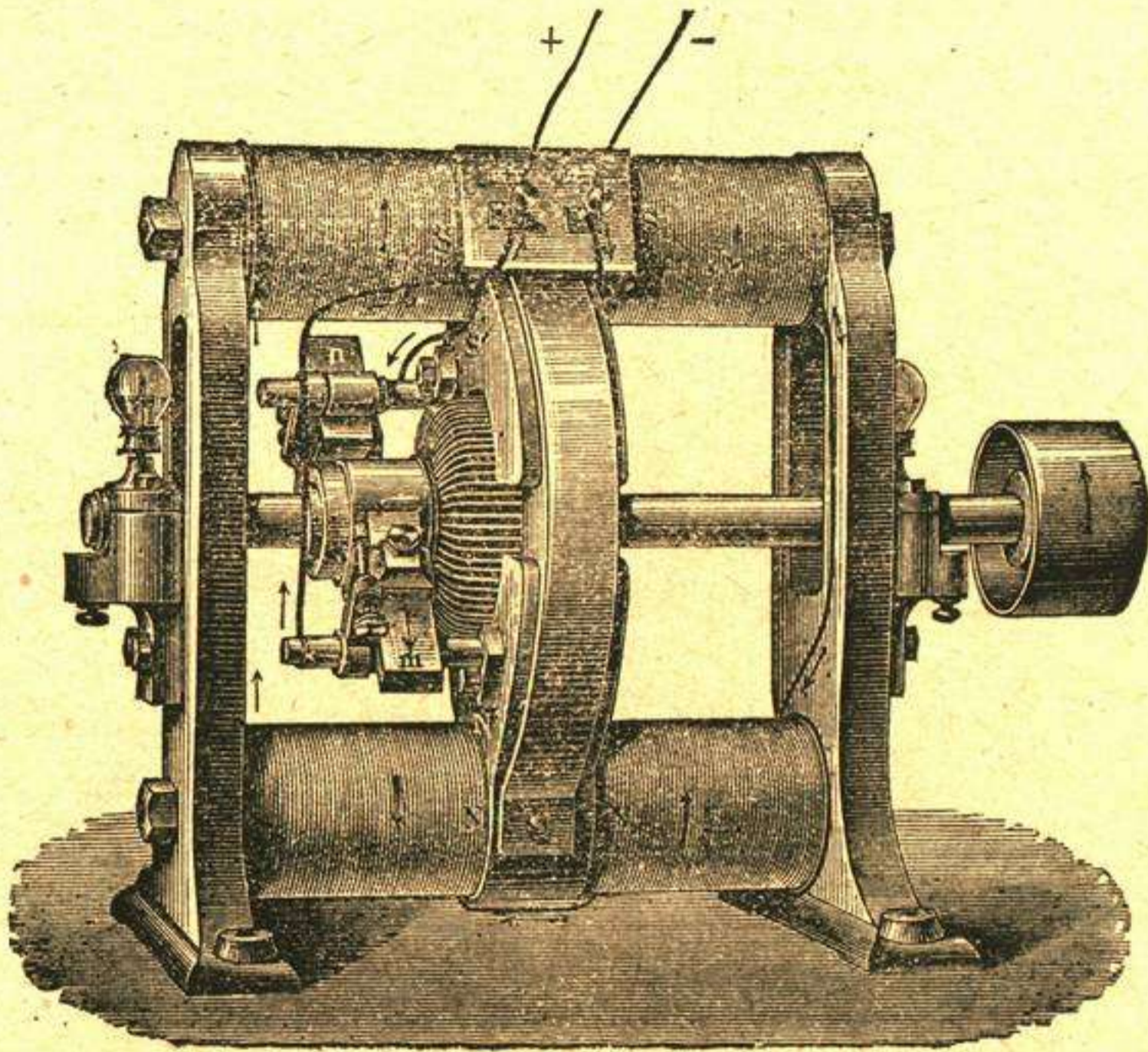


Fig. 247.

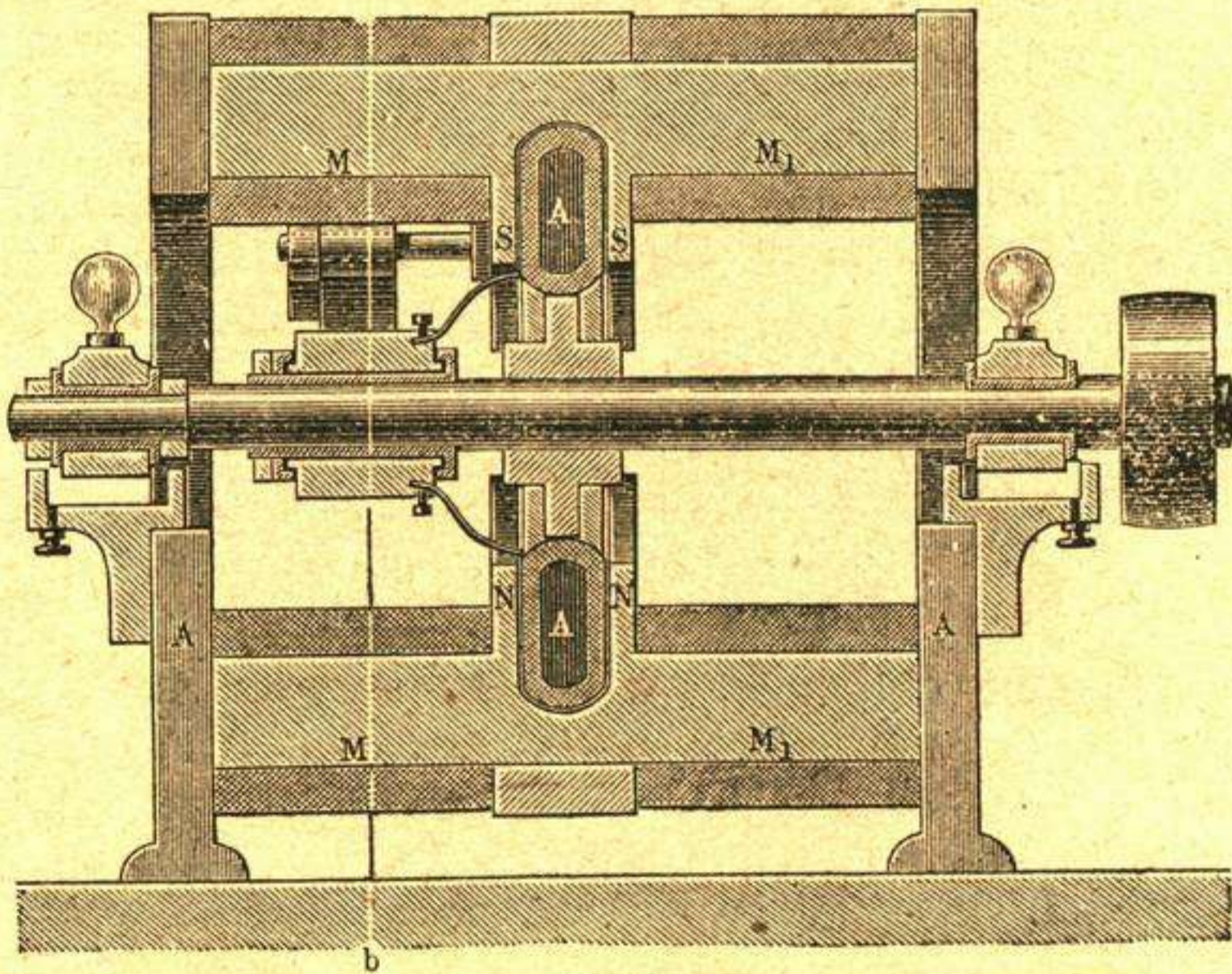


Fig. 248.

namo Gramme cuyas partes y función se reconocen bien, por los

preliminares expuestos. En efecto, la corriente positiva va *en el interior de la máquina* desde el alambre señalado con el signo — primero á la bobina  $S_1$  y de ahí á la otra rama  $N_1$  del electro que excita, de aquí pasa transversalmente á la rama  $N$  que con la  $S$  á que después va, forman el otro electro excitado (excitación en Serie), de aquí y por detrás va á la lámina, resorte ó escobilla colectora  $n$ , corre por su arco sobre el eje y por las láminas correspondientes, al inducido, y vuelve por las láminas á la escobilla  $m$ , de donde pasa al tornillo señalado con +. Estos tornillos son los *bornes* de la máquina y desde uno á otro va el *circuito exterior*. Los bornes, pues, son lo que los reóforos de una pila en los cuales se inserta el alambre que los reúne por el exterior.

Para evitar los inconvenientes de lo corto de los hilos eficaces, en relación con todo el que se devana en los rollos, se inventaron los dinamos llamados de tambor (fig. 249).

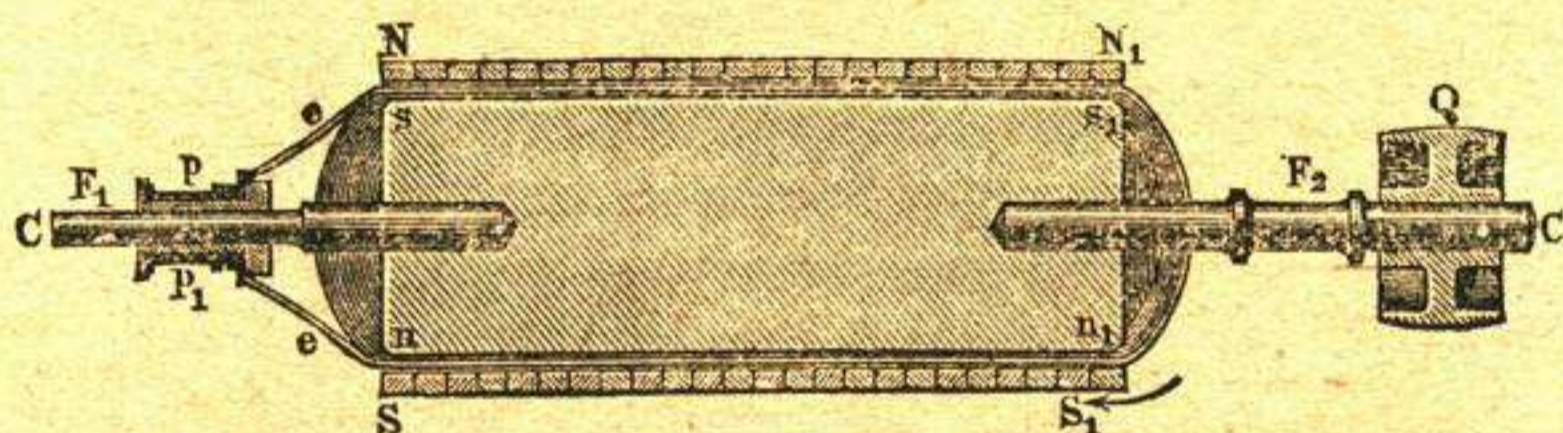


Fig. 249.

El núcleo tiene la forma de un tambor ó cilindro prolongado, constituídos por rodajas de hierro aisladas entre sí, ensartadas en el árbol de la máquina: si la máquina es bipolar, el hilo inducido se arrolla siguiendo las generatrices del tambor, de este modo las espiras se cierran, no en el interior del anillo, sino que tienen dos partes, siguiendo dos generatrices opuestas del tambor, ambas eficaces para la inducción; porque las únicas inactivas, que son las que pasan por los extremos del tambor, se han hecho muy pequeñas, dando á éste la forma de un huso.

Las máquinas de inducido de tambor se construyen también *multipolares*. Aunque á primera vista parezca que las máquinas de tambor son mucho más ventajosas que las de anillo Gramme, tienen los inconvenientes de la dificultad de consolidar el hilo con el núcleo, inconveniente que se exagera por la gran velocidad de rotación que hay que darles á causa del pequeño diámetro del anillo, y también de que para grandes rendimientos habría que superponer muchas capas de hilo en el tambor, con lo cual se ponen las espiras eficaces ó potenciales muy distintos, y el aislamiento de la máquina es imper

fecto; con ello, para las grandes fuerzas electromotrices, es muy fácil que se produzcan chispas entre las capas de hilo, que rompan el circuito. Por esta causa no se emplean cuando se necesitan grandes fuerzas electromotrices, pues roto el hilo hay que desarrollarlo todo, para volverlo á unir, cuyo inconveniente no existe en el modo de arrollar de Gramme, pues basta separar la bobina cuyo hilo se rompa.

**Inducidos de disco.**—Si se supone fijo el núcleo del inducido, y que el hilo arrollado sobre anillos sea el que gire alrededor de éste, se tendría un modo de armadura, en el que se habrían evitado las corrientes de *Focault*, y las pérdidas por *hysteresis*.

Esta disposición logró establecerla *Siemens*, pero tocando la grave dificultad de cómo podría consolidar el hilo del inducido, y para vencerla, tuvo que aumentar mucho la distancia del entreferro, con lo cual se debilita el campo creado por los inductores.

Estas dificultades mecánicas se han disminuído, abandonando la forma cilíndrica para el inducido, y adoptando la de arrollar el hilo en forma de un disco, en el cual se ha suprimido el núcleo móvil de hierro; este disco, formado por el hilo, gira en un plano en el cual corta á las líneas de fuerza de dos series de polos.

Este sistema ofrece desde luego la ventaja de que se suprime el núcleo, y con ello las corrientes parásitas y las perdidas por *hysteresis*; por el contrario, tiene el inconveniente de la multiplicidad de los polos, que aumenta el coste de la excitación de los inductores, y la dificultad de consolidar el hilo en la forma de un disco de dimensiones determinadas.

**Máquinas de corrientes alternativas.**—Hemos visto que en toda dinamo, aun en la más sencilla bipolar, la corriente inducida en la armadura sufre una inversión de sentido, al pasar por la línea de conmutación, y que si el colector está dispuesto simplemente para recoger la corriente de cada mitad del inducido, en el circuito exterior circularán corrientes que invertirán su sentido una vez por cada vuelta del inducido; de modo que la diferencia de estas dinamos con las de corrientes continuas, está en la disposición del colector; sencilla en las de corrientes alternativas, y mucho más complicada en las de dirección constante.

Por su sencillez se adoptaron primeramente los tipos de alternativas; pero se abandonaron porque las primeras aplicaciones industriales de las dinamos exigían corrientes continuas; pero después que se ha conseguido que el período de alternativa sea tan rápido en el circuito exterior, que no afecte al sentido de la vista de un modo ofensi-

vo, se han vuelto á adoptar, porque además de la sencillez de su colector, ofrecen la ventaja de producir corrientes de alta tensión, cuyos efectos eficaces alcanzan á más distancia que las continuas.

En la práctica se puede hacer variar el período de alternativa de la corriente desde 40 á 140 veces por segundo. Pero esto obliga á variar el inducido respecto de la dinamo de corriente continua; en efecto, para que el período de una dinamo de armadura de anillo, tambor ó disco, diese 140 cambios de sentido de corriente por segundo, sería necesario imprimir al inducido tal velocidad, que no se mantendría la rigidez del devanado. Ha sido, pues, necesario para tal frecuencia, dividir el inducido en muchas bobinas distintas, que pasan sucesivamente por campos magnéticos de direcciones opuestas. En resumen, que el carácter distintivo de su construcción es la multiplicidad de inducidos y de polos.

Ahora, por la forma de estos inducidos múltiples se dividen en alternadores de inducido de disco, de tambor y de anillo, de cuya descripción se prescinde, pues viene á ser en conjunto como las de nombre análogo continuas, con las modificaciones necesarias para soportar rígidamente las grandes velocidades y acomodarse á la multiplicidad de polos; la disposición de su colector.

Con respecto al modo de excitación, unos tipos han conservado los imanes permanentes, por la seguridad de su función (como las del sistema Meritens) destinada á producir la luz de los faros; otros, en general, tienen sus electros excitados independientemente de la corriente principal y por medio de una excitatriz de corriente continua.

Porque si bien algunos tipos de máquinas tienen la auto excitación, es decir, que sobre los electros se envía alguna parte de las corrientes inducidas alternativas que se producen, convenientemente enderezadas para que sea continua, por medio de un conmutador especial, pero en las grandes dinamos de poderosa fuerza electromotriz, la complicación de la auto inducción, puede ofrecer peligros, y para evitarlo se recurre á ejercer la auto inducción por una corriente secundaria de que se hablará al tratar de los transformadores.

En el sistema de inducido de los alternadores son de importancia las pérdidas por las corrientes parásitas y por hysteresis, y sobre todo en el hilo inducido, las primeras son más importantes que en las de corrientes continuas; proveniente este defecto de la multiplicidad de polos.

De los tipos más usados de máquinas alternativas citaremos los nombres de las de los constructores Siemens, Lambotte, Lachaussé



Gaus y Compañía, de período el más largo, 42 por 1"; Westingshouse, y por último las de período más corto 132 por 1" las del sistema Thomson Ferranti. Estas tienen 10 núcleos fijos en una rueda y los inducidos en número de 20 bobinas van por el exterior; el conductor que les forma es una cinta de cobre desnudo, separadas sus espiras por una fibra de lana volcanizada, y el todo devanado en un núcleo de bronce, muy dividido para evitar las corrientes p[ar]asitas; además las bobinas están barnizadas con goma laca y separadas del disco unido al árbol en que se apoyan, por aisladeros de porcelana; su excitación es independiente.

Las mayores dinamos alternativas hasta ahora construídas son del sistema Ferranti; pues en Londres las hay movidas por un motor de 5000 caballos que puede alimentar 100000 ex lámparas de incandescencia.

## LECCION 46

### Asociación de las dinamos y dinamos receptoras

Las dinamos se asocian como las pilas, á saber: en *serie* y en *tensión*: los bornes de estas máquinas, son como los tornillos en que terminan los reóforos de aquellas fuentes eléctricas; y por tanto á lo dicho en la p[á]g. 253 nos referimos. Aquí, sin embargo, hay que tener en cuenta la clase de excitación de las dinamos que se han de asociar.

Sin entrar en muchos detalles, diremos que las excitadas en serie, pueden asociarse en tensión, sin dificultad; pero si están excitadas en serie, su agrupamiento en tensión hay que hacerle, cuidando de que la polaridad de los inductores de una de las dinamos no se invierta, pues en la que esto ocurriese serviría de rémora, ó sea de contra-electromotriz, en vez de sumar su energía de corriente con las otras. Análogas precauciones hay que tener en cuenta en la asociación de las excitadas *Compounds*.

Los alternadores pueden también asociarse como las máquinas de corriente continuas en derivación, con lo cual los que estén de repuesto en una estación central, pueden irse añadiendo á las activas según la demanda de energía en el circuito exterior.

**Dinamos receptoras.**—Llámanse así á las dinamos destinadas á transformar la energía eléctrica que reciben por una corriente, en energía kinética ó de movimiento, es decir, que la dinamo se convierte en motor.

El hecho fundamental para esta transformación de energía de corriente eléctrica en energía de movimiento, es que todo conductor, por el que circule una corriente eléctrica, si se sitúa en un campo magnético, está solicitado á moverse paralelamente á sí mismo. En cuanto al sentido de su movimiento se averigua por la regla siguiente: que es la recíproca de la de Faraday; si el observador se pone paralelo al conductor, mirándole y que la corriente que por éste circula le entre por los pies y además las líneas de fuerza que corta le entren por los ojos, el hilo conductor será solicitado á moverse de su izquierda á su derecha. Análogamente á la regla de Faraday, si varía la dirección del campo ó la de la corriente del hilo, invertirá el sentido de la regla, y si varían los dos, no se alterará; la verificación de esto puede servir de ejercicio.

Estos hechos se realizan en una dinamo, poniendo en comunicación sus *bornes* con una corriente eléctrica. Si la diferencia de potenciales creada es constante, la dinamo toma un movimiento de rotación, que queda uniforme cuando se igualan el efecto motor y el par de resistencia.

Esto ocurre en las máquinas de corrientes continuas y por eso se dice que son *reversibles*, y cuando se emplean como motores se llaman *Electromotores*.

También se han inventado recientemente los motores de corrientes alternativas, cuya descripción no es de este lugar.

Esta reversión hizo pensar en el problema de la trasmisión de la energía á distancia, por medio de la electricidad, cuya solución es de grande utilidad en muchos casos.

La aplicación de la trasmisión se tiene, por ejemplo, cuando la fuerza mecánica de un salto de aguas, ó de una máquina cualquiera, se quiere aprovechar lejos del lugar en que está; ó cuando desde un centro de energía eléctrica se quiere enviar á distintos lugares parte de ella, ó sea distribuirla.

Si se quiere aprovechar la fuerza que hay en un lugar y trasportarla á otro donde ha de surtir sus efectos, se ponen dos dinamos en comunicación por la línea eléctrica, una en cada estación; la una es puesta en movimiento por la fuerza disponible, y la transforma en corriente; la otra recibe esta corriente y la transforma en movimiento. De

modo que la primera funciona como *generatriz* y la segunda como *receptriz*.

Si lo que se quiere es distribuir por muy distintos lugares la energía de un motor central, se dispone de modo que éste ponga en movimiento en la estación central tantas dinamos generatrices como hagan falta y éstas envían la corriente por sus distintos circuitos para distribuirse á los motores, y demás medios de aprovechamiento de la energía eléctrica, que hagan falta.

*De las pérdidas de trabajo mecánico por su transformación en energía eléctrica.*

Si con toda la exactitud posible se mide en una dinamo, por una parte la energía mecánica que se necesita emplear para mover el árbol del anillo, y por otra la energía total eléctrica que produce, existe siempre una diferencia que es el trabajo perdido en fenómenos que ineludiblemente se producen, unos de origen mecánico (frotamientos de las diversas partes en movimiento, resistencia del medio, trepidaciones, ruidos), y otras de origen eléctrico (corrientes parásitas, auto inducción, ondulación de las corrientes), cuya determinación exacta no puede hacerse por su complejidad, por medio de una fórmula; queda el medio de, en cada dinamo, determinar las pérdidas por la diferencia entre el total trabajo mecánico empleado, y la total energía eléctrica, bien determinados.

Cuando una dinamo funciona como *generatriz*, el número que indica la relación (cociente) entre la energía eléctrica y el trabajo empleado, se llama *coeficiente de transformación*; es variable con muchas condiciones de la función de la máquina. En las mejores máquinas y condiciones este cociente (siempre menor que la unidad) pues siempre el dividendo (energía eléctrica producida) es menor que el denominador ó divisor (trabajo mecánico empleado) ha llegado á 0,97; por lo regular es de 0,87 en favorables condiciones.

Cuando la dinamo actúa como *receptriz*, es decir, cuando la energía eléctrica que recibe, la trasforma en trabajo mecánico, también hay pérdidas por las causas señaladas; pero entonces el coeficiente de transformación es el inverso del caso anterior, es decir, que el numerador ó dividendo de la relación es la total energía eléctrica recibida, y el denominador ó divisor es el total trabajo mecánico producido: próximamente este coeficiente, variable también como el de las generatrices, con muchas circunstancias, se puede tomar como su valor medio en buenas condiciones el número 0,87.

Debe tenerse muy en cuenta, al hacer las experiencias para deter-

minar en cada caso el coeficiente de transformación de una dinamo, que esté bien engrasada y limpia, porque entre las barras del colector se deposita un polvo metálico proveniente del desgaste de las escobillas por el roce, que establece una comunicación eléctrica entre ellas que disminuye notablemente la intensidad de la corriente en el circuito exterior.

## LECCIÓN 47

### Sistema de unidades electromagnéticas.—Generalidades preliminares

2.76. Un sistema de medidas es un conjunto ordenado de porciones definidas de las magnitudes que se tratan de comparar, (á cuyas porciones se llaman unidades) de las relaciones que entre ellas existen y de sus múltiplos y submúltiplos.

La comparación no siempre es directa entre la magnitud y la unidad; de ello nos ofrece claro ejemplo la Geometría. Si se trata de medir una recta, la comparación es directa con la unidad metro: hay que ver cuántas veces la recta contiene al metro, ó á alguno de sus múltiplos ó submúltiplos; pero si se trata de medir superficies ó volúmenes, aunque en el sistema existen definidas las unidades de superficie y volumen; pero como se tienen descubiertas las relaciones matemáticas de las medidas de las superficies y volúmenes, y las de las rectas que constituyen sus dimensiones, de aquí el que no tengamos que medir directamente un paralelogramo ó esfera con el cuadrado ó cubo unidad, una vez que sepamos los teoremas que expresan las relaciones entre el área y la base y altura, ó el volumen y las dimensiones de la esfera.

Lo mismo acontece en el sistema de medidas para las magnitudes electromagnéticas.

El sistema de sus medidas constará, pues, de una serie de unidades, homogéneas con los diversos conceptos cuantitativos, ó magnitudes electromagnéticas que se consideren, sus relaciones matemáticas, y la ley de sus múltiplos y submúltiplos.

Por otra parte, todo sistema de medidas en que las unidades están

arbitrariamente escogidas, se llama absoluto, y el patrón de esas medidas, es el que representa la unidad; estos patrones se procura que sean en corto número, para lo cual las unidades *independientes* se han limitado á las menos posibles, y éstas se han reducido á tres, por las cuales se define todo espacio, y son la *longitud*, la *masa* y el *tiempo*.

Aunque estas consideraciones son generales, pero antes de convenir en los patrones para estas tres unidades, había gran confusión entre los físicos, por lo que en 1881 se reunió un Congreso en París para convenir:

- 1.º Los patrones de las tres unidades independientes.
- 2.º Los de las diversas unidades derivadas de ellas.
- 3.º Los nombres de esas unidades y la ley de sus múltiplos y submúltiplos.

El Congreso realizó su propósito, eligiendo para unidad de longitud el centímetro, para unidad de masa el gramo y para unidad de tiempo el segundo. Por eso se llamó al sistema, del centigramo gramo segundo, y se designa con las iniciales C. G. S.

De estas tres derivó todas las demás unidades, mecánicas de sonido, calor, luz y electricidad, les dió nombres y estableció la ley de sus múltiplos y submúltiplos, y quedó establecido un *sistema general absoluto de medidas para todas las magnitudes, que se llamó del C. G. S.*

Pero se encontraron los autores de tal sistema, con que las medidas que habían establecido para las magnitudes electromagnéticas, no eran *apropiadas* para medir las cantidades de esta especie que en las aplicaciones *prácticas* ocurría estimar, y entonces tuvieron que formar un nuevo sistema de medidas electromagnéticas, que llamaron *práctico*, en el cual las unidades son múltiplos ó submúltiplos de las del *teórico*, con lo cual no se alteraba el propósito de unificar las medidas, toda vez que las de este práctico vienen á fundarse por dos derivaciones en las tres independientes C. G. S.

En la exposición que vamos á hacer del sistema *práctico de unidades electromagnéticas*, sólo comprenderá las más usuales, explicando los conceptos cuantitativos á que se refieren, los nombres de las unidades, las que son independientes y las relaciones matemáticas de las que son funciones de otras, y la ley de sus múltiplos y submúltiplos.

Las magnitudes eléctricas que más usualmente ocurre medir son cinco, á saber: La *cantidad*, á la cual llamaremos C; la *fuerza electromotriz*, E; la *capacidad*, K; la *intensidad*, I, y la *resistencia*, R.

Cada una se refiere á un concepto cuantitativo eléctrico, ó magnitudes eléctricas, entre las cuales existen tres relaciones matemáticas

sencillas, por lo que tres de estas unidades dependen de las dos restantes: estas relaciones son:

1.<sup>a</sup> La ley de Ohm que se expresa  $I = \frac{E}{R}$ .

La segunda es la definición de intensidad, á saber:  $C = I \cdot t$ .

La tercera es la definición de capacidad  $C = K \cdot E$ .

Con estas tres relaciones, una vez que se fijen los etalones de fuerza electromotriz  $E$  y de resistencia  $R$ , las otras tres unidades son funciones de esas dos.

La unidad teórica de magnetismo, ó unidad de polo, es aquella cantidad de magnetismo que, puesta á la distancia de un *centímetro* de otra igual, la repele con la fuerza de una *dyna*; cuya fuerza equivale á  $\frac{1}{980}$  de gramo, ó sea próximamente de un *miligramo*.

Como toda cantidad de magnetismo constituye un polo magnético, á la unidad antedicha se le llama también polo unidad; si éste se coloca cerca de un imán, y es atraído ó repelido con la fuerza de una *dyna*, se dice que en tal lugar la intensidad del *campo magnético* creado por ese imán es la *unidad de campo*. Es claro, que si la fuerza con que es atraída ó repelida la unidad de magnetismo fuese de 2, 3...  $n$  dynas, se diría que la intensidad en aquel lugar del campo es de 2, 3...  $n$  unidades de campo.

Con estas unidades se miden las intensidades de los campos magnéticos de las dinamos.

La unidad práctica para la fuerza electromotriz, se llamó el VOLT.

**Concepto cuantitativo que se mide con el Volt.**—El concepto en general de fuerza electromotriz es toda causa capaz de producir un movimiento de electricidad.

Así, toda diferencia de potenciales está producida por una fuerza electromotriz, á la cual sirve de medida.

Esta unidad práctica es  $10^8$  veces la teórica.

Para formarse idea de lo que es el Volt, se tienen los ejemplos siguientes:

1.<sup>o</sup> Un elemento normal de Daniel desarrolla próximamente la fuerza electromotriz de 1 Volt (más exactamente 0,93).

2.<sup>o</sup> Un elemento Lartimer Clark, de sulfato mercurioso, desarrolla casi exactamente 1 Volt.

Los múltiplos y submúltiplos sistemáticos del Volt no ocurren generalmente en la práctica; pero se formarían anteponiéndole las

2.77.

palabras *deca*, *hecto*, *kilo*, *miria* y *mega* =  $10^6$  para los primeros, y *deci*, *centi*, *mili*, *micro* =  $10^{-6}$  para los segundos.

Los etalones prácticos para la fuerza electromotriz se llaman Voltmetros, para ello se aprovechan los carretes de los galvanómetros, cuando (como sucede en muchos casos) su inserción en derivación con los circuitos, no altera mucho la diferencia de potenciales entre dos puntos dados. En tales casos, el producto de la corriente por la resistencia mide la diferencia de potenciales buscada. El amperómetro de Cardeuw y en general todos los galvanómetros cuyo hilo sea fino y tenga mucha resistencia se emplean para este uso y llevan graduados en volts sus limbos.

La unidad *práctica* de resistencia de los conductores es el *Ohm*.

**Concepto cuantitativo que se mide con el Ohm.**—Toda substancia conductora ofrece cierta dificultad á ser recorrida por una corriente eléctrica, dificultad que se expresa por un número variable para cada substancia, pero tal, que multiplicado por el cuadrado de los amperes de la corriente de que se trate, da las calorías en que se trasforma parte de la energía eléctrica de la corriente. Ese número variable con las substancias, es el que se llamó resistencia.

El Ohm práctico es  $10^9$  veces mayor que la *unidad teórica* de resistencia.

De lo que es el Ohm práctico nos podemos formar idea por los hechos siguientes:

1.º La resistencia que ofrece al paso de la corriente un prisma de mercurio de 106,30 centímetros de largo y á 0º C.

2.º O un alambre de cobre de 50 m. y  $1 \text{ m}^2$  de sección.

El aparato etalón de resistencias consiste en un tubo de vidrio, bien calibrado, que termina en sus extremos por cuellos largos, en los cuales entran los electrodos amalgamados, que ponen el mercurio del tubo en comunicación con un circuito exterior.

También se hacen etalones de metales sólidos, pero entonces hay que emplear las aleaciones para evitar las variaciones de resistencia por el calentamiento del metal.

La unidad práctica de intensidad de corriente, se llamó el *Amperere*.

**Concepto cuantitativo de intensidad de una corriente eléctrica.** Si dos puntos de un conductor están á potenciales diferentes, se forma un campo eléctrico, cuyas líneas de fuerza van del punto de potencial más elevado al más bajo, la electricidad, trasladándose según

las líneas de fuerza, constituye un flujo de este agente que se admite que es proporcional al de la fuerza que va por la línea de fuerza; si ahora se considera este flujo por toda la sección de un conductor en un segundo, á esto es lo que se llama *intensidad de la corriente*; se toma por sentido del transporte el que sigue, la electricidad positiva.

Con respecto á la unidad teórica de resistencia, es el Ampere  $10^{-1}$  ó sea  $\frac{1}{10}$

Nos podemos formar idea práctica del Ampere por los ejemplos siguientes:

1.º Tiene de intensidad 1 Ampere la corriente que en un electrolito de sal de plata deposita 1,118 mmg. en un segundo.

2.º En un electrolito de sulfato de cobre deposita en un segundo 0,327 mmg.

3.º Es la 10,54 de intensidad de aquella corriente que en el voltámetro, da en 1 minuto un  $cm^3$  del gas explosible, al descomponer el agua.

Las corrientes de los telégrafos son de 1 á 10 amperes; las de la luz eléctrica de 1 á 60 y las más intensas en la electrotecnia no llegan á 10 kilo-amperes: por esto los múltiplos sistemáticos no se usan.

Siendo en la práctica muy común é importante tener que estimar los amperes de intensidad de una corriente, se han construído muchos etalones de medidas que, insertos en un circuito, *cuenten* y dejen señalados cuantos pasan en un tiempo dado, y si éste es de una hora se forma una unidad usual llamada *ampere-hora* y en ella se gradúa el instrumento. Entre los muchos construídos hasta ahora y todos ellos poco exactos, el que más suele usarse en la electrotecnia es el llamado Amperómetro de lectura directa, mediante el desplazamiento del índice del instrumento sobre un cuadrante graduado en amperes.

En la generalidad de ellos, su mecanismo consiste en una pieza de hierro móvil alrededor de un eje, y sometida á la acción de un campo magnético, producido por el carrete cuyas espiras recorre la corriente, cuya intensidad se trata de medir; la pieza de hierro tiende á colocarse en la región del campo, cuya intensidad es un máximo.

Uno de los modelos de esta clase más usados es el de Desprez y Carpentier, ó el de Hummel.



También existen los de balanza de W. Thomson, ó los fundados en el efecto Joule, contruídos por Cardeuw y el de registro gráfico de Richard.

La unidad práctica de *cantidad de electricidad* se llamó *Coulomb*; se define considerando que es la cantidad de electricidad que pasa en un segundo, por un conductor de 1 ohm de resistencia en virtud de una fuerza electromotriz de 1 volt.

Esta unidad es respecto á la teórica  $10^{-1}$  ó  $\frac{1}{10}$ .

Su relación con las prácticas de intensidad y tiempo es 1 Coulomb = 1 Ampere  $\times$  1 segundo.

Como hecho práctico nos podemos formar idea del Coulomb por la cantidad de electricidad de aquella corriente que atravesando una disolución de sulfato de cobre precipita 0,0034 de metal en un segundo.

La unidad práctica de capacidad eléctrica se llamó el *Faraday*.

Esta unidad es  $10^{-9}$  ó sea  $\frac{1}{10^9}$  de la teórica del C. G. S., ésta se define por el concepto siguiente:

Un conductor en presencia de otros que pueden mantenerse al mismo potencial, tiene siempre una relación constante entre la carga que recibe y el potencial á que está: al número que expresa esa relación constante se llama «Capacidad del conductor» y unidad de capacidad es la carga que eleva su potencial en *uno* respecto del potencial de los conductores que le rodean.

Uno de los múltiplos más usados es el *microfaraday*.

La unidad de *trabajo eléctrico* es el Joule; esta unidad práctica es  $10^7$  veces la teórica del sistema del C. G. S.

Se define diciendo que el Joule es la energía empleada durante un segundo por un amper con resistencia de un ohm.

El múltiplo más usado es el mega Joule.

La unidad práctica de potencia eléctrica es el Watt, con respecto á la teórica del sistema del C. G. S. es  $10^7$  veces mayor y se define diciendo que el Watt es la potencia de una corriente que emplea un Joule en un segundo.

Uno de los múltiplos más usados del Watt es el Kilo Watt, que ha sustituido al caballo de vapor y vale 1,36, para la estimación de la potencia de las máquinas motoras.

Se usa también el Wattmetro para el trabajo realizado por la electricidad.

Se habrá notado que en estas medidas, la unidad de masa es

pequeña y la unidad de longitud es grande y esto ha inducido á pensar si la causa de los fenómenos eléctricos será una masa pequeña que se mueve con una gran velocidad.

## LECCION 48

### **Aplicaciones del electromagnetismo y corrientes inducidas.**—

La fuerza electromagnética, ha recibido tan numerosas aplicaciones, que ellas solas constituyen el contenido de una ciencia que se llama la *Electrotecnia*; imposible sería en estas breves nociones dar noticia de todas, algunas nombraremos y de otras daremos más detallada noticia, por la generalidad que afectan en su aplicación.

De las primeras, se pueden citar los aparatos técnicos para el aviso de incendios, para evitar el choque de los trenes, para aviso de peligro en los generadores de vapor de agua, para apreciar la presión de los gases, para vencer la inercia en las máquinas, para la electrometalurgia que comprende la galvanoplastia y galvanostegia, la refinación de metales, tratamientos de minerales y de los sulfuros de cobre en particular, para los telégrafos y teléfonos, para el alumbrado eléctrico, para la tracción de carruajes, etc. etc.

Sólo nos detendremos en reseñar las aplicaciones al alumbrado eléctrico, telégrafos, teléfonos y telémetros. Las demás pueden verse en los tratados de electrotecnia.

**Luz eléctrica.**—Si dos puntas de carbón de retorta se ponen en comunicación con una batería galvánica de 50 elementos Bunssen ó con una Dinamo de no menor energía en su corriente, y en contacto una con otra, se produce una incandescencia en ellas, despidiendo una luz vivísima, y se pueden separar algo los carbones sin que se interrumpa la corriente ni la iluminación producida.

Solamente entre las puntas enrojecidas al blanco de ambos carbones, se forma un arco de luz que deslumbra, y al cual se llama «arco Voltaico» ó «arco de Davy,» que fué su inventor.

La alta temperatura á que llegan las puntas, hace que se desgasten pronto, aun cuando se usen carbones de retorta, observándose que el carbón positivo se consume muy pronto, formándose en él una especie de hueco ó concavidad; el negativo, por el contrario,

tarda más en consumirse, casi el doble, y parece como que se aguza; demostrándose con esto el transporte de partículas de uno á otro polo.

La intensidad de la iluminación no es la misma en todas las partes del arco luminoso. En el polo negativo es más deslumbradora que en el positivo, y en ambos mucho más que en su centro ó cuerpo, en el cual el poder luminoso no es grande.

El arco varía mucho de forma y figura, con la menor alteración en la distancia de las puntas. También varía con la materia de que están hechas; así en las de metales fácilmente oxidables, como zinc ó hierro es de más magnitud que en las del platino ó plata. También es mayor en las substancias más fáciles de desagregar, y se comprende sin dificultad que así debe de acontecer por estar en éstas más favorecido el arrastre de las partículas; por eso las mejores puntas para obtener arcos mayores (iguales las demás circunstancias) son las de carbón.

Si se aumenta la distancia de las puntas más allá de cierto límite para cada corriente, el arco se apaga por la interrupción de ésta.

Las corrientes hidroeléctricas no son enérgicas y cuando se aumenta extraordinariamente el número de elementos, pueden obtenerse arcos luminosos intensos; 10 pares de Bunssen no dan en los carbones más que un punto luminoso; de 30 á 50 ya producen una iluminación análoga á la lámpara de calcio de Drumond. Así que mientras no se conocían fuentes más enérgicas de electricidad, el empleo de la luz eléctrica como medio de iluminación se limitaba á casos extraordinarios, y más bien como curiosidad que con un fin útil.

El descubrimiento de las máquinas dinamoeléctricas, por el poder de sus corrientes, dió lugar á pensar en emplearlas para alumbrado público.

Otra de las dificultades que á este uso se oponían, eran las alteraciones y cambios de intensidad de la luz por la variación de distancia de las puntas, á causa del desgaste. Preciso era un mecanismo que los conservase á igual distancia constantemente. Los inventados con este objeto, se llamaron *reguladores* y su número es muy grande y de distintos sistemas. Los más usuales son los llamados **LÁMPARA DIFERENCIAL DE SIEMENS** y **REGULADOR DE GRAMME**.

En la lámpara de Siemens la misma corriente que pone incandescentes las puntas, regula su distancia.

Consiste su mecanismo, que esquemáticamente se representa en la fig. 250, en lo siguiente: los carbones  $K_1$  y  $K_2$  están verticalmente uno sobre otro; el superior va en el extremo del brazo  $a$  de una palanca giratoria en  $c$ ; el otro brazo  $b$  lleva en su extremo  $S$  un vástago cilíndrico de hierro, cuyo extremo inferior va dentro de una espiral ó bobina de alambre grueso, y el superior en una de alambre muy delgado. La corriente que viene por el conductor  $L_1$  de la máquina, se divide en  $d$  en dos partes: una va por la bobina  $R_2$  de alambre

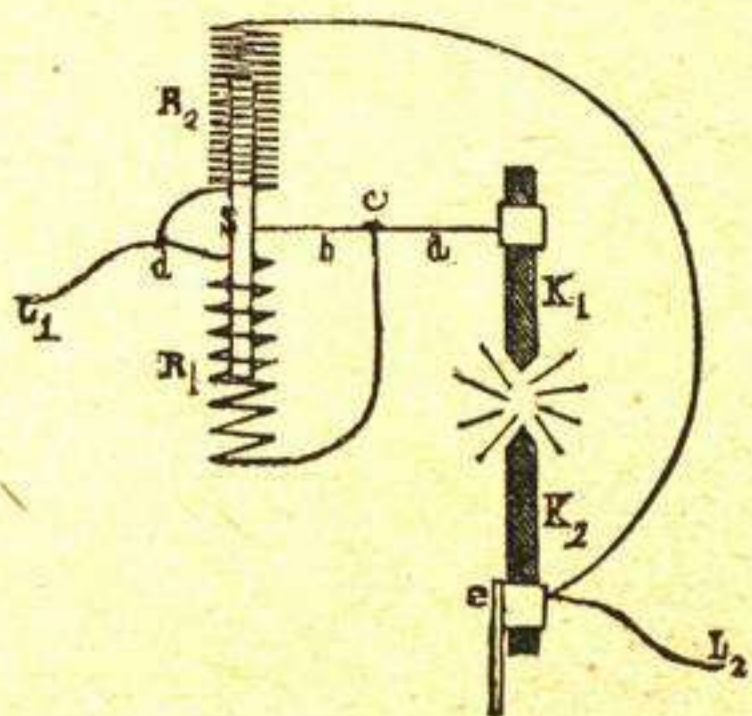


Fig. 250.

delgado y resistente, y recorre el trayecto  $dR_2e$  y por  $L_2$  marcha á la lámpara siguiente; la otra parte, después de pasar por la bobina  $R_1$  de alambre corto y grueso, corre á través de la palanca  $ba$  y del arco voltaico también á la que le sigue, uniéndose así otra vez en  $L_2$ .

Estas fracciones de corrientes no son de igual intensidad; la más débil atraviesa un circuito de resistencia, fija y grande, por la bobina  $R_2$ ; la más fuerte atraviesa el arco voltaico, de modo que su circuito es variable, toda vez que los carbones se consumen.

Atrayendo cada bobina á su trozo de barra de hierro con una fuerza proporcional á la intensidad de la corriente que por ellas pasa, y al número de vueltas, se comprende que para una resistencia dada del arco voltaico estén en equilibrio. Ahora bien; si los carbones por su desgaste aumentan su distancia, es decir, crece la resistencia de su circuito, predominará la acción de la bobina  $R_2$ , y al atraer la barra arrastra hacia arriba la palanca sujeta en  $S$ , lo cual produce el que se acerque la punta de  $K_1$  á la de  $K_2$ . Si, por el contrario, las puntas se acercasen más que á la distancia dada de su posición de equilibrio, la resistencia del circuito disminuiría, la barra sería arrastrada hacia abajo por predominar entonces la acción de la espiral  $R_1$ , y arrastrando á la palanca  $ab$  haría subir el carbón  $K_1$  restableciendo el equilibrio. La lámpara, pues, se regula ella misma por las alteraciones del arco voltaico. El carbón superior va sujeto por un mecanismo que le permite descender por su peso cuando debe de bajar, y estos descensos van regulados de tal modo que son casi imperceptibles y sin sacudidas; por esto y por tener el mecanismo sobre la

lámpara (fig. 251), su luz es como fija. Además puede apagarse en

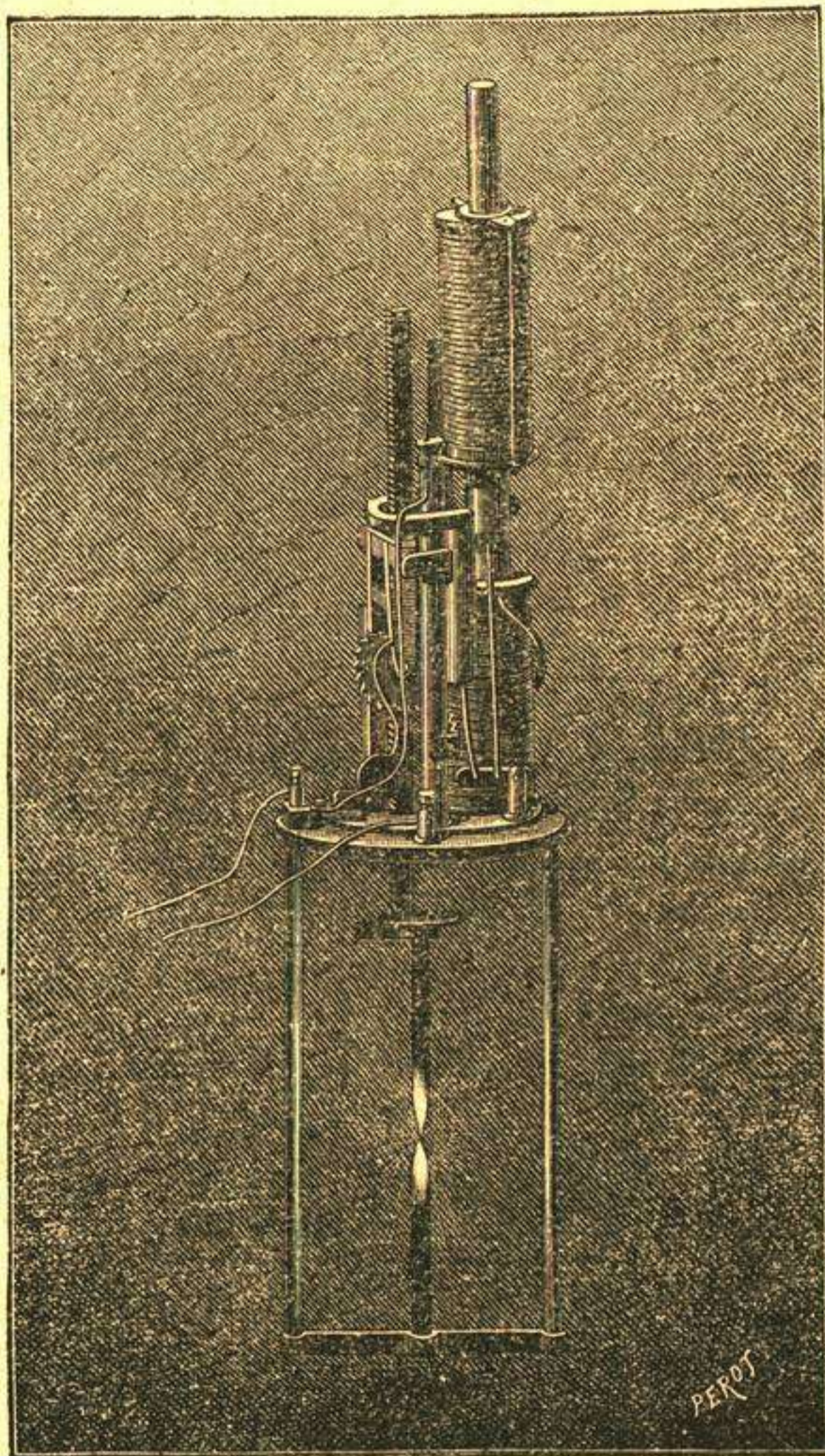


Fig. 251.

una serie de ellas una ó varias, sin que las demás se apaguen; también van dispuestas de modo que si los carbones se gastan por completo, el circuito se cierra.

También se han construído lámparas de luz eléctrica fundadas en la incandescencia á que lleva la corriente las partes del conductor muy delgadas y de gran resistencia. Edison y Marcus han inventado mecanismos apoyados en tal hecho.

La fig. 252 representa las expuestas por Edison en París, variando sólo en la forma del filamento. Consisten en un fanalito de cristal de forma arbitraria, cerrado por todas partes, y hecho en ellas el vacío, pero no completo, dentro se pone un filamento de un cuerpo que se ponga incandescente al pasar por él la corriente, en cuyo estado es cuando presta el servicio á que se les destina.

Hasta ahora no se ha encontrado una materia que no se consuma ó tarde en consumirse lo suficiente al pasar por las incandescencias sucesivas, para que su empleo sea económico.

**Trasformadores.**—Llámanse trasformadores á unos aparatos destinados á cambiar las condiciones de tensión é intensidad de una

corriente eléctrica, invirtiéndolas, es decir, que una corriente de gran tensión, pero de corta intensidad, se cambia al pasar por el aparato en otra corriente de gran intensidad y de corta tensión, ó á la inversa.

Este fenómeno inverso, ó sea cambiar una corriente intensa pero de corta tensión en otra de mucha tensión y poca intensidad, es el que se verifica en la conocida bobina de Ruhmkorff ó inductor de chispas; en ella, efectivamente, la corriente in-

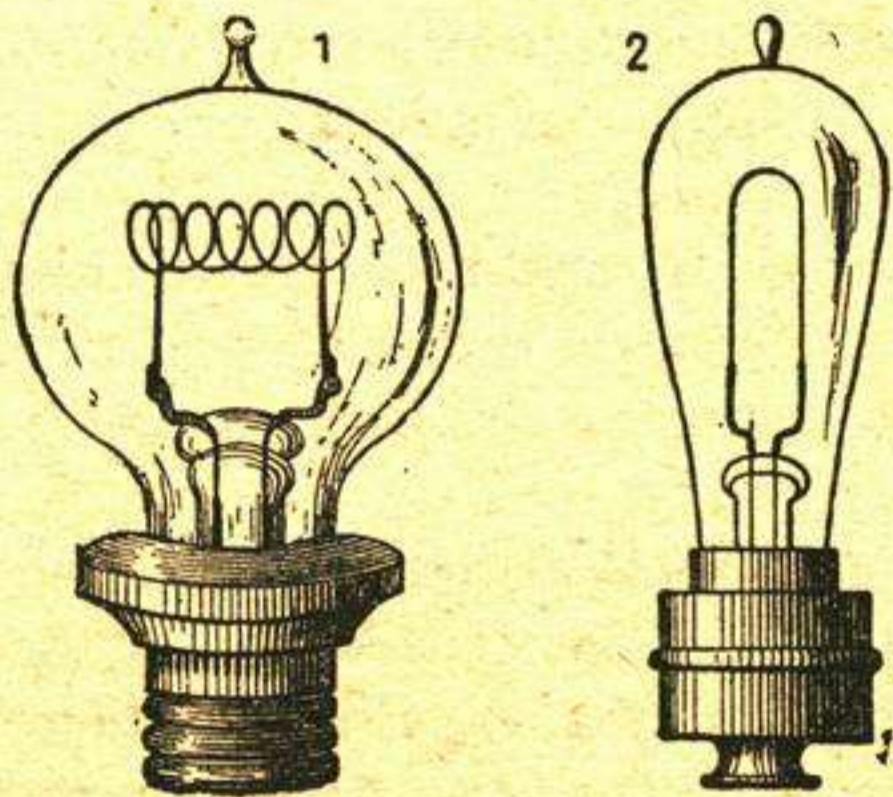


Fig. 252.

tensa de una fuente eléctrica, pero de poca tensión, que circula por un alambre primario, induce en otro alambre próximo de ciertas condiciones, una corriente secundaria ó inducida de gran tensión.

Cuando de la distribución de la energía eléctrica de las dinamos alternativas, se trata, el problema que se ofrece es inverso del que resuelve la bobina de Ruhmkorff, porque de la máquina y por los cables viene una corriente en enorme tensión, y de intensidad determinada, que al derivarla en los locales por donde se distribuye, ofrece grandes peligros en el manejo de los conductores, ó en los contactos que fortuítamente ó por descuido puedan establecerse.

Preciso era, pues, transformar estas corrientes peligrosas, en otras en que su tensión fuese corta y su intensidad grande, dentro de los domicilios en que se utilizase la energía eléctrica de las dinamos alternativas.

La resolución del problema estriba en el principio de Faraday (base de la bobina citada), ó sea en *reunir dos circuitos de tal manera que su inducción mutua sea muy grande é instantánea*, y en las condiciones indicadas del carrete Ruhmkorff, entre dos circuitos arrollados en un mismo carrete.

Ahora bien; con respecto á las condiciones de tensión é intensidad entre la corriente primaria y la secundaria, hay una inversión dependiente del grosor de los circuitos y número de sus espiras.

Si, como se dispone, la bobina de Ruhmkorff, el primario consta de alambre grueso y pocas espiras, y el secundario de alambre delgado y muchas espiras, entonces las corrientes de poca tensión y mucha intensidad, se transforma en sus inversas, como se ha dicho,

y si por el contrario, el circuito inductor es de alambre delgado y muchas espiras, y el inducido ó secundario de alambre grueso y pocas espiras, las corrientes primarias de gran tensión y poca intensidad, inducen en este alambre grueso corrientes de poca tensión y mayor intensidad.

Esto es justamente lo que se desea obtener en el interior de los domicilios, y por eso en los puntos de entroncamiento con el circuito de las dinamos se ponen aparatos trasformadores de esta segunda especie.

Con respecto al detalle de su construcción, había que evitar: 1.º, las grandes pérdidas de la energía que penetra en el circuito primario, pérdidas originadas por las corrientes parásitas en el núcleo y por la hysteresis; 2.º, que se establezca contacto directo entre el alambre inductor é inducido, porque la corriente en éste, tomada entonces por comunicación, sería tan peligrosa como en el circuito primario; y 3.º, que el trasformador, por su disposición actúe como un condensador, lo que le llevaría á una tensión peligrosa.

Respecto del primer inconveniente, aunque no se han evitado todas las pérdidas, es decir, aun cuando la corriente secundaria de condiciones invertidas, no da un total idéntico en energía eléctrica á la recibida por el alambre inductor, pero se ha conseguido que lo devuelto sea hasta un 90 por 100.

Respecto de los contactos entre inductor é inducido, para precaverse contra cualquier accidente se aísla con todo cuidado el hilo primario, separando las dos bobinas lo posible; además, para mayor precaución, siempre se debe de poner un punto del alambre secundario en comunicación directa con el suelo.

En cuanto al tercer inconveniente, sólo lo presentan ciertos modelos de trasformadores.

Dados estos principios generales, la descripción de cada modelo hasta ahora construído, está fuera de los límites, que no hemos propuesto; baste saber que los más usados son los de Gaus y Compañía, los de Westinghuse y los de Ferranti.

En resumen, el esquema de un trasformador de esta especie, consta: 1.º, de una bobina de alambre delgado y de muchas espiras, que es la que comunica con el cable general; 2.º, de otra bobina convenientemente aislada de la primera, de alambre grueso y pocas espiras, que es la que se pone en comunicación con la instalación interior; 3.º, de un núcleo de hierro, que es el circuito magnético.

Como precaución eficaz no debe de olvidarse el poner un punto

de la bobina del alambre grueso en comunicación directa con la tierra.

*L. 79.*  
**Teléfono y Micrófono.**—La indicación que hemos hecho sobre el transporte de la fuerza entre dos aparatos dinamoeléctricos, de los cuales uno actúa como aparato de inducción y el otro como motor eléctrico, es el fundamento del transporte del sonido por medio de una corriente eléctrica, en el Teléfono de Bell. Pero como aquí se trata de empleos de trabajos muy pequeños y de corrientes extraordinariamente débiles, aunque no varíe la esencia de los principios, las formas empleadas han de ser muy diferentes.

El verdadero inventor é iniciador de los teléfonos, fué Riess: sus aparatos presentaban algunos inconvenientes, que salvó con una sencilla disposición Bell, por lo cual han obtenido el éxito de que hoy gozan.

La teoría de este aparato es la siguiente, que se explica por la figura esquemática (fig. 253), SN y  $S_1 N_1$  son dos imanes de acero,



Fig. 253.

PP y P'P' dos discos circulares delgados de hierro, muy cercanos á los polos, pero con suficiente fuerza elástica para mantenerse á cierta distancia de ellos. Rodeando á los polos de ambos imanes, hay un alambre (cuyo modo de dar las vueltas, se ve claro en la figura) que forma un circuito cerrado entre uno y otro imán, los polos Nortes N y  $N_1$  inducen polos Sur s y s' en el centro de los discos.

Si, pues, el disco PP hace un movimiento, en la dirección que marca la flecha sobre el imán, su polo s se aproxima á las espiras del alambre y produce en ellas una corriente inducida de tal dirección, que se esfuerza en alejarse del polo Sur s. Esta corriente tiene la dirección que marcan las flechitas: la misma corriente pasa por el imán  $N_1 S_1$ , refuerza la acción de su polo Norte y actúa por su intermedio, como si directamente lo hiciese ella misma atrayendo el polo Sur s' del disco P'P'. De aquí se sigue, que cada aproximación del centro s del disco primero, produce casi simultáneamente una atracción del



centro  $s'$  del otro disco. Lo mismo ocurre cuando el centro del disco se retira. En resumen, que toda ida y vuelta, ó sean oscilaciones de uno de los discos, producen idénticas y casi simultáneas oscilaciones en el otro. Si, pues, se continúan las vibraciones del disco PP por medio de una forma á propósito para recibir las del sonido, claro es que el disco P' P' producirá en el aire que le rodea ondas sonoras de la misma forma, si bien de muy poca intensidad.

Ahora bien; como los sonidos del lenguaje humano y el timbre de los instrumentos de música está constituido por una serie periódica de vibraciones diferentes que se suceden en orden regular ó irregular, es claro que por este medio es posible el transporte perceptible de la voz humana; esto es, que se puede conseguir una reproducción á larga distancia de los movimientos oscilatorios del sonido por medio del doble alambre.

La fig. 254 representa una sección á lo largo del Teléfono de Bell, y poco más ó menos con las  $\frac{2}{3}$  de su tamaño común.

Consiste en un armazón de madera AA, que aloja una barra imanada NS á lo largo de su eje, que viene á apoyarse en el centro de un tornillo E que penetra algo en él, lo cual se ha hecho visible por la sección. CC es un hueco del armazón de madera, en el cual está el carrete D. Este consta de muchas vueltas, de un alambre muy fino de cobre, recubierto de seda,

cuyos extremos por  $a$  y  $b$  van á sujetarse á los tornillos  $c$  y  $d$ , en los cuales, también se sujetan dos conductores. PP es el disco circular de lámina muy delgada (como una cartulina) de hierro, la que por medio de la pieza atornillada de madera BB, queda bien sujeta

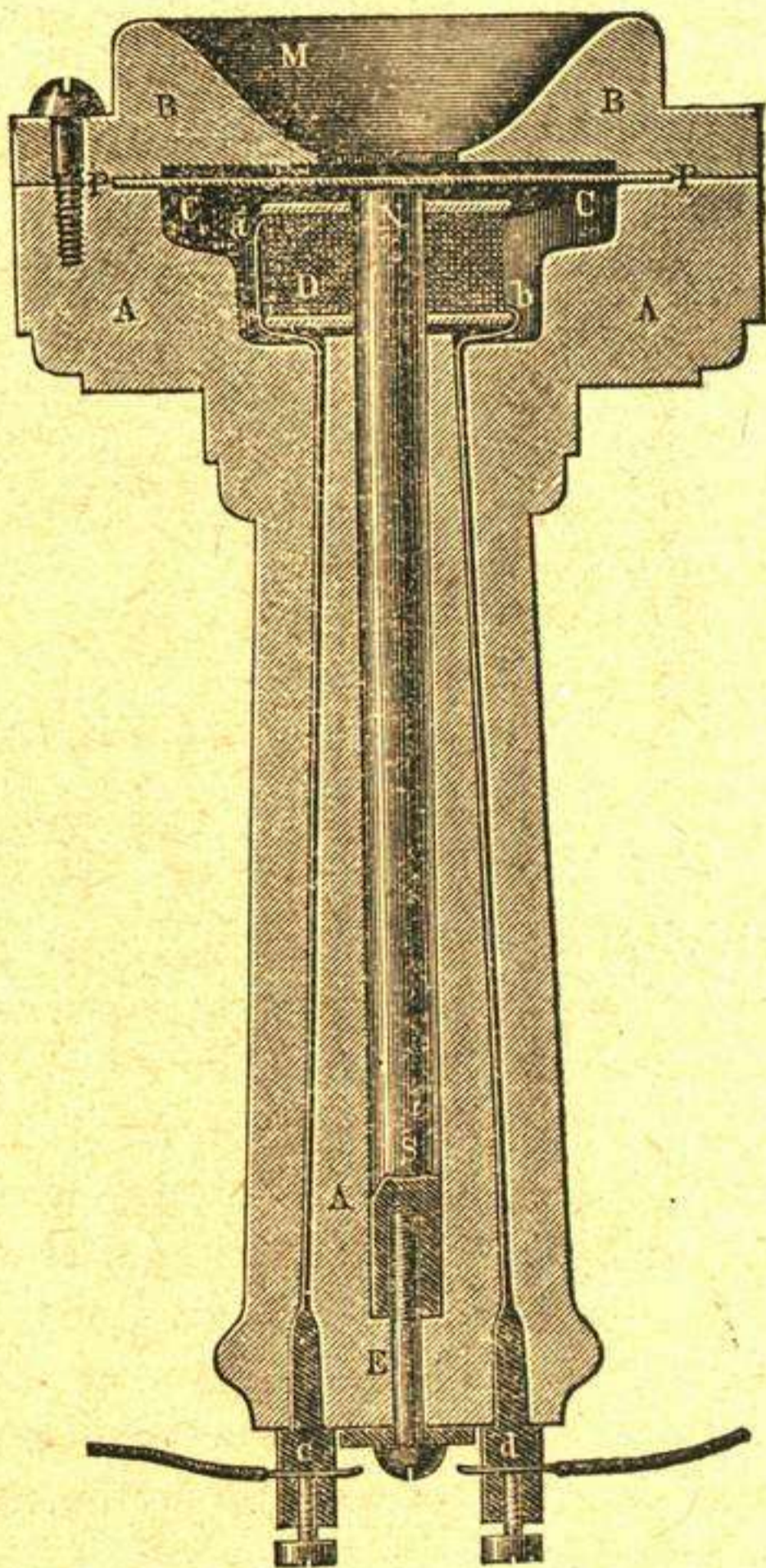


Fig. 254.

por sus bordes: esta pieza es de forma de embudo ó pabellón de bocina, la cual sirve de embocadura, y en su fondo tiene una abertura circular que viene muy cerca de la lámina de hierro; su diámetro es casi el del imán. La lámina de hierro PP está muy cerca del polo del imán, pero sin rozarlo. Dos de estos aparatos se ligan por medio de alambres aislados uno de otro y cubiertos, y constituyen el aparato completo. Si se habla lentamente y alto sobre una de las láminas de uno de los teléfonos, mientras que el otro le tiene aplicado al oído un segundo observador, éste percibe con completa distinción cada palabra y hasta puede reconocer por una cierta analogía de timbre la persona que habla.

El Teléfono de Bell se ha perfeccionado por muchos conceptos, concurriendo todas las mejoras á producir sonidos más perceptibles. Además, se le han añadido mecanismos auxiliares para que en las estaciones de recibo sea más amplia la percepción de las señales.

Entre estos auxiliares está el aparato de llamada, el cual es independiente de los teléfonos, y simplemente aparato de señales telegráficas. Los mecanismos más importantes que se unen á los teléfonos son los que tienen por objeto reforzar la producción de los sonidos.

Estos aparatos se llaman *micrófonos*. Se diferencian de los teléfonos esencialmente, en que por sus propias vibraciones no producen la corriente, sino que varían las resistencias del circuito por el cual atraviesa aquélla.

Los micrófonos son de construcciones muy variadas y en general muy sencillos.

La figura 255 representa uno de los más simples.

Sobre una caja de madera A que sirve de resonador, se ponen dos barras de una substancia conductora cualquiera, por ejemplo dos agujas, y mejor dos barras de carbón de retorta *b'b'*, y atravesada sobre ellas una tercera barra *c*. Las dos primeras *b* y *b'* se unen con los alambres de un teléfono T, y se inserta en cualquier parte del circuito un elemento Bunssen. En tanto que en el espacio que rodea á la caja A, existe un silencio completo, la resistencia en el contacto de las barras es la misma, y la intensidad de la corriente es constante. Pero el más pequeño roce con la caja A, por ejemplo el vuelo de una mosca por encima, la conversación cerca de ella, etc., produce vibraciones en las barras, las cuales modifican sus contactos que varían á su vez la resistencia con ritmo análogo al que sigue en sus vibraciones la onda sonora. Con esto varía la intensidad de la corriente en el alambre, y por consiguiente, el mag-

netismo del teléfono, con lo que las vibraciones de la placa de hierro se modifican, y por último, éstas se comunican al aire. Los so-

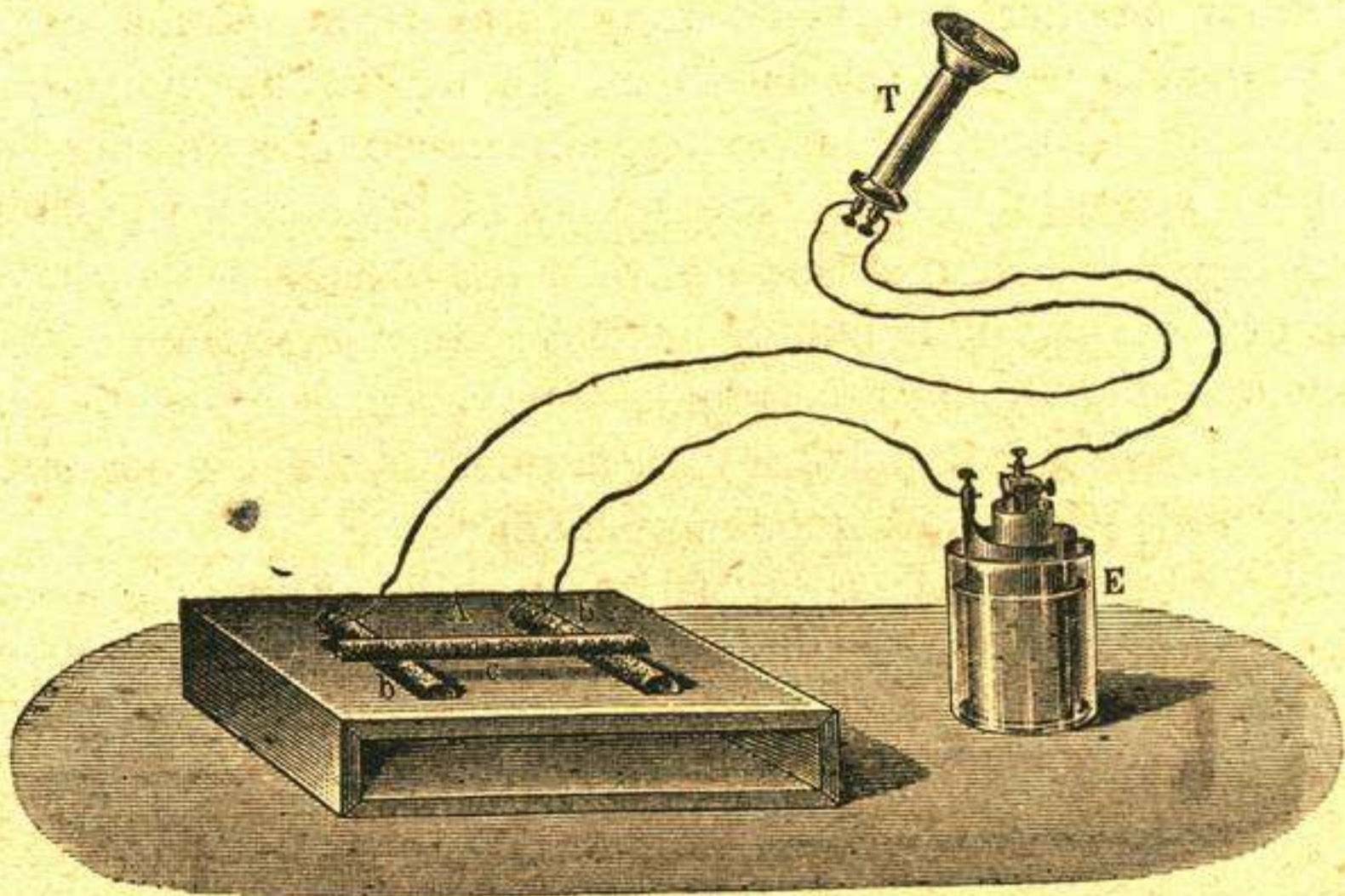


Fig. 255.

nidos que con esto producen los teléfonos, son mucho más intensos que los que produciría sólo un teléfono en otro; pues fácilmente se conoce que las variaciones de la corriente son más considerables. Pero no se consigue reproducir tan fácilmente el timbre y carácter de la impresión sonora de la estación de partida ó despacho. Para conseguir esto, no fué difícil que se ocurriera regularizar las presiones en los contactos de las barras. La figura 256 es un micrófono aislado de tamaño natural, muy adecuado para esto y construído por A. Weinhold. Consiste en haber puesto sobre la caja resonadora primeramente, una bisagra de latón S, sobre la cual se sujeta una columna aisladora de madera ó goma laca BB. Este lleva atravesadas horizontalmente dos barras de carbón *bb'* de unos cuatro centímetros de largo: la tercera barra, vertical y de carbón de retorta, atraviesa por un taladro la barra horizontal inferior, y penetra en un agujero hecho en la superior.

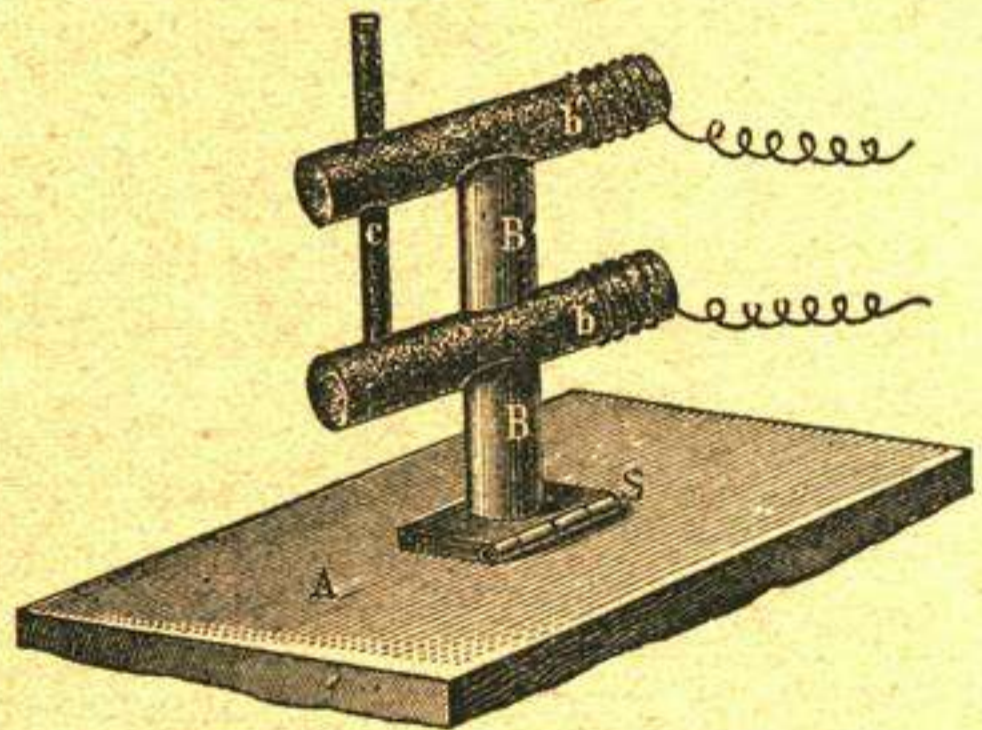


Fig. 256.

Los alambres de comunicación se ponen como en la fig. 255. Se-

gún la inclinación que se dé á la columna BB, se regula la presión que la barra vertical ejerce en sus apoyos, hasta que el aparato funcione lo mejor posible, lo cual se consigue con la experiencia.

Con un micrófono bien construído se puede, á la distancia de 300 kilómetros, entender una conversación. Este aparato se presta bien para las observaciones de los terremotos y otras muchas experiencias interesantes.

Las redes telefónicas montadas en algunas ciudades muy populosas, emplean generalmente como trasmisor y receptor el de *Ader*.

El receptor de Ader (generalmente doble) es un teléfono magneto-eléctrico con ciertas modificaciones, para reforzar sobre la placa la acción de la corriente de inducción; lleva con ese objeto entre la placa vibrante y embutido en la base del pabellón un anillo de hierro dulce llamado *sobreexcitador*, que endereza las líneas de fuerza de la acción magnética, en sentido perpendicular á la placa. Su figura es la representada en la fig. 257, en la cual A es el imán cuyos extre-

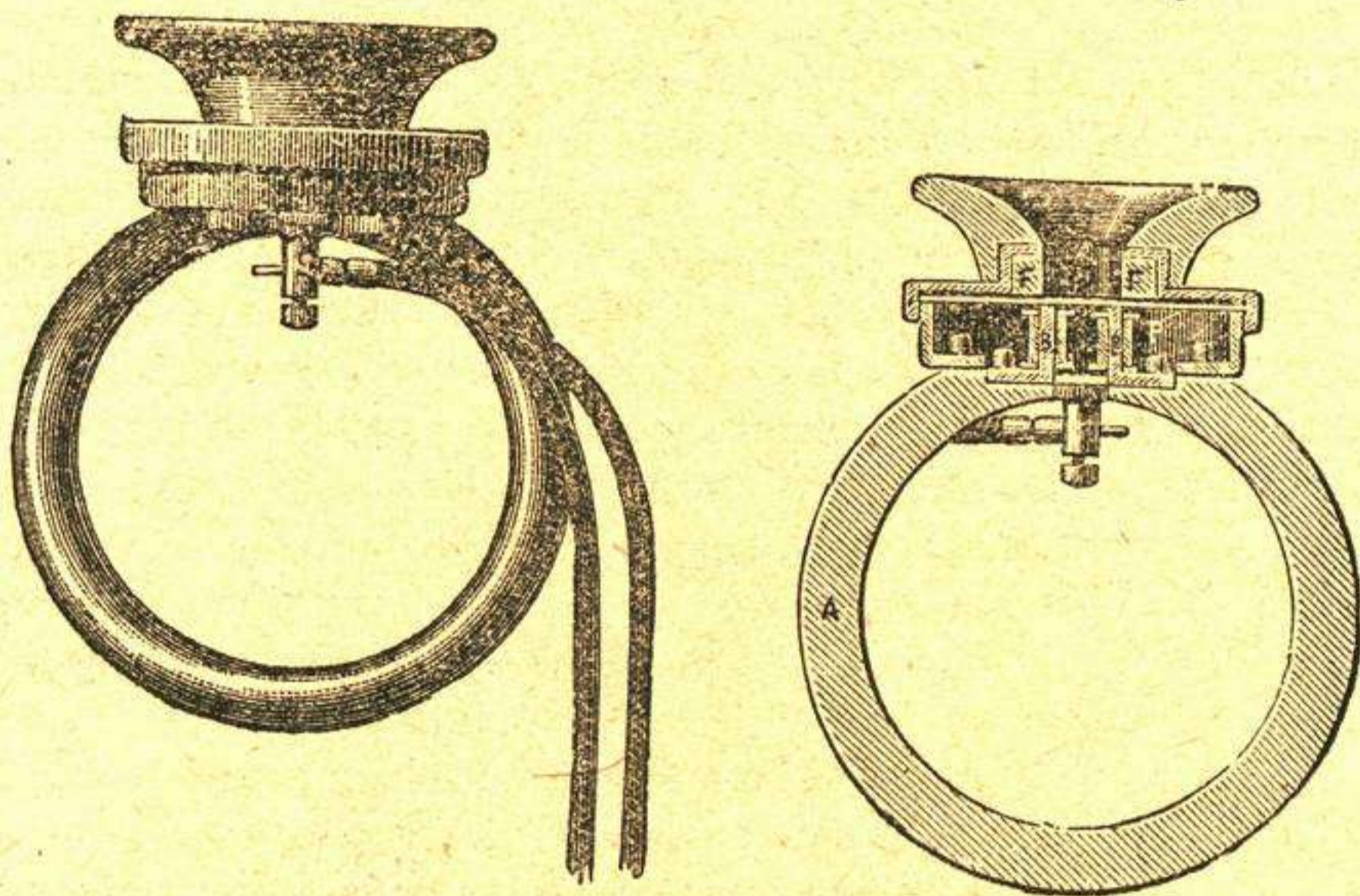


Fig. 257.

mos BB son los núcleos de dos carretes fijos en sus polos; FF es el anillo de hierro dulce, puesto antes de la placa, y que es el sobreexcitador. El diámetro de este anillo está calculado de modo que vengán sobre los núcleos BB partes de él, diametralmente opuestas.

Los transmisores de Ader consisten en una placa vibrante de madera sobre una caja en que va el micrófono, lo cual permite hablar á cierta distancia del aparato.

**Aplicación del teléfono y micrófono á la guerra de Sitio.**—Con objeto de facilitar el servicio de avanzadas, tan peligroso y difícil, Adolfo Max (1880) ideó unir todos los puestos por medio de teléfonos y micrófonos. La forma y disposición de los primeros, son las usuales, pero los micrófonos difieren de los generalmente empleados para apropiarse al uso á que se destinan. Consisten en una caja fuerte de plancha de hierro estañado de 3<sup>mm</sup> de espesor, de forma cúbica, abierta por la base, y de 15<sup>cm</sup> de lado. En la cara abierta y sobre un marco, tiene en su interior á unos 5<sup>cm</sup> una diafragma de hoja de lata, delgada, análoga á la membrana tirante de un teléfono, la cual sirve de plancha resonadora. Sobre ella está mantenido en dos apoyos y en posición horizontal, un bastón de carbón de retortas, cilíndrico de 3<sup>cm</sup> de largo y 1<sup>cm</sup> de diámetro; éste es tocado por una segunda barra de carbón de unos 8<sup>cm</sup> de largo, que está colgada de un alambre en espiral, sujeto á una chapa aislada, y cuyo bastón puede moverse libremente dentro del ángulo de 70° que forma con el horizontal.

Supongamos que desde un punto A se quiere resguardar un espacio de un arco de circunferencia de 65° y 4000<sup>m</sup> de radio: bastará encerrar en este arco y á un metro de profundidad, 12 de estos micrófonos, á la distancia de 400<sup>m</sup> unos de otros y cada uno se enlaza con A, por conductores subterráneos, que se sacan fuera en su lugar y se unen con un conmutador, una batería de 6 á 8 elementos, una brújula y un teléfono. Cada micrófono, vigila una zona circular de 200<sup>m</sup> de radio, porque un oído normal puede distinguir en el teléfono, si sobre esta zona marchan hombres aislados, tropa en grupos, caballería ó artillería, ó si en la zona se ejecutan trabajos de zapa. Por tanto, cada micrófono exige su observador, que substituye en el punto A á los escuchas y centinelas avanzados de las vanguardias.

En los Estados Unidos se ha aplicado el teléfono para determinar el tiempo en que una bala de fusil recorre su trayectoria, lo que es difícil, porque á largas distancias no se ve la caída del proyectil: Para ello se pusieron dos teléfonos, uno de 1 á 2<sup>m</sup> del fusil que hace el disparo, y otro de 9 á 10<sup>m</sup> del disco que sirve de blanco; ambos del sistema trasmisor de Blake; se opera teniendo el oído en el receptor y á la vista un reloj de cuartos de segundos, que se echa á andar en el instante del disparo y se para al oír la caída del proyectil. El resultado de muchas experiencias fué que el tiempo osciló entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  segundo. En los disparos contra el viento, au-

*José María, Leguado*

mentó el tiempo de recorrido de la trayectoria y disminuyó la longitud de ésta.

En este empleo del teléfono debe de tenerse presente la observación hecha por Journée y Labouret, de que se habló en Acústica, pág. 120.

L. 80.  
**Telegrafía eléctrica.**—Las aplicaciones prácticas más importantes de las corrientes galvánicas, se deben al empleo de las de poca fuerza, y la principal es al telégrafo eléctrico, la cual se funda en la casi instantaneidad de la transmisión de la electricidad por los conductores de alambres de hierro, que no es menos de 3300 millas geográficas (cada una de 7408<sup>m</sup>, por tanto, 244464<sup>m</sup> por segundo).

Prescindiendo de la reseña histórica de los esfuerzos hechos desde la segunda mitad del siglo XVIII, en que se quiso emplear (sin lograr resultado útil), como medio de instantánea comunicación, la electricidad por rozamiento, hasta los aparatos Wheatstone, Breguet, Morse y Hughes que resolvieron la cuestión, sólo cumple á nuestro propósito decir que hoy todo aparato completo telegráfico consta (aparte del alambre conductor de una á otra estación), del *trasmisor*, *manipulador* ó *conmutador*, que todos estos nombres lleva el aparato que expide el telegrama y del *receptor*. Según la disposición de este último, pueden clasificarse los sistemas usados en los siguientes:

1.º) *Telégrafos de brújula*, en los cuales las letras se significan por las oscilaciones producidas en la aguja de una brújula.

2.º) *Telégrafos indicadores ó de cuadrante*, en los cuales una aguja que se mueve sobre un limbo circular, marca por un instante de quietud, sobre una de las letras ó signos en él puestos, cuál es el que se quiere señalar.

3.º) *Telégrafos escritores*, en los cuales las letras se significan por las combinaciones de rayas y puntos señalados en una banda de papel.

4.º) *Telégrafos impresores*, en los cuales realmente quedan impresos sobre una tira de papel y con los caracteres comunes de imprenta, los despachos trasmitidos.

5.º) Los *Pantelégrafos*, en los cuales se copia fielmente en una estación, el escrito ó dibujo puesto en el otro.

Pudiera añadirse como sexto sistema de comunicación los *Teléfonos*, de que ya se ha hablado.

**Telégrafo de Breguet.**—Estos aparatos, llamados también *Telégrafos de cuadrante*, corresponden á los *indicadores*, que son los generalmente empleados en las estaciones de los caminos de hierro, cons-

tan de dos partes principales, que son el *manipulador* y el *receptor*.

*Manipulador* (fig. 258).—Consiste esencialmente esta parte en un disco de cobre E, colocado horizontalmente, giratorio alrededor de un eje vertical que lo atraviesa y pasa por su centro, cuyo eje se mueve por un manubrio M.



Fig. 258.

El disco E tiene su periferia ondulada, de manera que alternativamente presenta convexidades ó concavidades idénticas, y en el número que se quiera (regularmente 26, es decir, 13 salientes y 13 entrantes). Sobre estas sinuosidades se apoya resbalando una pieza metálica *a*, fija en el extremo de una palanca *og*, que gira alrededor de *o*, á cuyo otro extremo está fija una lámina flexible que está entre las puntas de dos tornillos. Es claro que si el disco de las sinuosidades gira, la lámina del extremo de la palanca tocará alternativamente en una y otra punta. Si, pues, uno de los tornillos se pone en comunicación con el polo positivo de una batería galvánica, y el eje del disco con el alambre de una línea telegráfica, cada vez que la lámina toque á la punta de ese tornillo, la corriente de la batería pasará por el alambre á la otra estación, y cada vez que abandone la punta, cesará la corriente. Fundado en esto se pone debajo del manubrio M una plancha circular P fija al armazón del manipulador, en cuyo limbo están puestas tantas letras ó signos como sinuosidades hay en el disco de cobre y correspondiéndose con ellas; además en el centro del arco ocupado en el limbo por una letra, hay una mortaja para que encaje un tacón que tiene adherido el manubrio, y cuyo detalle es para que se fije bien en el centro del espacio del signo.

Ahora bien, como cada interrupción ó establecimiento de la corriente en una estación, produce en la otra un efecto análogo que se traduce como se dirá pronto, el que trata de enviar un despacho por este mecanismo, sólo tiene que hacer girar el manubrio, parando un poco en cada letra de las que quiera señalar y siguiendo después el giro siempre en el mismo sentido. Claro es que en los limbos se ponen los signos convencionales necesarios para la mejor inteligencia de los despachos que letra á letra se van remitiendo.

Suelen tener también las placas circulares en que están puestas las letras, una segunda fila de cifras numéricas sobre las letras, las cuales sirven para indicar cantidades en la otra estación; y un signo con-

vencional cualquiera, advierte al que recibe el despacho si debe atender á las letras ó á los números.

La segunda pieza del telégrafo de cuadrante es el receptor, ó sea aquel mecanismo que movido por las corrientes alternativamente interrumpidas que vienen de la otra estación ha de indicar al que recibe el despacho, qué letra, número ó signo se le indica.

El receptor consta principalmente de un *escape*, constituido por dos ruedas dentadas paralelas y unidas al mismo eje (fig. 259), el cual ha de repetir los movimientos del disco móvil del manipulador.

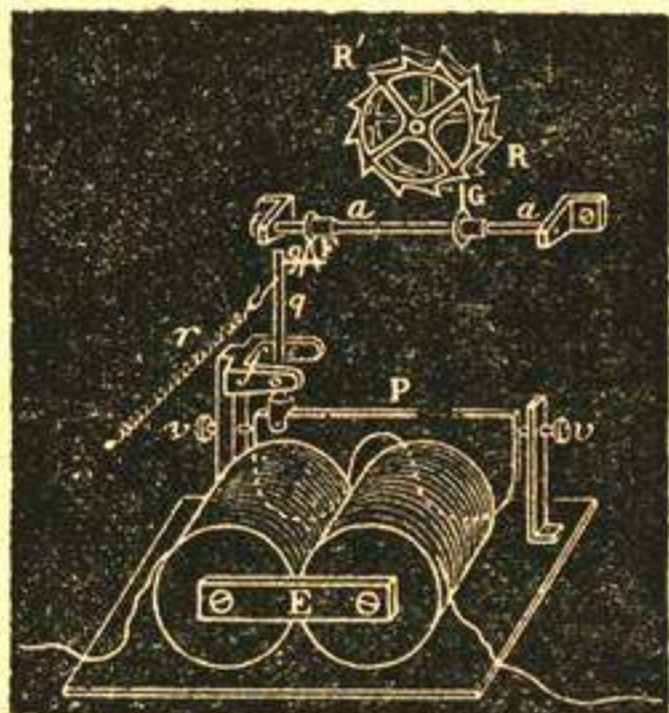


Fig. 259.

este eje está unida una aguja que se mueve delante de una placa circular idéntica á la del manipulador (fig. 260). Pero como por bajo de las ruedas dentadas hay un tope G unido á un eje *aa* que toma un movimiento oscilante, el tope viene á tropezar una vez con un diente de la rueda de delante, y otra con uno de la de detrás.

Las interrupciones de la corriente en la primera estación hacen que el eje *aa* oscile; pero si por un movimiento del manipulador pasa la

corriente, por ejemplo, una vez, el electroimán se imana, atrae el ancla, oscila la varilla *q*, el estilete *g* unido á ella empuja una de las ramas de la horquilla *F* que hace oscilar el eje *aa*, y el tope *G*, abandona el

Cada rueda lleva para esto tantos dientes como la mitad del total de sinuosidades del disco de la otra estación, y la posición de los dientes de la una y de la otra es tal, que vienen los de una frente á los claros entre cada dos de la otra. Un movimiento de relojería (suprimido en la figura) solicita al eje á girar uniforme y constantemente en un sentido, y al extremo de

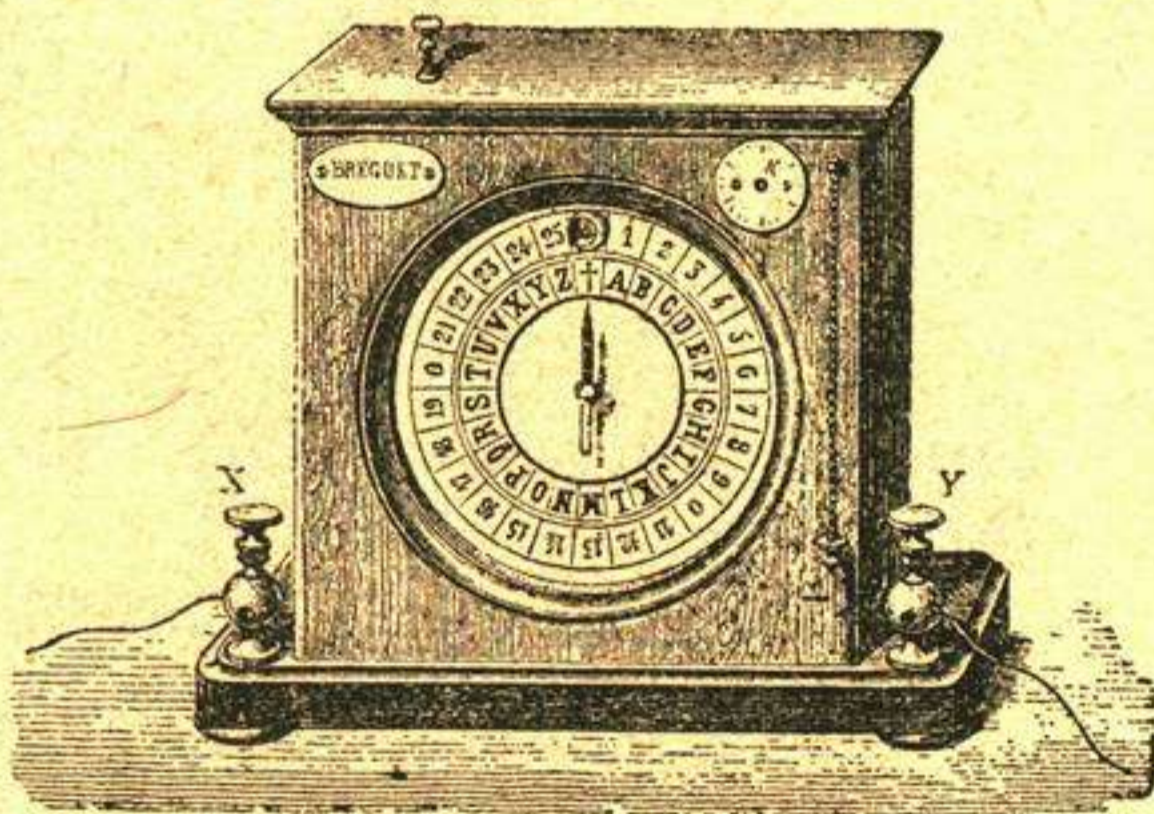


Fig. 260.



diente con que tropezaba, y por tanto permite que la rueda siga durante ese intervalo de paso de la corriente, el movimiento á que está solicitada, cuyo movimiento sigue la aguja unida al eje de las ruedas.

De modo que si el cambio del manipulador, sólo una vez establece la corriente, sólo un diente también pasa de las ruedas del escape; y la aguja del receptor sólo corre ó se mueve *un* espacio de los en que está dividida su esfera. Si el manipulador sigue moviéndose, se interrumpe la corriente por la línea y cesa en el electroimán del receptor, éste pierde su imanación, abandona el ancla P que por la acción de su peso se separa de los polos y se pone vertical y vuelve á girar un poco la rueda y su aguja.

Se ve, pues, que la aguja del receptor reproduce fielmente en su limbo, vertical por los establecimientos é interrupciones de la corriente, los movimientos del manubrio en el manipulador; así, pues, si ambos (manubrio y aguja) al empezar el despacho señalasen un mismo signo, claro es que sucesivamente irán también señalándolos idénticos.

**Telégrafo de Morse.**—Ya se ha indicado en el preámbulo de estas descripciones el grupo á que pertenece. La construcción de su receptor es la siguiente (fig. 261): Sobre una lámina de hierro *a*, van dos barras

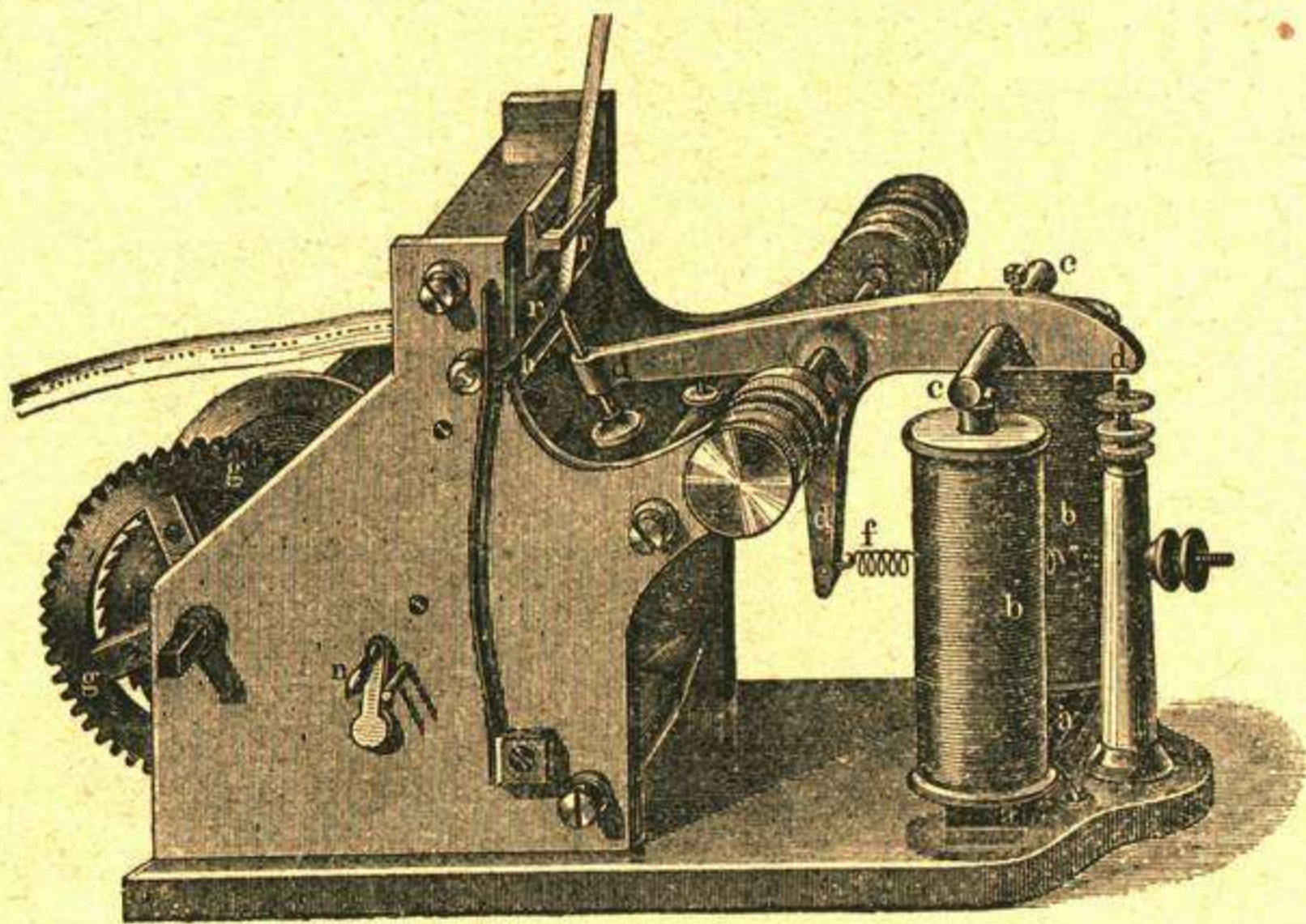


Fig. 261.

verticales de hierro, rodeadas de las espiras *b* que las imana, formando así un electroimán. Sobre los polos está el ancla *c*, mantenida á cier-

ta distancia por una palanca de metal *dd*. En cuanto las barras de hierro se imanán, el lado derecho de esta palanca es atraído, y cuando cesa la corriente y por tanto la imanación, la palanca se levanta por la acción de un resorte en espiral *f*, que tira de un apéndice ó brazo *d* de ella, volviéndola á su primera posición. El brazo derecho de la palanca *dd* cae encima de la columna *s*, antes que el ancla llegue á un contacto perfecto con los polos del electroimán, porque de lo contrario, es decir, si tuviera lugar este perfecto contacto, al interrumpirse la corriente, no perdería por completo su imanación, con lo cual toda la marcha del aparato se perturbaría.

El brazo izquierdo de la palanca lleva una barrita ó estilete de acero que marca los movimiento sucesivos de bajada ó subida de la palanca sobre una tira de papel que va pasando bajo su extremo con movimiento uniforme, debido á un aparato de relojería. La primera rueda *g* de este aparato gira lentamente por la acción de un resorte ó de un peso, y su movimiento se trasmite por otras varias hasta el cilindro ó rulo *h*, que se mueve más rápidamente y actúa sobre otro rulo idéntico *r* moviéndolo á su vez; entre ambos arrastran y pasa la tira de papel que está arrollada á un carrete del aparato. Cuando está el mecanismo en marcha pasan con uniforme velocidad entre ambos rulos unos dos centímetros de largo por segundo.

A la mitad del rollo ó cilindro *rr* hay una especie de anillo (que en parte se ve en la figura); sobre éste efectúa la compresión la punta del estilete cuando baja el ancla *cc*, de modo que si dura algo la corriente, deja una huella en forma de raya en el papel que pasa por debajo, y si aquélla se interrumpe rápidamente, la huella sólo es un punto; de la combinación de rayas y puntos se ha formado el alfabeto telegráfico.

Este, por lo general, es:

a.—	f..—.	l.—..	q—.—.—	v...—
b—...	g—.—.	m—.—	r.—.	w.—.—
c—.—.	h....	n—.	s...	x—..—
d—..	i..	o—.—.—	t—	y—.—.—
e.	k.—---	p.—.—.	u..—	z—.—..

De un modo análogo se han representado las cifras de la numeración y los signos de puntuación.

Una mejora de las más importantes del aparato de Morse ha sido

el mecanismo escritor con tinta, añadido á él: éste (fig. 262), se diferencia del impresor, ó mejor dicho *grabador*, en que el extremo *l* de la palanca escritora *lm* termina en un corte, bajo el cual corre la tira de papel mantenida tirante por los rodillos *r* y *s*.

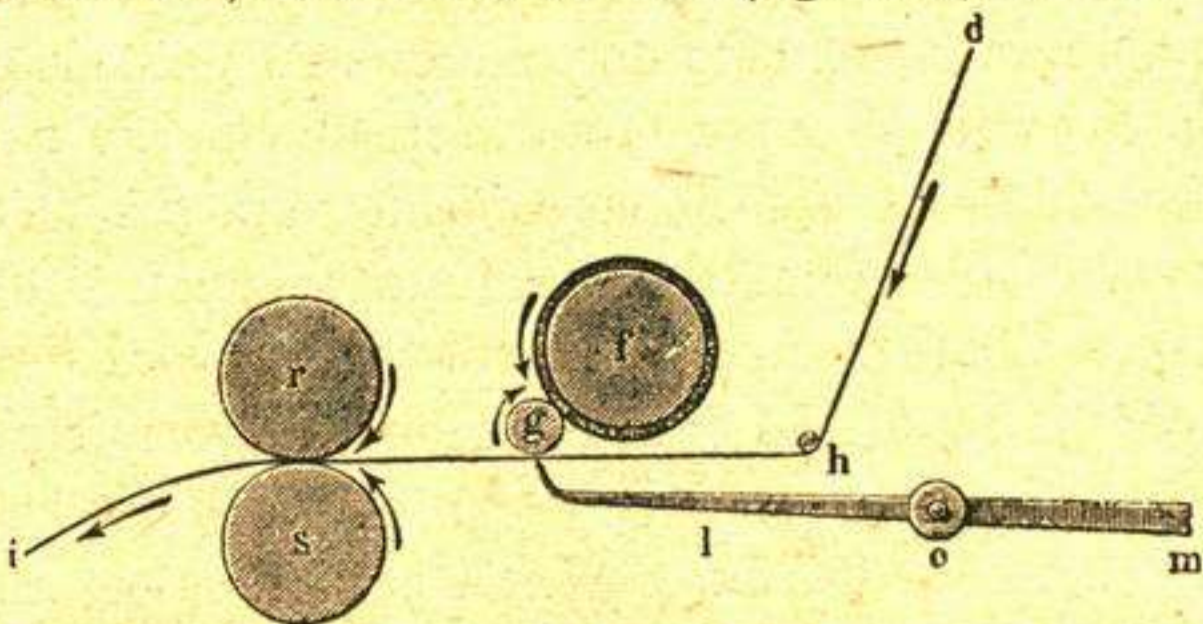


Fig. 262.

Sobre este corte ó filo de la palanca hay un rulo pequeño *g*, que por una rueda dentada se une á otro rulo mayor *f* y gira con él: la superficie de éste se halla cubierta por un paño, que de cuando en cuando se entinta y moja á su vez los bordes de *g*. Cuando la corriente pasa por el electroimán atrae éste el ancla, y la tira de papel es comprimida contra la superficie del rulo *g*, en donde, según el tiempo que esté apretado, así se señala una línea ó un punto; pero no como huella, sino de color.

El telégrafo escritor, tiene respecto del grabador la ventaja de dejar más claras las señales porque las pinta, y también de que para este modo de señalar no se necesita de corrientes muy fuertes, sino al contrario, muy débiles, y tales son las que corren por los alambres del telégrafo.

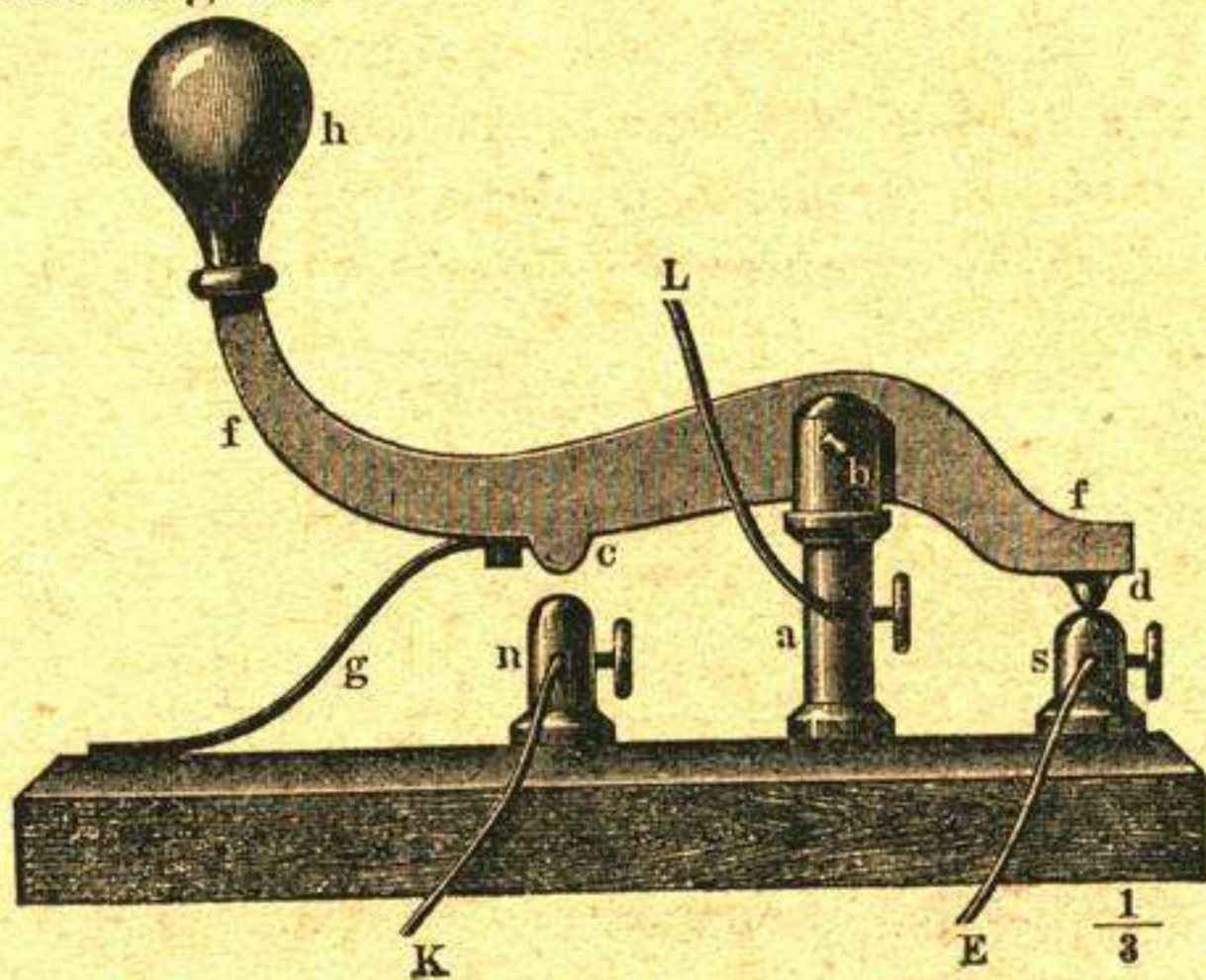


Fig. 263.

Para la transmisión del cierre é interrupción de la corriente, se emplea un aparato que se llama *conmutador*. También muchos le dicen *manipulador*.

Consta esta parte del aparato de Morse (fig. 263) de una palanca metálica *ff*, que gira alrededor de un eje horizontal de acero *b*, sostenida en una

ranura de una columna metálica *a*.

Esta palanca es empujada hacia arriba por un resorte *g* de modo que el tacón metálico *d* se apoya sobre la columna metálica *s*. Pero

si se oprime la palanca con la mano, gira, y el tacón *c* es el que entonces se apoya en la columna metálica *n* y el otro *d* queda levantado y sin tocar la *s*.

La columna *a* está en comunicación con un galvanómetro por el alambre *L*, y de aquí con el alambre conductor de una á otra estación y que se llama la *Línea*.

La columna *n* está por medio de un alambre *K*, en comunicación con uno de los polos de una pila, por ejemplo, el positivo.

La columna *s*, por el contrario, por medio del conductor *E* se comunica primero con el alambre del electroimán, y después se bifurca, llevando un cabo al polo negativo de la misma pila y el otro á una lámina de cobre enterrada en un suelo húmedo que se llama *lámina de tierra*.

La fig. 264 representa un esquema de las comunicaciones: A y A'

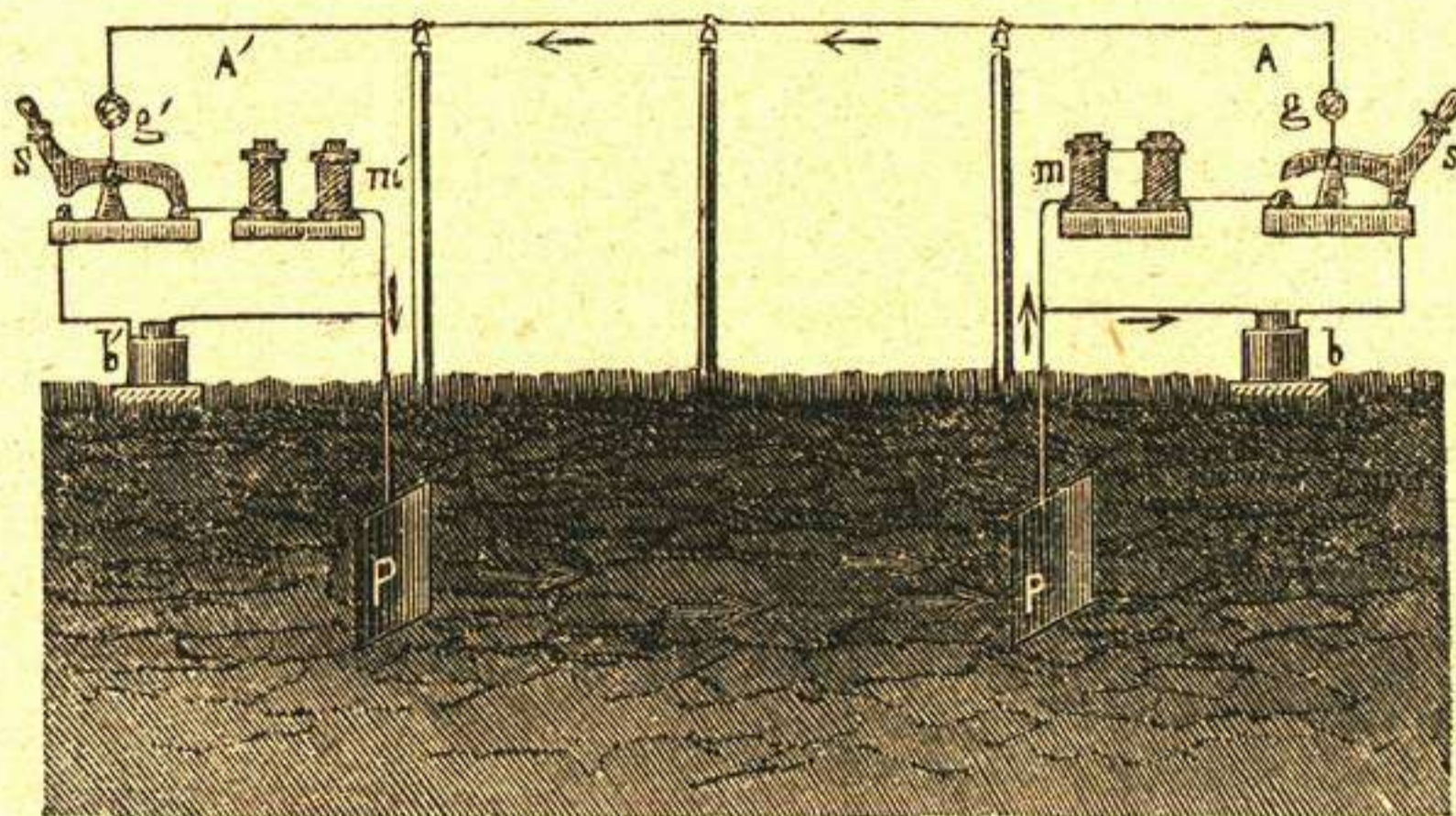


Fig. 264.

son las dos estaciones; *b* y *b'* las pilas ó baterías; *m* y *m'* los electroimanes de los aparatos escritores; *g* y *g'* los galvanómetros; *P* y *P'* las láminas de tierra.

En esta figura la estación de la izquierda *A'* representa la posición del manipulador en el caso de reposo ó no funcionando; en ella no puede pasar la corriente, pues en la columna *n* (fig. 261) está interrumpido el contacto. Pero si el conmutador se pone como representa la estación *A*, la comunicación se establece en la Línea.

La corriente pasa entonces del polo positivo de la pila *b* al conmutador *s* y al galvanómetro *g*, de donde á través del alambre de comunicación llega al galvanómetro *g'* y conmutador *s'* de la otra estación. De aquí y pasando por el electroimán *m'* marcha á la lámina

de tierra  $P'$  y á través de ésta, corre á la otra lámina  $P$  y de ella vuelve al polo negativo de  $b$ , cerrando el circuito. Esto es lo que indican las flechas.

De este modo circula la corriente producida en la estación de la derecha. La batería  $b'$ , como no está en comunicación con el circuito, no produce corriente alguna en él.

Cuando el telegrafista de una estación, por ejemplo de la derecha, quiere poner un despacho, mueve el conmutador de modo que señale el aparato escritor (—.—.—.—) y mira la aguja del galvanómetro para deducir de su movimiento ó inmovilidad si hay comunicación con la otra estación ó se halla ésta interrumpida.

En el primer caso repite el aparato escritor en la estación de recibo la señal en la cual el telegrafista está ya advertido, y si no puede recibir el telegrama, responde con la señal (.—...): si puede recibirlo, da la señal para que empiece á telegrafiar (—...—) y suelta el escape del aparato de relojería para que pase la cinta; cuando se acaba de pasar un despacho, se cierra con la señal (.—.—.).

A los telégrafos acompaña un aparato de llamada, que consiste en un timbre que se hace sonar, por el establecimiento de las corrientes entre ambas estaciones.

**Aplicaciones militares.—Telémetro eléctrico.**—(Inventados por los tenientes norteamericanos Bradle y A. Fiske, publicado en el *Harpers, Monthly, Magazine*, June 1890, p. 53; *Scientific American Supplement*. N.º 746.—April, 19, 1890, p. 11915).

Este instrumento tiene por objeto, en primer lugar, determinar en cada instante dado, la posición y distancia de un cuerpo móvil; por tanto, con su auxilio desde un buque de guerra en marcha, ó desde un fuerte en la costa, se puede hallar en cada instante la posición de un buque que esté á la vista, con tal exactitud, que se pueda calcular cuáles han de ser los tiros eficaces.

En segundo lugar, sirve también el instrumento para indicar á los soldados en cada momento si sus fusiles tienen la dirección conveniente.

Ni los periódicos científicos americanos, ni ningún otro papel, han publicado los detalles ni experiencias con el instrumento (cosa después de todo muy natural tratándose de un invento para la guerra) por lo que sólo es dado indicar aquí el principio en que lo funda Fiske y el ordenamiento que ha dado á sus partes.

Para determinar la distancia á que se encuentra un punto inaccesible dado  $P$ , se sabe que es preciso medir exactamente una recta

en el lugar de observación, llamada *base*, y desde cuyos extremos se divise el punto dado. Hecho esto, hay que determinar los ángulos que con esta base forman las dos visuales dirigidas desde sus extremos al punto dado, y con estos datos y mediante un cálculo trigonométrico, se averigua la distancia. Pero tanto la determinación de los ángulos como el cálculo subsiguiente, exigen un tiempo relativamente largo, y por consiguiente, no se resuelve por este medio el problema de la instantánea determinación del punto ocupado por un cuerpo móvil en cada momento.

Este es el problema que se propuso resolver Fiske del modo siguiente:

En cada extremo de una base AB puso un anteojo giratorio alrededor de un eje vertical, y que dos observadores dirigen al punto que ocupa el cuerpo móvil. El extremo correspondiente al ocular de estos anteojos resbala sobre un arco metálico semicircular, cuyo diámetro coincide con la base. La resolución del problema se hace con esto que dependa de la determinación en escala reducida del triángulo que forman la base y las dos visuales. Para esta representación reducida dispuso Fiske, en un espacio determinado, dos arcos de círculo, paralelos á los que están á los extremos de la base, y que prestan análogo servicio. La distancia entre sus centros A' B' representa la base, y es parte alícuota de su longitud. En el centro de estos arcos hay un índice metálico giratorio, cuyo extremo señala sobre el arco.

Es claro que estos índices han de ser exactamente paralelos á los ejes de los anteojos, cuando funcione el instrumento, y una vez conseguido esto, es claro que los centros de giro A' y B' de ambos índices, y el punto P' donde sus direcciones se cortan, marcan un triángulo, que es semejante y en escala menor y conocida al triángulo A B P, propuesto para conocer.

Para conseguir el paralelismo exacto de los índices y los ejes de los anteojos, se unen por medio de un alambre los extremos de los objetivos de cada uno de los anteojos, con el extremo de cada uno de los índices correspondientes A' y B', y estos entre sí, y en este circuito se pone una batería galvánica. Además, los dos extremos, igualmente dirigidos de cada par de arcos metálicos correspondientes, están unidos por un alambre, de modo que el de A se une con A' y el de B con B', y estos circuitos, I y II, se unen con el primero por un alambre bifurcado, en el que se inserta un *galvanómetro*.

Con esta disposición, si por ejemplo el anteojo que está en A gira,

la resistencia que ha de vencer la corriente que pasa por el anteojo al arco metálico crece hacia un lado del ocular del anteojo, y disminuye hacia el otro. Si, pues, la aguja del galvanómetro estaba en el cero, sufre con estas variaciones de resistencias en el circuito una desviación. Esta se destruye por un giro del índice correspondiente, que ha de ser justamente de igual magnitud que el que verificó el anteojo. En resumen, los circuitos están dispuestos de tal modo, que la aguja del galvanómetro marca el cero cuando los ejes de los anteojos y los índices están paralelos. Si, pues, un tercer observador se pone en el espacio entre A' y B', y al mover los otros dos observadores puestos en A y B sus anteojos correspondientes, para dirigirlos al cuerpo móvil en el punto P, él mueve los índices de modo que los galvanómetros sigan señalando el cero, se tiene la seguridad de que los índices son paralelos á los ejes ópticos de los anteojos, y por tanto, que donde se cortan sus direcciones está el punto P'. Análogo principio al empleado para la determinación del punto P, se puede utilizar para dirigir los tiros de un fuerte sobre este punto. Para ello, los puntos A' y B', que representan á los dos A y B de observación de la estación, se refieren á un plano en el que también estén representadas las posiciones respectivas de las diversas piezas del fuerte. Sea N' la posición en el plano de una pieza N del fuerte; N y N' se proveen de índices y semicírculos como A y A', B y B'; además en N y en un circuito bifurcado se pone un galvanómetro. Hecho esto, se dirige el índice N' hacia P', lo que puede hacerse automáticamente, y se mueve la pieza de modo que el galvanómetro siga señalando el cero; en este momento la pieza apunta á P.

Por último, sobre una escala puesta en N' se puede ver la distancia entre N y P, con lo cual y por conocidas leyes balísticas, se sabe la elevación que se ha de dar al tiro.

El mismo principio pudiera aplicarse á los fusiles.

El buque de guerra «Chicago», de los Estados Unidos, está provisto de una instalación de este género que puede medir distancias hasta de 1500 yardas (1371<sup>m</sup>) con un error menor de 0,6 por 100; también lleva el aparato el crucero «Baltimore», tan bien instalado, que el error es aún menor.

# LECCION 49

## Meteorología y Climatología

2. 81.  
**Temperatura: calor en la tierra, su procedencia.**—*Todo el calor de una región ó lugar de la tierra tiene su origen directo ó indirecto del Sol.*

Si el Sol se apagara, no tendríamos calor alguno. Es difícil hacerse cargo de un estado tal de cosas. El punto de frío absoluto, la temperatura á que se acepta que el aire perdería toda su fuerza elástica, es de unos—273° del centigrado; es decir, una temperatura distante del cero de la escala del termómetro por la parte inferior, como está por encima la de la fusión del plomo. Este punto se llama el *cero absoluto de temperatura*, y se considera como la temperatura probable de los espacios interplanetarios.

*Capa invariable de la tierra.*—No todo el calor de la capa superficial de la tierra puede llegar á las capas profundas, pues cada capa intermedia recoge un poco y lo gasta en su propio calentamiento, y esto es en orden decreciente de la superior á las inferiores, por lo que cada capa en el trascurso de un año se calienta tanto menos sobre su temperatura media, cuanto más profunda está; luego es claro que ha de existir *una capa, en la cual esta diferencia sea insensible á los instrumentos, y á ésta se llama capa de temperatura constante ó invariable.*

La capa invariable está tanto más cerca de la superficie cuanto menores son las alteraciones de temperatura en ésta en el trascurso del año: así en la zona tropical en la América del Sur, la *capa invariable* está á los 50 ó 60 centímetros de profundidad, y en las zonas templadas hay que llegar alguna vez hasta los 25 metros. Claro es que las variaciones diarias de temperatura se hacen sensibles á mucha menos profundidad que las más duraderas de las estaciones.

**Climas.**—*Los climas no son funciones de la latitud geográfica.* De ser el Sol la única fuente de calor para los climas, parece á primera vista que todos los lugares situados bajo un mismo paralelo, debían tener idéntico clima, como si el calor solar se repartiese con regularidad desde el Ecuador á los polos. Pero esto no acontece, como todos saben. La temperatura de las diferentes regiones de la tierra depende



de muchas y distintas circunstancias. La latitud geográfica es en todo caso una de ellas; pero dista mucho de poder considerarse como de las más influyentes.

**Las cinco zonas.**—Las diferentes comarcas del globo reciben de muy diversa manera los rayos solares.

Toda la banda que se halla entre los trópicos, se llama *Zona tórrida*. Esta es la región más rica y apropiada para los seres orgánicos.

Las opuestas á la Zona tórrida son los polares. En los círculos polares (á los 66°32' de latitud Norte y Sur), donde el Sol no asoma por el horizonte en días, semanas y meses, y donde sus rayos caen muy oblicuamente, su acción es insignificante, y casi todo el año debe de estar la tierra cubierta de nieves y hielos. Estas dos son las zonas fría, *una del Norte y otra del Sur*.

Las bandas entre los trópicos y los círculos polares son las llamadas *zonas templadas*, una al Norte y otra al Sur; claro es que mientras más se aproximan éstas á los círculos polares, tanto más frías son.

**Temperaturas medias diarias.**—Temperatura media diaria es la media aritmética de las observaciones hechas sobre un termómetro desde media noche de un día hasta la media noche del siguiente. Si, pues, se hacen veinticuatro observaciones, una á cada hora, el cociente de dividir la suma de grados leídos por 24, dará la media buscada. Tal método sería casi imposible de practicar por lo penoso de las observaciones; y para evitar sus inconvenientes, se ha recurrido á otro procedimiento más cómodo. Consiste en hacer nada más que tres observaciones al día, á saber: á las siete de la mañana, dos de la tarde y nueve de la noche, y hallando la media aritmética de las tres lecturas, se toma como la temperatura media del día.

**Medias mensual y anual.**—Úsese este ó el otro instrumento para hallar la temperatura media de cada día, de éstas se deduce la mensual, hallando la media aritmética entre las observaciones de los treinta ó treinta y un días del mes. De las doce medias mensuales, se deduce la anual, dividiendo por 12 su suma. La temperatura media mensual suele determinarse con más acierto, sumando las medias de un mismo mes durante un cierto número de años que se han considerado, y tomando la media de esta suma.

**Isoteras é isoquimenas.**—Se ha dicho que todos los lugares de la misma latitud no gozan de igual temperatura; vamos á examinar ahora si todos los que están bajo la misma isoterma, ó sea que tienen *igual temperatura* media, tienen idéntico clima. Consultando las tablas de las temperaturas medias, se ve que tal cosa no sucede, pues aun-

que algunos puntos coinciden en la media anual, difieren mucho en la de los meses más calidos y fríos.

Para conocer la temperatura general de una comarca no basta la *media anual*, es preciso examinar la distribución del calor en las diferentes estaciones del año. Para ello en mapas, en que su magnitud permita que no se confundan las líneas, se trazan á manera de las *isotermas*, otras curvas que pasen por los diferentes puntos que tienen igual media en verano ó en invierno. Estas curvas se llaman *isoteras* é *isoquimenas*; de éste modo se ve que la diferencia entre ambas curvas es la menor, en las cercanías del punto más saliente en la convexidad de la *isoterma*, y por el contrario, esta diferencia es grande en las cercanías del punto más cóncavo de la *isoterma* (fig. 265).



Fig. 265.

**Climas continental y marítimo.**—La inspección de los cuadros sinópticos y mapas da á conocer la gran diferencia entre los climas del continente y de las costas. La diferencia entre el verano y el invierno aumenta á medida que nos alejamos de las costas; en éstas los veranos son menos cálidos, y los inviernos más benignos. La diferencia se pronuncia mucho, si se comparan lugares de las costas del Oeste de Europa con sus análogos de las del Norte de Asia.

*Causas que influyen en los climas.*—Las causas de las grandes irre-

gularidades que se observan son generales y locales. Respecto de las puramente locales, la más influyente es la que generalmente designaremos con el nombre de *situación*.

*Causas generales que modifican la temperatura.*—Respecto de las causas generales, y bajo el punto de vista geográfico, éstas son los *vientos dominantes, la altitud sobre el nivel del mar y la posición de la comarca respecto de las corrientes de los mares próximos*. En realidad, tanto el calor como el frío, lo lleva á una comarca el viento: lleva calor si ha pasado por un suelo caliente, y por el contrario, frío si ha pasado por regiones cubiertas de nieve. El aire es realmente el colector y repartidor de todo el calor que hace habitable la tierra. Tan necesario como nos es para la respiración, no menos indispensable nos es, ó cualquier otro gas de análogas condiciones, para calentarnos.

**Vientos: manera de producirse los vientos.**—Cuando dos espacios comunicantes y llenos de aire se calientan diferentemente, se producen corrientes hacia el menos denso. Tal sucede en el océano de aire que cubre á la tierra, cuyas corrientes se llaman *vientos*. La gran masa de aire calentado en la Zona tórrida asciende, y se reparte arriba lateralmente hacia las comarcas frías, mientras que abajo el viento sopla de las frías á las calientes. Un ejemplo sencillo de esto lo ofrecen los vientos de la tierra y del mar, que frecuentemente se observan en las costas, y más particularmente en las islas.

**Brisas de mar y tierra.**—Pocas horas después de la salida del sol se levanta del mar, hacia las costas, un viento llamado *brisa* ó *viento del mar*, originado por el mayor calentamiento de la tierra que la superficie del mar. El aire asciende sobre la tierra á lo alto y se esparce arriba hacia el mar, mientras tanto por abajo se establece una corriente del mar á la tierra. Esta brisa, débil al principio y apenas sensible más que en las orillas, crece después y se interna á gran distancia de las costas: entre las dos y las tres de la tarde llega á su *máximum de fuerza*, después decrece, y hacia la puesta del sol entra en calma. La tierra y el mar se enfrían entonces por la radiación; pero la primera, mucho más rápidamente que el agua, y empieza á entablarse un viento de la tierra al mar, *brisa de tierra* ó *terral*, originando la corriente de abajo que compense la opuesta que tiene ahora lugar arriba desde las altas regiones sobre el mar hacia la tierra. L. 82.

**Vientos durante las tempestades: su origen probable.**—Las causas de las corrientes de aire, capaces de producir las tempestades, hay que buscarlas en la rápida condensación del vapor de agua de la atmósfera.

**Alisios y monzones.**—Llámanse *alisios* aquellos vientos constantes que soplan entre los trópicos del Este al Oeste.

Donde concurren los dos alisios de ambos hemisferios dan lugar á un viento fijo del Este, pero que no es sensible, porque el movimiento horizontal está neutralizado por el ascendente de la columna de aire fuertemente calentada en esta zona.

Esta zona donde se juntan los alisios de ambos hemisferios es la llamada *región de las calmas*.

Los alisios se explican bien. El aire, fuertemente calentado en las regiones ecuatoriales, asciende, se reparte arriba hacia ambos lados sobre la masa de aire más frío, y marcha hacia los polos: al mismo tiempo por abajo, en la superficie de la tierra, corre el aire de los polos al Ecuador.

Si la tierra no girase sobre su eje, los alisios soplarían en nuestro hemisferio del polo Norte hacia el Ecuador, y en el otro hemisferio del polo Sur hacia el Ecuador; pero el giro diario de la tierra de Occidente á Oriente imprime á la atmósfera que la rodea un movimiento de rotación análogo. Cuanto más próximo está un punto de los polos, tanto más despacio describe la circunferencia de su trayecto en las veinticuatro horas, puesto que éstas son tanto menores cuanto más se alejan del Ecuador. Por consiguiente, la velocidad de rotación del aire, que está sobre los polos, es también mucho menor que la del que está sobre el Ecuador. Si, pues, una masa de aire es conducida al Ecuador desde las altas latitudes, llega con menor velocidad de rotación sobre comarcas que se mueven más deprisa de Oeste á Este, parecerá en relación á este suelo que bajo él se mueve, como si el aire soprase de Este á Oeste. Combinado este movimiento con el que continuamente viene del Ecuador, da un viento de Nordeste para el hemisferio Norte y uno del Sureste para el del Sur.

**Alisios superiores.**—Las corrientes superiores que desde el Ecuador van á los polos, tienen dirección contraria á las inferiores; la del hemisferio Norte va como del Suroeste y en el del Sur como del Noroeste.

A gran distancia del Ecuador bajan los alisios hacia la tierra.

Sobre el pico de Tenerife hay casi siempre vientos del O. y al mismo tiempo en la superficie del mar sopla el alisio inferior.

En el Océano índico está muy perturbada la regularidad de los alisios por la configuración de los grandes continentes y penínsulas que circunda á este mar.

En la parte Sur de este Océano, entre Nueva-Holanda y Madagascar, domina, sin embargo, todo el año el alisio del Sur, y en la

parte Norte de este mar sopla entre tanto, durante medio año, un viento, constante del Suroeste y el otro medio es constante el Nordeste.

Estos vientos alternativos regulares se llaman *monzones*. El Suroeste sopla de Abril á Octubre, y los demás meses del año es el Nordeste.

**Dove: ley de la rotación del viento.**—Aun cuando la observación de los vientos, en relación á una parte de nuestras comarcas, parece que siguen una dirección irregular y sin ley alguna, sin embargo, un estudio atento de ellos ha demostrado que, por lo general, siguen en su sucesión el orden siguiente:

S., SO., O. NO., N., NE., E., SE., S.

**Anemómetros: dirección de los vientos.**—Respecto de la dirección, se nombran, según el punto cardinal de la tierra de que vienen, su nomenclatura está dada en las 16 principales, por la rosa de los vientos, y se marca por las veletas.

**Velocidad de traslación: anemómetros.**—La velocidad de traslación se determina por los anemómetros, por más que no sean estos instrumentos muy exactos, ni de gran valor en meteorología. El más usado, ó sea el de Robinsón, consta de unas especies de aspas ó de cuatro brazos perpendiculares y puestos en plano horizontal, terminados por semiesferas huecas de metal: estos brazos van unidos á un eje vertical que, por medio de un tornillo sin fin, pone en movimiento unas ruedas que sirven para contar las vueltas que da el eje en un tiempo fijo: de aquí se deduce la velocidad de traslación del viento.

**Escala marítima.**—Según la velocidad, se han clasificado los vientos del modo siguiente:

GRADOS.	NOMBRES.	Velocidad por segundo.	Presión por centímetro cuadrado.
		— <i>Metros.</i>	— <i>Gramos.</i>
1.º	Ventolina.....	3	0,122
2.º	Viento muy flojo..	6	0,488
3.º	Viento flojo.....	10	1
4.º	Bonancible.....	13	1,953
5.º	Fresquito.....	16	3,052
6.º	Fresco.....	19	4,394
7.º	Frescachón.....	22	5,981
8.º	Duro.....	25	7,812
9.º	Muy duro.....	28	9,887
10.º	Temporal.....	32	12,206
11.º	Borrasca.....	35	14,770
12.º	Huracán.....	38	17,577

La escala marítima, por lo tanto, tiene 12 grados, fundados en la velocidad en metros por segundo.

La escala terrestre tiene 6 grados, fundados en la acción del viento.

*Escala terrestre de la fuerza del viento.*

Grados de fuerza del viento.	Nombre del viento.	ACCIÓN.
0°	Calma.	El aire asciende en línea recta ó casi recta: no se mueven las hojas.
2°	Débil.	Ya se percibe por la sensación que causa; mueve una banderola y las hojas de los árboles.
4°	Moderado.	Mantiene tirantes ó extendidas las banderas y mueve las hojas y ramas pequeñas de los árboles.
6°	Fresco.	Mueve todas las ramas de los árboles.
8°	Duro.	Conmueve los troncos no muy gruesos y contrarresta la marcha ó el andar.
10°	Tempestuoso	Conmueve todo el árbol, dobla las ramas y desarraiga los árboles pequeños.
12°	Huracán.	Arranca la cubierta de las casas, tejas y pizarras, y troncha y arranca grandes árboles.

**Nubes y niebla.**—Si se destapa una vasija, en la que haya agua hirviendo, el vapor que sube y se reparte en el aire frío se condensa en seguida, produciendo esa especie de humo que se compone de una cantidad de pequeñísimas gotas de agua que flotan en el aire. A este humo se le suele llamar vapor, pero propiamente no es tal vapor, y menos en el sentido que á la palabra da la Física, sino *gas de agua condensado*.

Cuando la condensación del vapor de agua no se produce por el contacto con un cuerpo frío, sino por el descenso de temperatura de toda la masa de aire, entonces se originan las nieblas que en grande escala son lo mismo que la especie de humo que se produce al condensarse los vapores de las vasijas de agua hirviendo.

Las *nieblas* se producen siempre que saturado el aire de vapor de agua por cualquier causa que sea, se enfría toda la masa de él más bajo que su punto de saturación; por tanto, cuando el aire caliente saturado es impelido por el viento á lugares fríos ó arrastrado á mezclarse con otra masa de aire frío.

Las *nubes* no son otra cosa que *nieblas* que flotan en las altas regiones, así como las *nieblas* no son otra cosa que *nubes* cerca ó junto al suelo. Frecuentemente se ven las cúspides de las montañas envueltas en *nubes* para el que desde lejos las mira, mientras que el que está en las mismas cumbres se encuentra entre *nieblas*. La primera vez que sobre ello se reflexiona, no nos hacemos bien cargo de por qué las *nubes* flotan en el aire, puesto que se componen de gotas que

sensiblemente son más pesadas que el aire que las rodea. Pero como su peso es muy pequeño respecto de su superficie, el aire opone una gran resistencia á su caída, y las gotillas sólo muy despacio pueden descender; y por tanto, debe de pensarse que con un tiempo tranquilo las nubes al fin descenderían hasta la tierra. Las gotillas de agua que descenden no siempre pueden alcanzar al suelo, porque llegan á capas calientes no saturadas y allí se vuelven á convertir en vapor y á hacerse invisibles. En tanto que las gotillas se derraman abajo en la nube, se forman otras nuevas en los límites superiores, y cuando esto acontece aparecen las nubes flotando como inmóviles.

Lo anterior es considerando á las nubes en una atmósfera tranquila; cuando ésta se mueve son arrastradas por los vientos y siguen la dirección de éstos; un viento que marcha horizontal también lleva á las nubes en la misma dirección, y una corriente de aire ascendente también debe de llevarlas á lo alto, y su velocidad es mayor que aquella con que las gotillas de agua caen al suelo en atmósfera tranquila. Esto explica que por las corrientes ascendentes ascienden también las nieblas.

Según la clasificación de Howard, fundado principalmente en la forma, se distinguen tres clases principales de nubes, á saber:

1.<sup>a</sup> *Cirrus*, que llamó á las compuestas de filamentos, ya en bandas ó ya rizadas, ó como plumas.

2.<sup>a</sup> *Cumulus*; así llamó á las de grandes masas semiesferoides, que parecen descansar en una base horizontal.

3.<sup>a</sup> *Estratus*, que comprendía á las de figura de bandas horizontales.

Estas formas fundamentales de nubes daban las combinaciones, según el mismo Howard, de *cirro-cumulus*, *cirro-estratus* y *cumulus-estratus*.

Los *cumulus*, muy densos cuando cubren todo el horizonte con un color azul muy obscuro, los llamó nubes de lluvia ó *nimbus*.

Modernamente sólo se admite la clasificación de las nubes en *cumulus* y *estratus*, según su forma redondeada ó longitudinal.

**Lluvia.—Hidrometeoros.**—Llámanse así todos los fenómenos de caída de agua de la atmósfera á causa del vapor de agua que contiene. Lluvia es el vapor de agua condensado.

**Medidas de las lluvias.**—A pesar de ser la cosa más sencilla en teoría medir el agua que cae sobre una superficie, por lo mismo está muy expuesta á error en la práctica. El objeto de esta observación es saber qué cantidad de agua cae, es decir, el agua que habría sobre

el suelo después de las lluvias si no se repartiase ni absorbiese. Son, pues, necesarias vasijas especiales para estas observaciones.

**Modelos diferentes de pluviómetros.**—Más de cien modelos se han inventado para estos instrumentos; la mejor magnitud y forma y

precauciones que la experiencia ha enseñado que se debe de dar á estos aparatos, es la siguiente: Consiste en

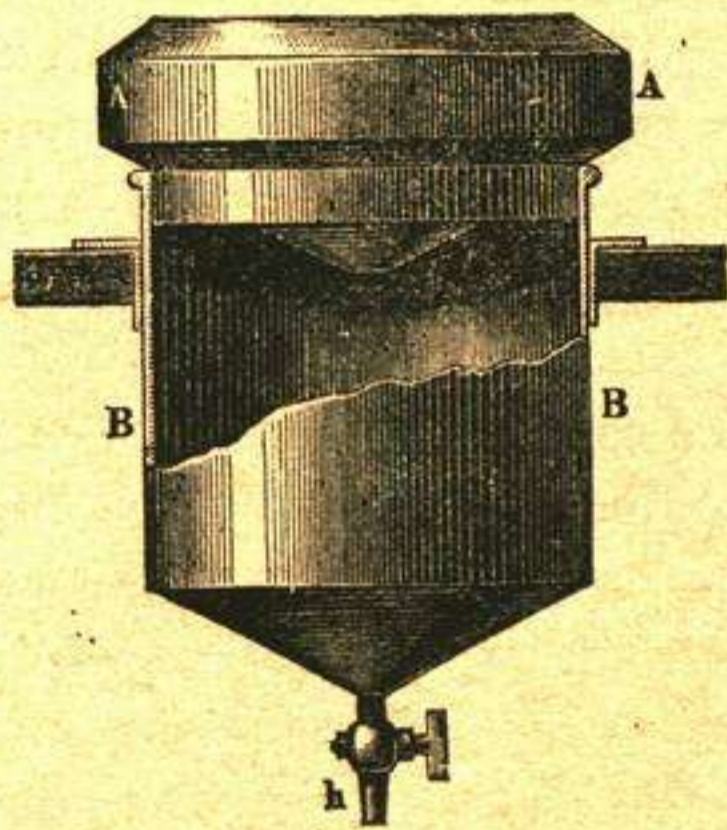


Fig. 266.



un recipiente cilíndrico BB (fig. 266), cuya boca circular lleva una especie de embudo AA para recoger el agua y evitar la evaporación; en el fondo tiene una llave *h*, por medio de la cual se saca el agua que se ha recogido, con

una vasija de cristal graduada. La sección de la vasija es una parte alícuota de la del pluviómetro, cuyo denominador indica el número por el cual ha de dividirse el de los milímetros que señala el nivel del agua en el tubo graduado, para obtener la altura que tendría distribuída en la superficie de la boca del pluviómetro.

**Nieve.**—La nieve es vapor enfriado que cuando cae no encuentra una capa de aire á mayor temperatura que la de su fusión, ni tampoco existe ésta en la superficie

de la tierra, entonces cae con unas figuras tan especiales y delicadas como Tyndall describe al pintar una nevada en el Monte Rosa de los Alpes.

La nieve no es un montón ó masa irregular amorfa, sino un compuesto de cristales extraordinariamente finos: éstos raras veces son menos de 2,5 de *mm*, así que á la simple vista pueden distinguirse: su forma es exagonal; su combinación da lugar á figuras

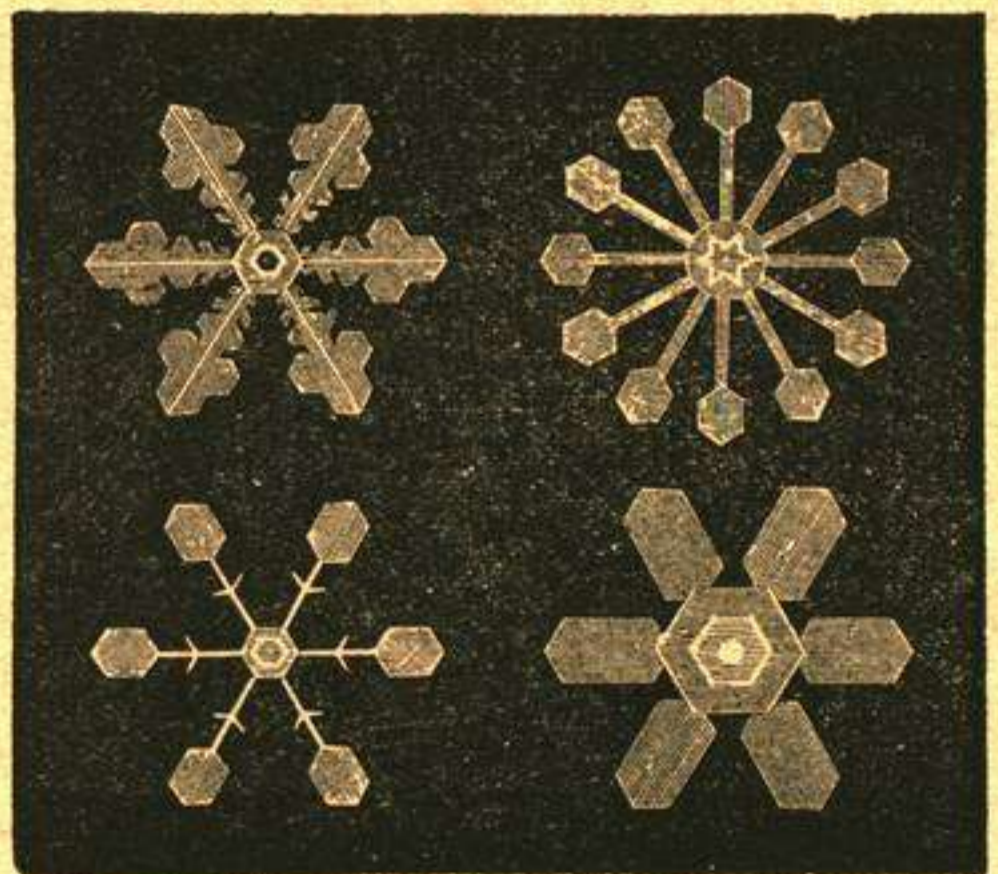


Fig. 267.

muy variadas, algunas de las cuales se representan en la figura 267.



**Rocío y sereno.**—Cuando en verano, después de la puesta del sol, el cielo queda despejado y la atmósfera tranquila, los cuerpos de la superficie de la tierra se enfrían cada vez más por la radiación al espacio y su temperatura baja respecto de la del aire en 2°, 3° y hasta 7° y 8°. Estos cuerpos enfriados enfrían también la capa de aire que inmediatamente les rodea, con lo cual disminuye su capacidad para contener vapor de agua, y fácilmente llegan á la saturación; entonces deposita el vapor condensado (que excede de su capacidad á la temperatura á que llega) sobre los cuerpos y en forma de gotas muy finas.

Como no todos los cuerpos radian igual cantidad de calor, se enfrían desigualmente; y así ocurre que unos (los más enfriados), se cubren mucho de estas gotillas que se llaman «sereno», y otros apenas se les nota. Las yerbas y las hojas se enfrían mucho por la radiación, ya porque su facultad para esto sea grande, ya también porque están altas y suspendidas en el aire, de modo que reciben poco calor del suelo, y por eso se cubren más del sereno que el suelo ó las piedras.

Un nublado que cubre el cielo impide la formación del sereno, porque contrarresta la radiación. Tampoco se forma cuando hay un viento fuerte, porque éste llega constantemente al contacto de los cuerpos con nuevo aire caliente, de modo que el calor trasladado así incesantemente no da lugar, al pasar junto á los cuerpos, á que llegue el aire á punto de saturación.

El sereno se llama «rocío» cuando el fenómeno ocurre á la madrugada, que es la hora en que más comunmente se dan las condiciones para que se verifique.

*- Terminamos la asignatura el día 5 de Mayo - 1897 -*

---



# APÉNDICES

---

## EXPERIENCIAS DE HERTZ

---

### Experiencias de Hertz sobre las analogías de los movimientos de la electricidad con el vibratorio de las materias ponderables.

**Descarga oscilante.**—Wiliam Thomson estudió la llamada descarga oscilante, cuyo fenómeno es el siguiente: en un condensador, la descarga puede producirse de una manera continua en sentido constante, y cuya intensidad se eleva, y después decrece; esta corriente de descarga puede hacérsele que tenga una oscilación periódica.

*Explicación.*—El dieléctrico de un condensador cargado tiene una tensión, por la que se le puede comparar á un resorte: cuando cesa en un instante la causa de esta tensión, vuelve el dieléctrico á su estado neutro, pero no de una vez, sino como cuando se suelta un resorte, después de varias oscilaciones.

A manera que las oscilaciones de un resorte se aminoran, metiéndolas, por ejemplo, en una masa viscosa, de la misma manera la del dieléctrico, se pueden aminorar poniéndole resistencias eléctricas á su descarga, suficientes para que sea continua. Como, por ejemplo, haciéndola pasar por una bobina inserta entre las armaduras, si el número de espiras de ésta se hace crecer progresivamente, se aumenta el período de oscilación de la descarga, y hasta tal punto se puede hacer crecer este período de oscilación, que las chispas con que se manifiestan se sucedan con lentitud bastante para que las vibraciones que se imprimen en el aire que atraviesan en los puntos de interrupción del conductor, entre en los límites en que el oído humano (38000 vibraciones por segundo) percibe las vibraciones del medio ponderable, como sonido; así ha conseguido Lodge producir una gamma de vibraciones eléctricas, cuyos períodos variaban desde una cienmillonésima á medio décimo de segundo.

Estas analogías de la descarga eléctrica, con las oscilaciones de un cuerpo elástico vibrando, se extiende aún más allá de lo anteriormente expuesto.

Conocidas son en Acústica la comunicación de las vibraciones de unos cuerpos á otros, ó sean los fenómenos de resonancia y los de reflexión que con tanta facilidad se experimentan, con dos diapasones iguales en el aire.

Fenómenos análogos tienen lugar en las ondas de calor y luz, aunque originadas por vibraciones trasversales.

Hertz ha experimentado hechos análogos con las descargas eléctricas osci-

lantes, es decir, ha mostrado que las oscilaciones de la descarga entre los cuerpos electrizados producen en el medio ambiente ondas eléctricas, cuyas propiedades son idénticas á las del calor radiante, ó sea á los fenómenos de reflexión, refracción, interferencia, polarización y difracción.

El aparato de que se sirvió Hertz para producir vibraciones eléctricas continuas, fué una bobina de Ruhmkorff, cuyos polos secundarios se reúnen á dos conductores que forman el *vibrador*; está constituido éste, por dos varillas, frente una á otra, terminadas por bolas metálicas; en virtud de las cargas, alternativamente opuestas, en el medio que rodea al vibrador, se produce un campo eléctrico, cuyas líneas de fuerza invierten periódicamente su sentido y van de una á otra bola, de modo que su dirección media es la del eje de las varillas. A causa del elevado potencial de las cargas, éstas se recombinan, en forma de chispas que saltan continuamente entre las bolas; las oscilaciones de estas descargas, que producen corrientes alternativas rápidas en las varillas, se propagan al medio ambiente, y para su demostración, se emplea un aparato capaz de vibrar al unísono con el *vibrador* eléctrico, ó sea una especie de *resonador eléctrico*, que puede consistir (así como en el caso de la resonancia acústica, en otro diapason idéntico al vibrante) aquí en otro aparato idéntico al vibrante; ó de condiciones tales (de capacidad, resistencia y auto inducción) que sean análogos á los del vibrador.

Si este segundo aparato se pone cerca del vibrador, de manera que sus ejes sean paralelos, empiecen á saltar chispas entre sus bolas. Estas chispas son originadas por las variaciones de la fuerza eléctrica paralelamente al eje de los conductores, van disminuyendo á medida que se aleja el resonador; también su distancia entre las bolas ha de disminuirse en este alejamiento para que salten las chispas.

La analogía con los fenómenos de resonancia, va aún más allá, porque así como en un recinto en que hay muchos objetos, resuenan todos aquellos sólidos, líquidos ó capacidades gaseosas, que por su masa y elasticidad pueden vibrar al unísono con el cuerpo sonoro, de la misma manera si en una sala hay cuerpos metálicos, cercanos, puede ocurrir que al provocar las descargas oscilantes del vibrador eléctrico, salten chispas entre las partes separadas de esos objetos metálicos, cuando por sus condiciones de capacidad, resistencia, auto inducción y distancia de los puntos próximos, estén en condiciones de que se les comuniquen las vibraciones eléctricas del vibrador.

El fenómeno de resonancia eléctrica se produce aun cuando se interponga un tabique entre el vibrador y resonador, pero la acción cesa si este diafragma es conductor.

En este caso se realizan otros hechos análogos á los de la reflexión de las ondas sonoras.

Sabido es que las ondas sonoras al chocar con un obstáculo vuelven reflejadas, y que al interferir con las que llegan, se pueden formar nudos y vientres, que se experimentan por la resonancia en los últimos y el silencio en los primeros de un segundo diapason igual al vibrante.

Análogo efecto se tiene con el resonador eléctrico, es decir, que si se le pasea entre el vibrador y la pared conductora, se ve que en ciertos puntos las chispas desaparecen (los nudos de la onda eléctrica) y en otros se refuerzan (ó sea en los vientres de dichas ondas) repitiéndose los mismos hechos á intervalos de

igual longitud. Esto prueba que las ondas eléctricas que chocan con el obstáculo conductor, se reflejan, interfieren con las que llegan, produciéndose puntos nodales y vientres. Los puntos nodales corresponden ó están á media longitud de onda. Claro es que en una distancia dada hay tantos más nudos cuanto más corta es la onda, y Hertz ha logrado provocar ondas hasta de 30<sup>cm</sup> de largo, para ello empleó como vibrador un tubo de latón de 26<sup>cm</sup> de largo y 3<sup>cm</sup> de diámetro dividido en dos partes, terminadas por casquetes esféricos frente uno al otro, y como resonador un hilo recto de 1<sup>m</sup> de largo terminado también por dos botones esféricos entre los cuales saltan las chispas.

No han sido sólo estas las experiencias de reflexión de ondas eléctricas realizadas por Hertz, sino que á manera que las ondas sonoras ó luminosas se pueden concentrar por reflexión en un punto, según se ha visto en las experiencias conocidas con los espejos ustorios, de modo análogo construyó Hertz un reflector parabólico, consistente en una lámina de zinc de dos meáros de altura, cintrada y sostenida en una armadura de madera de modo que tuviese la forma cilíndrica de sección parabólica. Se sabe que con tal disposición la línea focal es paralela á las generatrices. Si se pone el vibrador de manera que su eje coincida con la línea focal, las ondulaciones se propagan en la dirección del plano de simetría del reflector y se hacen sensibles en el resonador á mucha mayor distancia que si no estuviera el reflector; esta distancia se aumenta, si como en el caso de las ondas sonoras luminosas ó caloríficas, se emplea un segundo reflector igual y cuyos planos de simetría coincidan, entonces puesto el resonador eléctrico paralelo su eje al de este segundo, se producen las chispas, originadas por las ondas reflejadas por este segundo. Un diafragma aislador puesto entre los dos reflectores, no intercepta las ondulaciones; pero si es conductor, hace el efecto de una *pantalla* en los rayos luminosos, que detrás de ella se produce una sombra; análogamente detrás del diafragma conductor, no pasan las ondulaciones eléctricas.

Por estas analogías, entre ondas luminosas y eléctricas, si bien las primeras son de cortísima longitud (un millón de veces más cortas que las eléctricas) se aplica á las últimas la nomenclatura de las primeras.

En primer lugar se propagan en línea recta, como lo prueba su interrupción por la pantalla conductriz; el modo de producción de las ondulaciones eléctricas muestran que están dirigidas paralelamente al eje del vibrador, es decir, que las vibraciones son trasversales, ó como se dice en *Optica*, están polarizadas rectilíneamente.

Las experiencias de refracción las realizó Hertz con un gran prisma de asfalto, de 3° de ángulo refringente. El haz de ondas eléctricas incidentes dirigido sobre el prisma por el vibrador, formó con el refractado que recogió el resonador, un ángulo correspondiente á un índice de refracción de 1,7, que es algo superior al de las experiencias ópticas.

En todas estas experiencias no se ha tenido en cuenta más que el campo eléctrico cuya dirección media coincide con el eje del vibrador.

Pero las corrientes periódicas de las descargas oscilantes, crean además un campo magnético cuyas líneas de fuerza rodean á los conductores, recorridos por las oleadas de viento eléctrico.

Un estudio completo de estos fenómenos debe de comprender los efectos, tanto de las fuerzas eléctricas, como las del campo magnético normal á la dirección de aquellas, actuando á la vez.

Ya Maxwel había adelantado hace tiempo que las perturbaciones eléctricas y magnéticas están en ángulo recto, con relación á la propagación de sus ondas correspondientes, y en ángulo recto las unas respecto de las otras.

Estas experiencias muestran que el medio á cuyo través se propaga la energía eléctrica sufre perturbaciones que no pueden ser comparadas ni á las corrientes de líquidos en los tubos, ni á la propagación de ondas sonoras, porque aunque se notan analogías, también ofrecen diferencias esenciales que caracterizan de un modo particular á la propagación de la fuerza eléctrica.

Respecto de los líquidos, no es lo mismo como corre éste por los tubos, que como corre la electricidad por un conductor, puesto que los líquidos no exteriorizan al correr fenómeno alguno en los tubos, y la electricidad, por el contrario, al pasar por un conductor produce en el medio ambiente efectos muy notables y fáciles de demostrar: así imanta el medio que rodea al alambre conductor, modifica las propiedades ópticas de éste, y por fin, induce corrientes en los próximos que se mueven en su campo. Los recodos que ocasionan una pérdida de fuerza viva en el movimiento de los líquidos y disminuyen el golpe de ariete, en cambio en el flujo eléctrico, las vueltas del hilo de una bobina aumentan la energía de la extracorrente de ruptura.

Aun en las corrientes alternativas, comparables á las vibraciones sonoras del aire de un tubo, hay las diferencias de la alteración del espacio que rodea al tubo por donde pasan las corrientes eléctricas alternativas, y la de que en las vibraciones longitudinales sonoras, las condensaciones y dilataciones máximas son en el sentido del eje del tubo, y en las eléctricas estas condensaciones están en la superficie más exterior del conductor.

Por último, la corriente eléctrica hay que considerarla como el centro de una perturbación en toda la masa ó parte de un conductor, que respecto de él lo calienta y respecto del espacio que le rodea le influencia de capa á capa; y como esto tiene lugar también en el vacío, hay que atribuir al éter la propagación de las ondas eléctricas.

Una corriente produce en el momento que nace una onda electromagnética que se trasmite en el espacio que rodea al conductor, con la misma velocidad que la luz. Cuando ha llegado al régimen permanente, es decir, á tener una intensidad constante en todos los puntos de una sección del conductor, el medio ambiente se pone en un estado de tensión que se manifiesta por una tendencia á contraerse en el sentido de las líneas de fuerza magnética, y en dilatarse en la dirección normal á éstas. El éter que rodea al conductor está en un estado de equilibrio, en capas cilíndricas concéntricas al conductor: cuando la corriente cesa repentinamente, el éter, á manera de un resorte comprimido que se suelta de pronto la retención que así le mantiene, cae sobre el conductor, cediéndole su energía potencial, que se manifiesta como extracorrente.

Una corriente alternativa, origina ondas continuas, que se propagan en el espacio ambiente en las capas cilíndricas ya dichas, y á manera de las luminosas; la sola diferencia consiste en la duración del período de vibración del éter.

En efecto, hay corrientes eléctricas alternativas, (las que veremos se originan por las dinamos de esta clase) cuyas vibraciones son de 50 á 200 por segundo, y dada la enorme velocidad de propagación del éter, estas corrientes producen ondas eléctricas de muchos centenares de kilómetros de largo. En cambio, las vibraciones luminosas desarrolladas, por ejemplo por la llama de una lámpara,

son de 50 trillones en un segundo, de modo que su longitud de onda es de 100 milésimas de centímetro.

Cuando las radiaciones luminosas chocan con un cuerpo, si las absorbe, producen en esto un aumento de calor. Del mismo modo en los cuerpos conductores que interceptan las radiaciones eléctricas se producen corrientes inducidas que se manifiestan por un fenómeno calorífico. El flujo eléctrico inducido se dirige en el sentido de la fuerza eléctrica de la onda, y normalmente á la magnética de la misma. Esta última penetra tanto más en el conductor cuanto mayor es su longitud, de modo que las ondas electromagnéticas cortas, no afectan más que las capas exteriores de los conductores sobre que se repliegan; de aquí la necesidad de emplear como conductores de la corriente de breve período, los tubos, las tiras, ó los cables metálicos en vez de conductores macizos.

Las ondas electromagnéticas, así como las radiaciones caloríficas ó luminosas, llevan consigo una parte de la energía de su manantial, la cual ceden á los cuerpos sobre que inciden. Para evitar esta pérdida en los circuitos de las corrientes alternativas, se ponen dos, una de ida y otra de vuelta, próximas una á la otra. Las ondas producidas por el primero llegan directamente al segundo, al cual restituyen, en forma de corriente inducida la energía que radia. Este resultado lo corrobora de un modo sorprendente la experiencia, cuando se emplean dos conductores concéntricos, por ejemplo un alambre y un tubo; el espacio que rodea á éste no se imanta; todo el campo magnético se establece dentro del tubo en el espacio que rodea al alambre.

A pesar de estos descubrimientos, que permiten considerar la propagación de las acciones electromagnéticas, bajo la forma de ondas análogas á las que trasladan la luz y el calor, el problema sólo se ha empezado á resolver, queda aún en la obscuridad el hecho mismo de la corriente aun en su caso más simple del régimen permanente. La contestación de cómo está el medio que rodea á un conductor, cuando llega al estado de equilibrio estático ordinario, aún no está formulada; Maxwell ha emitido la hipótesis según la cual la electricidad marcha á frotamiento por los conductores, produciendo una agitación molecular que se manifiesta por un calentamiento; Clausius y Edlung creen que el éter es el que se traslada en los conductores, pero mientras no se descubran todas las propiedades de este medio hipotético quedará inexplicado el fenómeno de la corriente eléctrica.

### **Experiencias de Hertz para probar la propagación de las acciones de inducción en los espacios llenos de aire, empleando un tiempo finito y apreciable**

Sabido es que una corriente eléctrica tiene la facultad de dar origen á la fuerza electromotriz en un inductor próximo; se tiene aquí una fuerza central, ó de las que obran á distancia, pero con la diferencia respecto de la gravitación en que su intensidad es inversamente proporcional á la *primera* potencia de las distancias. Con respecto á si se propaga instantáneamente su acción, ó si tarda algún tiempo, Hertz ha demostrado experimentalmente lo segundo con las experiencias siguientes:

Primeramente, y por medio de oscilaciones rápidas, se puso un conductor rectilíneo, en ondas progresivas regulares. Después se logró que un segundo conductor se pusiese también en vibración análoga, por la acción de la del pri-

mero, transmitidas á través del aire; con esto se logró la interferencia de las ondas de ambos conductores, cuyas interferencias se hicieron sensibles á diferentes distancias, en circuitos primarios, con lo que se pudo observar á grandes distancias, diferencias de fases de vibración, con lo que se demostró que la velocidad de propagación de la acción de inducción es finita.

Para estas experiencias se sirvió como conductor primario de (fig. 1.<sup>a</sup>) dos

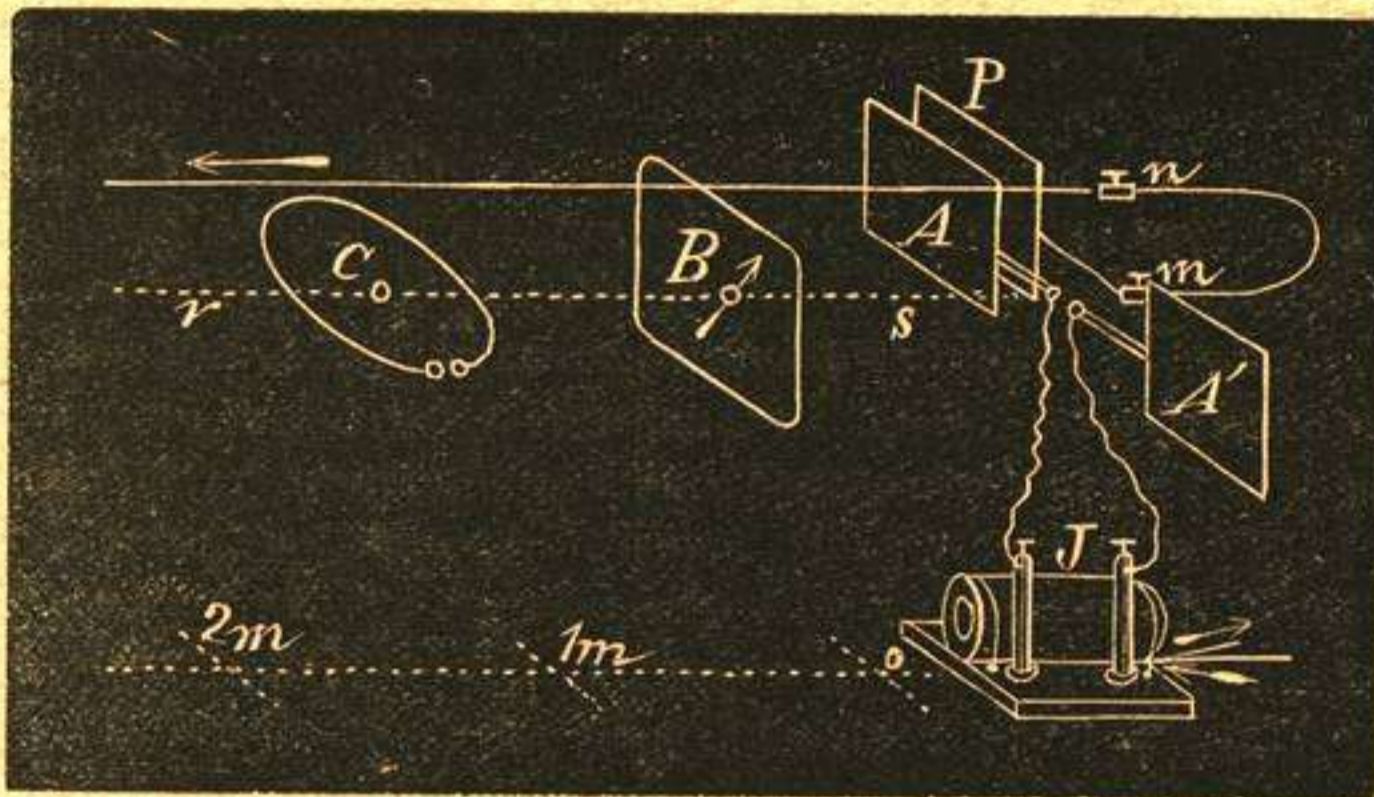


Fig. 1.<sup>a</sup>

láminas cuadrangulares de metal AA', de 40 cm. de largo, unidas por un alambre de cobre de 60 cm.; en la mitad de éste se halla el espacio para que salten las chispas de un inductor J que produce las oscilaciones: el inductor está á 1,5 más bajo que el conductor primario AA', y de modo que el alambre de cobre esté horizontal y el plano de las placas sea vertical; si se imagina por el punto medio del espacio de las descargas, una recta horizontal perpendicular á las vibraciones primarias (tal como rs) á ésta se llama «línea fundamental de las experiencias», y al punto que está á 45 cm. de su origen tomado en el espacio de descarga, se llama el *cero*. Las experiencias se hacen en una sala grande, en la obscuridad, y en la que no haya objetos salientes, á la distancia de 12 metros de la línea fundamental.

Como conductores secundarios, empleó Hertz alambres de varias formas, uno circular; C de 35 cm. de diámetro, otro cuadrado B, de 60 cm. de lado; el espacio de descarga de ambos se regulaba por un tornillo micrométrico, que observaba como antejo; ambos conductores se ponían en resonancia con el primario. El medio período de vibración de los tres, se reguló por Hertz que fuese de 1,4 cienmillonésima de segundo.

Preparado esto, puso el centro del conductor secundario con la línea fundamental, y su plano en el vertical que pasa por ésta, á cuya posición llama primera; aquí no se observaron chispas en el secundario, porque la dirección de la fuerza eléctrica era perpendicular al alambre de éste.

Como segunda posición, adoptó para el secundario que su plano fuese perpendicular á la línea fundamental, quedando su centro en ella. Aquí se observaron chispas, cuando el espacio de descarga estaba por encima ó debajo del plano horizontal que contiene á la línea fundamental; pero no cuando estaba en él. La longitud de las chispas decrecía con la distancia del primario; al principio, rápidamente, después más despacio. Hertz observó esto hasta la distancia de 12 m.

La tercera posición fué poner el secundario horizontal, su centro en la línea fundamental. Cuando empleó el circular C, su centro lo puso en el cero, y movió



lentamente el espacio de descarga alrededor, y observó descargas muy vivas (hasta de 6 mm. de largo de chispas), siempre que el espacio de descarga estaba vuelto al primario, y más débiles cuando estaba al opuesto.

Después de esto, y para producir en un alambre ondas progresivas, por las vibraciones del primario, puso detrás de la lámina A una igual P, de la cual salía un alambre de cobre de 1 mm. hasta el punto  $m$  de la línea fundamental; desde aquí y por medio de un arco de 1 m. de largo, lo llevó al punto  $n$  como á unos 30 cm. sobre el espacio de descarga, y de aquí paralelamente á la línea fundamental, hasta una distancia suficiente para que no perturbase sus ondas, las que pudieran reflejarse en otros conductores; para ello sacó el alambre por una ventana hasta la distancia de 60 m., y allí le condujo á tierra. Si se aproximaba este alambre al conductor circular, se producían vivas descargas en su espacio, cuando se ponía en actividad el inductor, variando su intensidad con la distancia entre las láminas P y A.

Las ondas en el alambre tenían el mismo período que las primarias, pues por la aproximación de los circuitos B y C, se tuvieron las mayores chispas.

Si el alambre se corta un poco por su extremo primitivamente libre y se le acerca uno de los del secundario, de modo que su plano coincida con el del alambre, y su espacio de descarga esté vuelto á éste, se obtienen en los extremos libres del secundario chispas muy débiles, pero crecen al acercarle al alambre; si bien á cierta distancia casi se extinguen y después crecen. Esto muestra que en el alambre se han originado ondas estacionadas, y que el punto donde se extinguen las chispas es un «nodo», y su distancia al extremo mide la media longitud de la onda.

Si la longitud desde  $n$  del alambre se considera múltiplo de las ondas, éste se considera dividido en un cierto número exacto de ondas separadas por nudos; de este modo dedujo Hertz que la media longitud de onda era de 2 m., 8: relacionando esto con la duración de 1,4 cienmillonésima de segundo, calculó que la velocidad de propagación de las ondas eléctricas en el alambre era de 200000 km. por segundo, valor medio entre los calculados por Fiseau y Siemens para alambres de cobre y hierro.

Para estudiar las interferencias de las acciones directas y de la que se propaga por el alambre, se pone el circuito cuadrado B en el cero en la segunda posición, con un espacio de descarga lo más alto: en tal situación, las ondas del alambre no producen efecto alguno, su acción directa da chispas de 2<sup>mm</sup> de longitud. Si se lleva á B por medio de un giro alrededor de un eje vertical á la primera posición, el primario no ejerce acción, por contra las ondas del alambre; producen chispas que pueden llevarse hasta 2<sup>mm</sup>, aproximando P y A. En una posición media, se manifiestan ambas acciones, ya reforzándose ó aminorándose, según su diferencia, de Fase.

Si el plano B se pone de modo que la normal que vaya hacia AA' una vez caiga hacia P y otra del lado contrario á donde está P, en el primer caso sus chispas son más fuertes que en su posición primitiva y en el segundo se extinguen.

Si entre  $m$  y  $n$  se ponen alambres más largos, las interferencias no se perciben por la variación de las fases de ondas en ellos.

Las interferencias se experimentan también en otros puntos que no sea el cero, y de ellas dedujo Hertz que la velocidad de propagación, á través del alambre en un espacio vacío de aire sería de 320000 km. por segundo

También dedujo la confirmación de lo que Faraday adelantó de la posible po-

larización de las fuerzas eléctricas, toda vez que en algunos casos, persistiendo las causas que las producen, desaparecen sus efectos; por consiguiente, estas fuerzas no son partes ó atributos de aquellas causas, sino correspondientes variaciones de la estructura del espacio, á las que se llaman «polarizaciones».

Lo que es muy notable es la demostración de la finita propagación de una fuerza, que actúa inversamente á la «primera potencia» de las distancias.

Para obviar ciertas dificultades, suscitadas por las velocidades diferentes de las acciones electrodinámicas y electromagnéticas, se ha hecho la hipótesis de que las ondas trasversales de la luz son ondas electrodinámicas; esto, una vez demostrado, obviaría algunos escollos con que se tropieza en las experiencias citadas.

### **Experiencias de Hertz para probar que la acción de inducción se propaga en la forma de ondas por los espacios llenos de aire y para medir la longitud de éstas. (Anales de Wiedeman, tomo 34).**

Hertz observó la acción de una oscilación rectilínea sobre un circuito secundario, partiendo del hecho común de la reflexión de la acción de inducción en las paredes de los edificios; en efecto, se producen chispas en los conductores secundarios colocados en tales lugares que la acción inmediata no es posible, y además que están cerca de los muros de la sala de experiencias. Los hechos fueron que los conductores secundarios puestos en movimiento eléctrico por la acción directa de inducción del primario, y que daban chispas débiles; reforzaban esta acción al aproximarlos á los muros, y al acercarlos aún más, cesaban de repente en su actividad. Esto le indujo á pensar que la acción de inducción era ondulatoria y se reflejaba en los muros, y á manera de las sonoras, incidiendo las reflejadas con las que sucesivamente van ligando, se establece un sistema de vibración estacionada eléctrica inductora, en el espacio influido, que es el que produce el refuerzo ó debilitación de las chispas del inducido. Conforme con este concepto, estudió las condiciones más favorables para estas reflexiones.

Las experiencias consistieron en lo siguiente: En la clase del Instituto técnico de Carlsruhe, limitó un espacio de 15<sup>m</sup> de largo, 8,5 de ancho y 6 de altura por una serie de columnas de hierro, y quitó de dentro de él todos los conductos y aparatos metálicos para el gas, de modo que sólo quedaran allí la mesa y bancos de madera. Para dar al muro que servía de frontón, sobre el que se habían de verificar las reflexiones, la condición de conductor eléctrico adosó á él una plancha de zinc de 4<sup>m</sup> de alto y 2<sup>m</sup> de ancho, comunicándola con los conductos de gas y agua; especialmente cuidó de que en los bordes de la plancha no hubiese acumulación de electricidad.

Frente á esta plancha y á unos 13<sup>m</sup>, puso el conductor primario ya descrito, pero de modo que el alambre conductor estuviese vertical, con lo cual se reforzaba y debilitaba la fuerza que era objeto de estudio, en el sentido vertical. El centro del circuito primario quedó en 2<sup>m</sup>,5 sobre la peana, y á esta altura y en las cercanías de la perpendicular trazada desde este centro á la pared, se hicieron las experiencias.

Como secundario empleó el circular ya descrito de 35<sup>cm</sup> de radio, giratorio alrededor de un eje perpendicular á su plano, sujeto á otro horizontal que se

aseguró á un pie de madera aislado, y dispuesto este pie á moverse (arrastrando al círculo secundario) alrededor de un eje vertical.

Los efectos observados los describe Hertz del modo siguiente: «Pusimos el centro del secundario en la vertical, y su plano coincidiendo con el de oscilación que contenía á la vertical, y volvimos una vez el espacio de descarga hacia la pared reflectora, y otra al lado contrario. En general se observaron (en la obscuridad) chispas muy diferentes en ambas posiciones, á saber: hecha la experiencia á  $0,8^m$  de la pared, las chispas fueron más fuertes cuando el espacio de descarga miraba á ella. La longitud de las chispas pudo regularse de modo que la descarga formase una corriente continua, cuando estaba el espacio de descarga vuelto á la pared y que no se produjesen en la posición opuesta.

Repetida la experiencia á  $3^m$  de la pared, ocurrieron los hechos á la inversa: es decir, que la corriente de chispas fué cuando no miraba el espacio de descarga á la pared, y la extinción de ésta cuando estaba vuelto á ella. Alejando el secundario á los  $5^m,5$  se repitieron los hechos como á  $0,8^m$ ; por último, á los  $8^m$  se repitieron los hechos que á  $5$ , aunque no con tanta diferencia. No se verificó una inversión más allá porque la acción directa y las fuerzas complicadas que se producen en las cercanías del primario, perturban el fenómeno.

En la fig. 2.<sup>a</sup> se marca con los números I, II, III, IV, las distancias de secun-

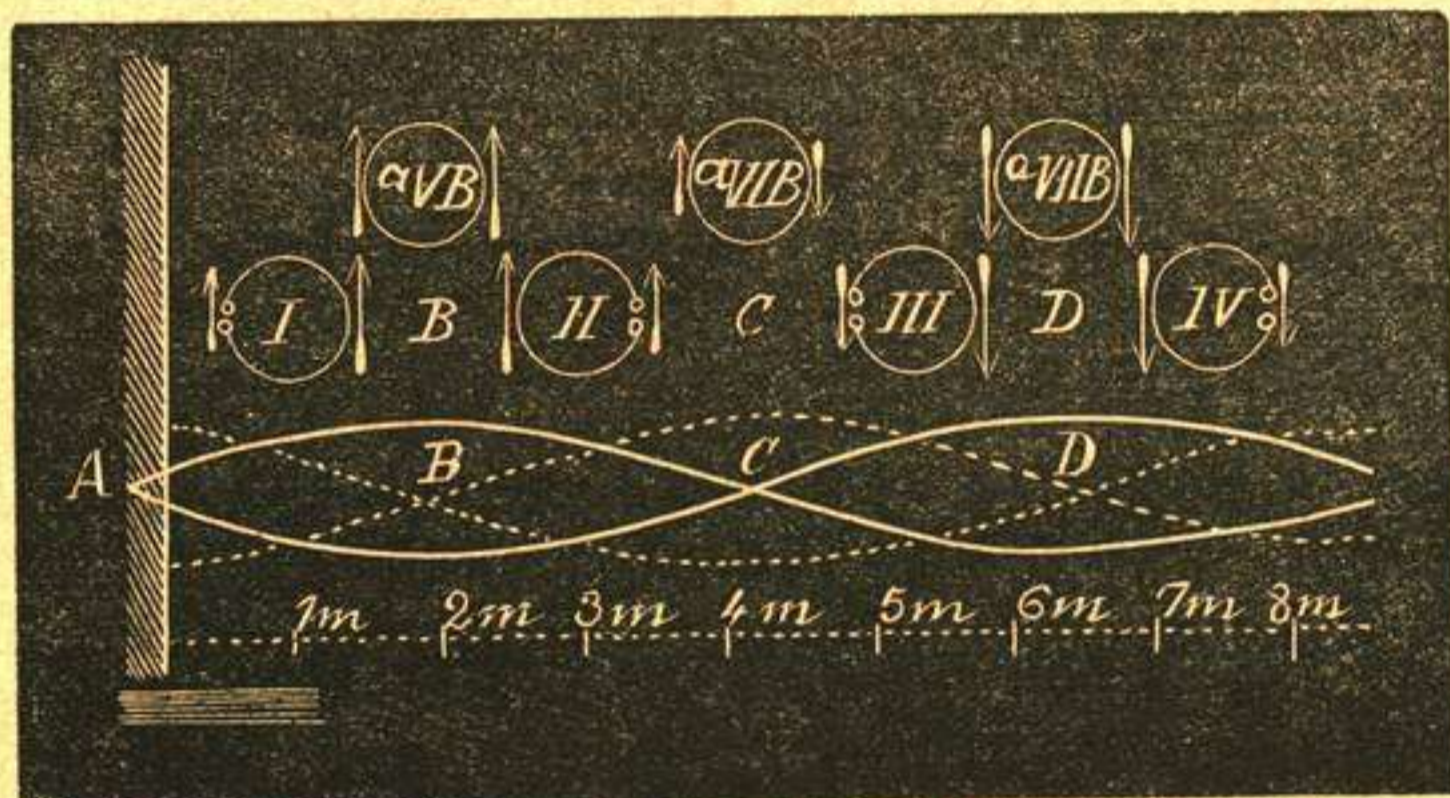


Fig. 2.<sup>a</sup>

dario á la pared, á las cuales la producción de las chispas se reforzaba según estuviese vuelto á ella ó al contrario; y con los números V, VI y VII aquellas distancias en que no se observó este efecto, sino que más bien las chispas en ambas posiciones eran iguales. Por esta razón y en cierto sentido pueden ser considerados los puntos A, B, C, D como *nodales*.

Pero la distancia entre cada dos de ellos no es de *media longitud* de onda, sino de *un cuarto*. Porque cuando una onda eléctrica vertical tropieza con la pared, si ésta es perfectamente conductora, se debe de considerar que en ella hay un nodo, toda vez que en los límites de un perfecto conductor, la fuerza eléctrica desaparece. Aunque en estas experiencias la pared no es conductora perfecta, todavía la fuerza eléctrica de la onda que llega se manifiesta entre límites, por lo que el nodo hay que considerarlo detrás de la pared en el punto A. Esto supuesto, si A C es la media longitud de onda, éstas se establecen estacionadamente como la figura muestra, y las fuerzas que actúan en ambos lados del círculo se-

cundario, como se expresan en magnitud y dirección por las flechas. Así, pues, colocando el secundario cerca de un nudo, y vuelto el espacio de descarga hacia éste, la acción que le refuerza actúa en circunstancias más favorables que la que le debilita; pero si el espacio de descarga está hacia el lado contrario que el nudo, la acción reforzadora está entonces desfavorecida y la que le debilita en circunstancias más favorables.

Cualquiera de ellas que en este último caso esté más favorecida, produce chispas menores que en el primero; con ello se explica el cambio del fenómeno en cada cuarto de onda.

Si es exacta la consideración de que A B es el cuarto de onda, el cambio del fenómeno en B y D debe ser distinto que en C. La figura representa en V, VI y VII el círculo en estas posiciones y las fuerzas que en ellas actúan, y se ve fácilmente que al hacer girar el secundario sobre sí mismo en B y D, hacia uno ú otro lado, las oscilaciones cambian su dirección (relativamente á una dirección determinada) circularmente; las chispas, por tanto, por este giro se anularán una vez ó un número impar de veces. Por el contrario, como en C no varían su dirección las oscilaciones, las chispas no se extinguirán ó será un número par de veces.

Llevando bajo estas hipótesis las experiencias, se nota en realidad que en B decrece la intensidad de las chispas, en cuanto el espacio de descarga se aleja de  $\alpha$ , se anula cuando está en el punto más alto, y vuelve á crecer cuando se acerca á su primitiva posición, alcanzando á todo su primer valor al llegar á  $\beta$ . Análogos fenómenos ocurren en D.

En C, por el contrario, las chispas quedan invariables por el giro; al principio son algo más fuertes, estando el espacio de descarga hacia arriba ó lo más bajo posible que lo considerado teóricamente. Otra de las diferencias del fenómeno de la inversión en C de las en B y D, consiste en que en C la inversión del precedente se obtiene por una inclinación mucho menor. Con poco esfuerzo traen á la memoria estas experiencias las de Acústica, hechas con un diapason cuyo sonido se refuerza ó debilita, poniéndole á diferentes distancias de una pared, así como las de Óptica de los espejos de Fresnel en las interferencias. Si, pues, estas son pruebas de la propagación ondulatoria del sonido y la luz, también las de Hertz deben de considerarse prueba de la propagación ondulatoria de la acción inductora.

Según Hertz, la distancia entre B y C es de 2<sup>m</sup>,4, por tanto, la onda entera es de 9<sup>m</sup>,6 de largo. Aun cuando anteriormente con el mismo aparato se dedujo que la media longitud era de 4<sup>m</sup>,5, la diferencia es insignificante. Si en las primeras medidas se pone 2<sup>m</sup>,9 en vez de 2<sup>m</sup>,8 para la longitud de onda del alambre y 7<sup>m</sup>,1 en vez de 7<sup>m</sup>,5 para la longitud de la coincidencia, se tienen conforme el primero y segundo valor, obtenidos para la longitud de la onda. Hertz, siguiendo en su criterio, trató de hacer sensible la propagación de la onda eléctrica de inducción á largas distancias, poniendo el conductor electromotriz en el foco de un espejo parabólico. Con esto logró dirigir verdaderos rayos de fuerza eléctrica radiantes, con los cuales reprodujo las experiencias elementales que se hacen con los de calor y luz. Con esto demostró que estos rayos no atraviesan los buenos conductores, que para ellos deben de considerarse como opacos, en cambio pueden pasar á través de los no conductores, que son para los rayos eléctricos como los diáfanos ó diatermanos, así se pudieron enviar rayos eléctricos á través de las puertas cerradas, desde una á otra habitación, y producir en las últimas los

efectos de resonancia eléctrica, ó sea la producción de chispas vivísimas en un secundario.

Estos rayos se refractan, como lo prueba su desviación de la dirección rectilínea al pasar del aire á otro medio aislador, y Hertz lo demostró, según se ha indicado, con un prisma de betún de Judea, cuyo ángulo de refracción fué de 30° y el minimum de 22°, ó sea correspondiente á un índice de refracción de 1,69. El índice óptico de refracción de estas substancias bituminosas, es de 1,5 á 1,6.

La trascendencia de estos experimentos, las expresa Hertz en su comunicación á la Academia de Berlín, diciendo: «Se han conducido las experiencias como si se tratase de rayos de fuerza eléctrica; en lo sucesivo, quizá deban de considerarse éstos como rayos de luz de una gran longitud de onda; *en mi sentir, las experiencias hechas, no dejan lugar á duda de la identidad de la luz, calor radiante y ondas electrodinámicas, y de las muchas ventajas que de esta identidad puede sacarse tanto en el campo de la óptica como en el de la electricidad.*»

Coincide, pues, Hertz con lo adelantado por Maxwell de la identidad entre luz y ondas electromagnéticas. Son, pues, ondas del mismo hipotético éter lumínico que ponemos de manifiesto, por sus acciones químicas (Fotografía), cuando su longitud de ondas es sólo de 300 á 400 millonésimas de milímetro, por la impresión de color en nuestros ojos cuando son de 400 á 700, y como calor radiante cuando bajan á 3 milésimas de milímetro, y por último, como fuerza eléctrica cuando la longitud de su onda es de muchos metros.

### De la propagación de las ondas eléctricas por los alambres según Hertz.

Si una corriente eléctrica CONSTANTE fluye por un alambre cilíndrico, llena cada parte de su sección, con igual intensidad; pero si la corriente es *variable* varía esta distribución sencilla, á causa de la auto inducción.

En efecto, en cada sección, sus partes medias están menos distantes de la mayoría de las otras de la sección que sus bordes; la inducción se opone á la variación de la corriente más fuertemente en el centro del alambre que en su periferia, y de aquí que en ésta se hallen favorecidas las corrientes.

Para cien cambios por segundo de una corriente no se puede conocer la variación de la distribución del flujo por el alambre; pero si el número de cambios aumenta, la alteración en la distribución normal del flujo aumenta también rápidamente y se hace notar de tal modo que si una corriente diese en un segundo un millón de cambios de dirección, teóricamente se deduce que por todo el centro del alambre no pasaba corriente, limitándose ésta á correr por las partes cercanas á la periferia.

Ya habían adelantado los físicos Heaviside y Poyntuig, que de las fórmulas de Maxwell se deducía que la fuerza eléctrica que condiciona la corriente, se propaga, no propiamente á través de los alambres, sino que surge fuera alrededor de él y va penetrando hacia su interior, relativamente despacio, de modo análogo á como se propaga en los cuerpos el calor por conductibilidad. Por tanto, cuando la fuerza en el alrededor del alambre cambia constantemente de dirección, su acción no puede penetrar más que á cierta profundidad en su masa. Cuanto más intervalo haya en las variaciones de la corriente, más penetra la fuerza eléctrica en el alambre, y si el intervalo es de duración tan grande que se pueda llamar infinita, ó sea la corriente, es constante; entonces la fuerza

eléctrica tiene tiempo de penetrar toda la masa del conductor y se establece la distribución normal en cada sección, ó el flujo de igual intensidad en toda la masa. Estas deducciones teóricas, son las que Hertz ha confirmado por experiencias hechas con los aparatos ya conocidos en los anteriores experimentos, y empleando ondas que en los alambres tenían una distancia de nodos, de 3 metros próximamente.

El fundamento de las experiencias y el proceso de éstas, son los siguientes:

Cuando un conductor primario actúa induciendo corriente en un secundario, del cual está separado por el aire, es indudable que la acción, cualquiera que sea su proceso, viene y penetra en este segundo desde fuera á dentro. Por tanto, una envuelta metálica enteramente cerrada, es impermeable, inatravesable por esta acción.

Según esto, si se coloca un conductor secundario junto á un primario de corriente alternativa rápida en tan conveniente lugar que se obtengan en el segundo chispas de 5 á 6<sup>mm</sup>, y después se le encierra en una caja de plancha de zinc, no se percibe en él señal alguna de chispas; también se impide la producción de ellas encerrando al primario en la caja de zinc. Pero si las alternativas de corriente son de largo intervalo en el primario, ya la caja pantalla no es tan eficaz, de modo análogo á lo que con respecto á las temperaturas ocurriría; la caja sería eficaz resguardo contra bruscas y rapidísimas variaciones, pero ineficaz respecto de una lenta y constante alteración en más ó menos temperatura. El grosor de las paredes de la caja y la rapidez de las variaciones de la corriente primaria, condicionan la menor ó mayor penetración de la fuerza eléctrica en la caja, pero no es cosa fácil determinar en cada caso la magnitud de estas condiciones según Hertz; una caja cubierta de papel de estaño, es una buena pantalla y lo mismo si se cubre con panes de oro, con tal de que los bordes de las diferentes placas metálicas se toquen. La experiencia lo verificó del modo siguiente:

El grueso de estas láminas no pasaba de  $\frac{1}{20}$  de mm., y la pantalla envolvía estrechamente al secundario; los extremos entre los que resultaban las chispas del primario los separó unos 20<sup>mm</sup>, y para percibir fácilmente el movimiento eléctrico en él, puso un segundo espacio para las chispas, frente al generalmente empleado. El conductor lo rodeó de una pantalla cilíndrica, muy delgada, sin contacto, pero tan junto como le fué posible, y cerca de éste el espacio para las chispas. Entre los polos de la envoltura saltaron chispas muy vivas, como antes en el secundario; pero en el conductor envuelto no saltaron ningunas, ni se pudo corroborar movimiento eléctrico alguno. Aun cuando la producción de electricidad en el primario fué muy intensa, pues se produjeron chispas de 5 á 6<sup>mm</sup>, sin embargo en el que estaba solo separado por la pantalla de  $\frac{1}{20}$  mm. no se notó comunicación alguna, con lo que parece demostrarse que lo que llamamos corriente inducida en un secundario obedece á un proceso que se limita á la envuelta sin penetrar al interior.

Pudiera objetarse que esto ocurre cuando el movimiento eléctrico ha de pasar por un espacio mal conductor, y que otra cosa ocurriría, si como generalmente se dispone, el movimiento se propagara por un conductor, es decir, que si se colocan junto á la lámina final del primario otra conductora y unida á ésta un alambre, por cuyo medio la acción del primario se pueda extender á larga

distancia, el concepto que se tiene de este hecho es que por el alambre se propaga una onda. Pero de las experiencias de Hertz se deduce que todas las perturbaciones eléctricas se limitan al espacio exterior y á la superficie, y que el interior del alambre respecto de la propagación de la onda, no juega papel alguno. Hertz hizo para la corroboración de su aserto otras experiencias, á saber: en el alambre conductor de la onda, (fig. 3.<sup>a</sup>) insertó un alambre grueso de cobre, de 1,5<sup>m</sup> de largo y con espacio de descarga, cuyos extremos venían perpendiculares



Fig. 3.<sup>a</sup>

en el centro del plano de dos láminas metálicas circulares, que cada una tenía 24 agujeros equidistantes cerca de sus bordes: cuando las ondas recorrían el alambre, se producían chispas de hasta 6<sup>mm</sup>, y cuando entre dos agujeros correspondientes de las láminas, se ponía un alambre delgado, las chispas decaían hasta 3,2<sup>mm</sup>. La acción permanecía la misma, poniendo un alambre grueso en vez del delgado, ó 24 alambres entre los correspondientes agujeros. En cambio, el efecto era distinto si estos alambres se ponían en los bordes. Si el primer alambre se ponía en la parte del borde frente al segundo agujero, las chispas descendían á 1,2<sup>mm</sup>: si los alambres en esta disposición eran 4 á igual distancia, las chispas decayeron á 0,5<sup>mm</sup>; para 8 alambres bajaron á 0,1<sup>mm</sup> y para 24 no se notaron ya chispas. También ensayó Hertz el poner los alambres interiores de mucha menor resistencia que los exteriores, sin notar por ello variación en los fenómenos observados.

La experiencia fué variada, aproximando ambos discos de modo que los alambres tendidos entre ellos (excepto uno para el micrómetro de chispas) casi formaban una caja (fig. 3.<sup>a</sup>). Uno de los discos *a* quedó en comunicación con el alambre central, el otro *b* tenía en su centro un agujero por donde penetraba el alambre aislado; este disco tenía unido un tubo conductor *c* que rodeaba sin tocarle al alambre hasta su espacio de 1,5<sup>m</sup> y cuyo extremo libre *d* estaba en contacto con el alambre. De este modo el alambre con su espacio de descargas quedó en un espacio resguardado metálicamente y por tanto este ordenamiento no ofreció ningún nuevo fenómeno: adelgazando la pared del tubo se llegó á determinar qué grosor límite era necesario para el resguardo. Los tubos de latón, estaño ó de pan de oro, por muy delgados que fuesen, servían de resguardo; los tubos de cristal, química y débilmente plateados, lo resguardaron aunque la capa de metal no llegaba á un grosor de  $\frac{1}{200}$  mm. Se puede, pues,

asegurar, que la corriente más viva, que pasa por un alambre, no penetra en su interior más allá de lo que entra la luz que es reflejada en su superficie. El verdadero espacio por el que marchan las ondas eléctricas, no está en el alambre sino en su alrededor, y en vez de decir que van por el alambre debe decirse que le acompañan. De lo dicho se infiere, que las rapidísimas vibraciones eléctricas son completamente ineficaces para penetrar las capas metálicas de algún espesor, y aun es imposible que produzcan chispas en el

interior de estas envolturas. Pero como en el interior de recintos metálicos *mal cerrados* se originan chispas, parece preciso admitir que la acción eléctrica penetra por las aberturas. Esta deducción, al parecer exacta, contradice completamente lo que anteriormente se ha experimentado, y para examinar esta especie de contradicción, hizo Hertz que el tubo de resguardo (fig. 3.<sup>a</sup>) no se comunicara en *d* con el alambre, y con esto las ondas eléctricas venían en la dirección de *A* hacia *d*. Así dispuesta la experiencia obtuvo chispas de igual magnitud que las producidas en el espacio de descarga, sin resguardo alguno, y no disminuyeron aun con tubos de 4 m. de largo. De esto hubo de deducir que la onda se propagaba desde *A* por *c* en su parte exterior, y que en *d* se dividía: una parte seguía en la misma dirección, y la otra penetraba en *d* al interior, corría por el espacio de aire intermedio entre tubo y alambre y originaba las chispas en *A*; esta última parte desaparece en cuanto se une en *d* el alambre con el tubo, aunque sea por una cápsula de estaño. Hertz hizo otras experiencias en corroboración de esto mismo, y que no relatamos por creer suficientes las expuestas para tener por experimentado que el antiguo concepto de creer á los *conductores* como cuerpos que interiormente propagan la electricidad, y no conductores á los que se oponen á este paso es completamente opuesto al nuevo, deducido de estos hechos, á saber: que la propagación de las ondas eléctricas se verifica *á través* de los llamados no conductores y que los llamados conductores ofrecen una gran resistencia á la propagación de las variaciones rápidas eléctricas; parece, pues, que debían de trocar sus nombres respecto de la conducción, los cuerpos que antes fueron clasificados.

Indudablemente los metales son malos conductores de la fuerza eléctrica, y justamente por eso resisten en cierta relación, el que éste se disperse por ellos, originando el que permanezca unida, viniendo á ser así *guías de* la visible fuente de esta fuerza (la electricidad), de cuya condición arranca la usada terminología.







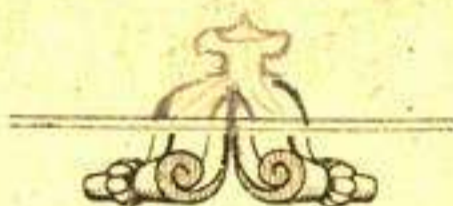


MANUEL Diary

SE ADMITEN SUBSCRIPCIONES

A TODAS CUANTAS OBRAS SE PUBLICAN

EN ESPAÑA Y EL EXTRANJERO



ESTA CASA

SE ENCARGA DE PROPORCIONAR

TODOS CUANTOS LIBROS SE DESEEN

DE TODOS LOS IDIOMAS



# LIBROS

PARA TODAS LAS CARRERAS

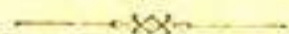


GRANDES TALLERES

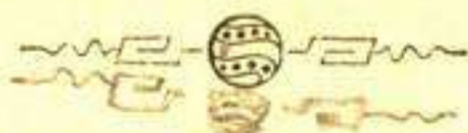
DE

## IMPRESA Y ENCUADERNACION

Comercio, 57, y Sillería, 15



Para obras de lujo cuenta esta casa con un magnífico surtido de Tapas para su encuadernación.



### GRAN SURTIDO

EN NOVELAS Y DRAMAS

*Diaz, Diaz, Diaz*



SILVA  
RENTAL

I. CARDENAL CISNEROS

**T24- 105**

FONDO ANTIGUO

S. XIX-XX