

RICALDONI



APUNTES

DE

FÍSICA

*M. H. de Bose*  
**APUNTES**

# DE FÍSICA

**AJUSTADOS A LOS NUEVOS PROGRAMAS**

DE

**INSTRUCCIÓN SECUNDARIA Y PREPARATORIA**

POR

**TEBALDO J. RICALDONI**

Ingeniero Civil

PROFESOR DE MATEMÁTICAS Y FÍSICA DEL COLEGIO NACIONAL DE LA CAPITAL.  
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE FÍSICA  
Y EX DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

---

TEXTO APROBADO POR EL MINISTERIO DE INSTRUCCION PÚBLICA

---

Decreto de fecha 28 de enero de 1898

SEGUNDA PARTE  
CUARTA EDICIÓN

BUENOS AIRES

"ARGOS" -- CASA EDITORA, IMPRENTA Y ENCUADERNACIÓN

657 - Calle Cuyo - 657

1908



*Mar 200-79*

ES PROPIEDAD DEL AUTOR



1898

18 NOV 1942

IMPRESA «ARGOS», EDITOR

## PRÓLOGO DEL EDITOR

---

Con placer lanzamos á circulación la 4.<sup>a</sup> Edición de la Física de Ricaldoni.

Esta es la mejor prueba de la notable aceptación que esta obra ha tenido y la casa editora no ha omitido gasto alguno para que esta edición aparezca notablemente mejorada.

El autor la ha revisado prolijamente y ampliado introduciendo muchas páginas de texto, y más de 50 clichés con el objeto de ponerla al día con los últimos adelantos de esta ciencia.

Los modernos aparatos de experimentación, los últimos experimentos sobre corrientes de alta frecuencia, telegrafía sin hilos, Radium, etc., todo ha sido introducido en esta obra que hoy la hacen la mejor de texto que se haya publicado.

EL EDITOR.

---

# LIBRO PRIMERO

---

## **ELECTRICIDAD ESTÁTICA**

---

### CAPÍTULO PRIMERO

---

#### **FENÓMENOS GENERALES**

---

1.—**Desarrollo de la electricidad por el frotamiento.**—Desde 600 años antes de nuestra era *Thales de Mileto* sabía que un trozo de *ambar* frotado, tenía la propiedad de atraer los objetos livianos.

Veintidos siglos pasaron sin que este dato diera lugar á ningún estudio, ni á ningún resultado práctico, hasta que en el año 1600, el *doctor Gilbert*, médico de la reina de Inglaterra, hizo notar que muchas otras substancias poseían esta curiosa propiedad, como la *resina*, el *vidrio*, las *piedras preciosas*, etc.

Ese fué el origen del estudio de la electricidad que hoy nos presenta tantas maravillas benéficas para la humanidad.

—Puede comprobarse ese desarrollo de electricidad, tomando una *barra de lacre, vidrio*, etc., y después de calentarla para secarla, frotarla vivamente con un trozo de franela. Si enseguida pasamos esa varilla sobre al-

gunos pedacitos de *papel*, *paja*, etc., veremos que estos cuerpos livianos, se adhieren al cuerpo electrizado.

—El cuerpo que posee esta propiedad de atraer los objetos livianos, se dice que está *electrizado* ó que tiene una *carga eléctrica* ó que tiene *electricidad*.

Un cuerpo *no electrizado* se dice que está al *estado neutro* y finalmente, quitarle la electricidad á un cuerpo, es *descargarlo*.

2.—Estas no son únicas manifestaciones de la electricidad desarrollada por frotamiento, pues, si á un cuerpo electrizado le acercamos la mano experimentaremos ciertas ligeras *conmociones* y si este experimento lo hacemos en un cuarto á oscuras, se *verán* chispas que estallan entre la mano y el cuerpo electrizado.

3.—**Péndulo eléctrico.**—Hay sencillos aparatos que permiten determinar si un cuerpo está electrizado. Esos aparatos se llaman *Electróscopos*.

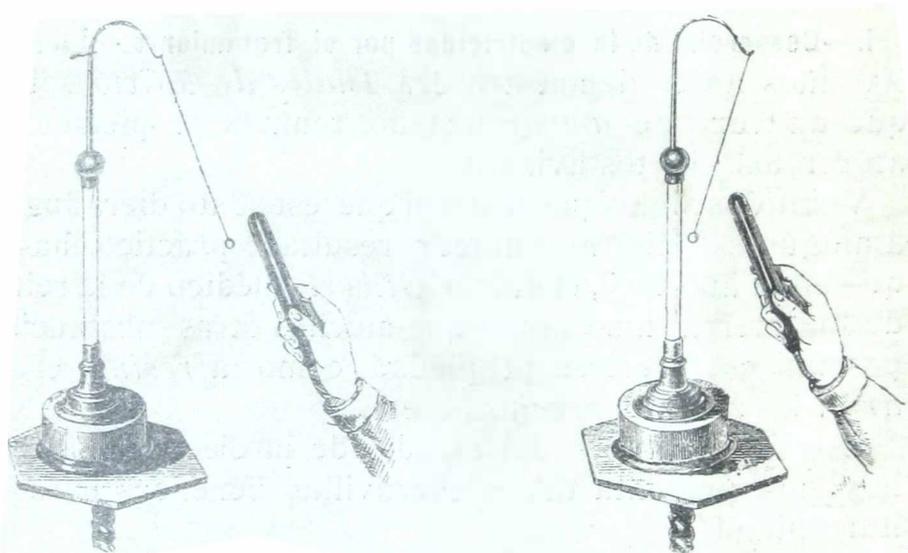


Fig. 1

Fig. 2

Péndulo eléctrico

El más simple de ellos es el péndulo eléctrico (*figura 1*), que consiste en una esferita de *médula de saúco*,

suspendida al extremo de un soporte de vidrio por medio de un cordoncito de seda.

Si frente á la esfera de médula de saúco ponemos una varilla de vidrio frotada por una franela, veremos que la esfera es primeramente *atraída* por la varilla y en seguida *rechazada* (fig. 2).

4.—Otro aparato que puede *revelarnos* si un cuerpo está electrizado es el *Electróscopo á hojas de oro* (fig. 3), que como vemos, consiste en dos *hojuelitas de oro* de 5 ó 6 centímetros de largo que están fijadas al extremo de una varilla de cobre *t*, terminada por una esfera ó platillo *p*.

La varilla *t* está fijada en una abertura hecha en la parte superior de una esfera de vidrio *e*.

Si la varilla ó platillo *p* está electrizado, las hojuelas divergen como se nota en la figura.

Producen el mismo efecto dos hojuelas de *aluminio* ó dos hojas de *papel*.

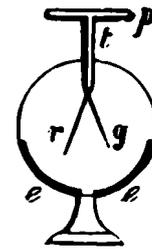


Fig. 3  
Electróscopo á  
hojas de oro

5.—**Conductibilidad.**—Tómese un *electróscopo á hojas de oro* *e*, una *bola metálica* *b* sostenida por un *pie de vidrio* y únanse esta bola y electrómetro por medio de un *hilo de cobre*, suficientemente largo para que dé algunas vueltas en una sala y suspendiéndolo por unos hilos de seda colocados en el techo.

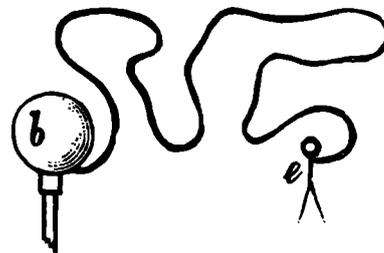


Fig. 4  
Experimento de Gray

Preparado así el experimento, *frotemos la esfera* *b*. La esfera se electrizará é *inmediatamente* veremos que las hojas del electrómetro *divergen*, lo cual nos manifiesta que la electricidad fué *transmitida instantáneamente*, de uno al otro extremo del hilo de cobre.

—Si *en vez de un hilo de cobre*, usamos una cuerda de *cañamo*, observaremos el mismo fenómeno, pero las hojuelas del electrómetro *divergerán menos*.

—Finalmente, si en vez del hilo de *cobre* ó *cañamo* usamos un *cordón de seda*, las hojuelas del electrómetro *no divergen*.

—De lo dicho sacamos la consecuencia de que *la electricidad se propaga á través del hilo de cobre*, ó bien que el *cobre conduce* la electricidad ó también que el *cobre es conductor* de la electricidad.

El *cordón de seda* será un *no conductor* ó *aislador* y finalmente, el *cañamo* será un *semi-conductor*.

En realidad, no existen cuerpos *aisladores*, pues *todos los cuerpos transmiten* más ó menos la electricidad.

**6.—Experimento de Gray.**—El experimento anterior, con leves modificaciones, es el experimento de *Gray*.

En 1727, este físico inglés frotó un tubo de vidrio y notó que atraía los objetos livianos.

Le colocó un tapón de corcho, y después de frotar *al tubo* notó que el corcho también gozaba de las mismas propiedades.

Al corcho le agregó una varilla de madera con una bola de marfil en su extremo y observó que frotando el tubo la bola de marfil estaba cargada de electricidad.

Finalmente, colocó la bola de marfil en el extremo de una cuerda y constató que la electricidad desarrollada por frotamiento sobre el tubo, era *transmitida* por el corcho, varilla de madera y cuerda, hasta la esfera de marfil.

**7.—Cuerpos buenos y malos conductores.**—Con los experimentos anteriores, hemos visto que hay cuerpos como el *cobre* en que la electricidad es *transmitida* instantáneamente. Este cuerpo y otros como él, *son llamados buenos conductores*.

Hemos visto que otros cuerpos como la *seda* *no transmiten ó transmiten mal* la electricidad y estos cuerpos se llaman *malos conductores*.

Finalmente los cuerpos que como el *cáñamo* transmiten imperfectamente la electricidad son llamados *semi-conductores*.

—Damos á continuación una planilla de varios cuerpos de las tres categorías:

BUENOS CONDUCTORES	SEMI-CONDUCTORES	MALOS CONDUCTORES
<i>Plata</i> . . . . .	Cuerpo humano. . . . .	Aceites
<i>Cobre</i> . . . . .	Algodón. . . . .	Porcelana—Seda
<i>Metales</i> . . . . .	Madera seca. . . . .	Resina—Gutapercha
Carbón de retorta. . . . .	Mármol . . . . .	Ebonita—Parafina
Agua . . . . .	Papel . . . . .	Vidrio—Aire seco

**8.—Aisladores.**—Estos cuerpos que están en la categoría de los *malos conductores*, toman también el nombre de *aisladores*, aunque en realidad no lo sean, pues ya hemos dicho que *todos los cuerpos* conducen más ó menos la electricidad.

Con preferencia, se usa la *gutapercha*, *ebonita* y *vidrio*, para la construcción de los soportes, de los cuerpos electrizados, con el objeto de que la electricidad de que está cargado el cuerpo no sea transmitida á otra parte.

**9.—Depósito común.**—Si los cuerpos electrizados no estuvieran sostenidos por soportes aisladores, se *descargarían* enseguida, pues, siendo las substancias que componen la tierra buenos conductores, la electricidad de esos cuerpos electrizados se transmitiría á la tierra, la que teniendo un volumen tan enorme, no manifiesta las propiedades eléctricas que le son transmitidas.

Luego, *un conductor ligado á la tierra no puede electrizarse*.

De allí el nombre que se le dá á la tierra, de *Depósito común*.

—Es por eso, que *no es posible* electrizar una barra de *cobre* que tenemos *en la mano*, pues la electricidad que se desarrolla en la barra, es transmitida al cuerpo humano y de allí pasa al depósito común.

Sin embargo, si nosotros *nos aislamos* de la tierra ó si calzamos un guante de goma ó si á la barra de metal le ponemos un mango de vidrio, esa barra podrá electrizarse por frotamiento y conservar su electricidad.

**10.—Distinción de las dos electricidades.**—Ya hemos visto (3) que si se atrae la bola de médula de saúco del péndulo eléctrico, hasta que se ponga en contacto con la varilla de *vidrio*, se verifica enseguida una *repulsión*.

Pero si á este péndulo que es repelido por la varilla de vidrio le acercamos otra varilla de *resina* previamente frotada, veremos que la *atrae*.

Luego, la electricidad de la varilla de *vidrio* y la de la *resina* obran de manera opuesta, de donde se ha sacado la consecuencia que hay *dos especies de electricidad*.

Se ha dado el nombre de *electricidad positiva* á la electricidad *vítrea* y de *electricidad negativa* á la *resinosa*.

La primera electricidad se representa con el signo + (*más*) y á la segunda con el signo — (*menos*).

**11.—**Cuando el péndulo se puso en contacto con la varilla de vidrio, el péndulo *se cargó de electricidad positiva* y enseguida vimos que si tomábamos dos varillas electrizadas, una de *vidrio* y otra de *resina*, el péndulo era *atraído* por la *resina* y *rechazado* por el *vidrio*, luego se ha deducido la ley:

*Dos cuerpos que tienen la misma electricidad se rechazan y los que tienen electricidad distinta se atraen.*

—Esta ley nos explica *porque las hojas de oro* del

electrómetro se separan cuando se electrizan. Para demostrar la repulsión podemos hacer uso del doble péndulo cuyas dos esferitas puestas en contacto con un cuerpo cargado de electricidad se repelen por que las dos esferas se hallan cargadas de electricidad del mismo nombre.

12.—De lo dicho resulta, que cuando se quiere saber de qué clase de electricidad está cargado un cuerpo, nos bastará electrizar positiva ó negativamente un péndulo eléctrico por medio del vidrio ó la resina frotada. Enseguida acercáramos el cuerpo al péndulo y si éste es *atraído*, prueba que el cuerpo tiene *electricidad contraria* á la carga del péndulo. Si al contrario el péndulo es *rechazado*, prueba que el cuerpo está cargado de electricidad del mismo nombre que el péndulo.

13.—**Producción simultánea de las dos electricidades.**— Cuando se frota la varilla de vidrio con una franela, parece que debería electrizarse también la franela, cosa que en *realidad sucede*, pero como la franela está en contacto con el cuerpo humano, la electricidad desarrollada en ella es inmediatamente transmitida al depósito común.

Si se toma la franela con la mano enguantada en goma, la franela presentada al péndulo dá manifestaciones de electricidad.

Lo mismo sucede si se frotran dos cuerpos *aisladores* entre sí, ó dos cuerpos *conductores* pero con mangos aisladores.

*Una de las electricidades no se produce jamás sin producirse la otra.*

14.—Hemos visto, pues, que si frotamos entre sí dos cuerpos, uno se carga de electricidad positiva y el otro de electricidad negativa, pero esto *no quiere decir* que el *mismo* cuerpo se cargue siempre con la *misma* electricidad.

Así, si frotamos dos trozos de *franela* con una varilla de *vidrio* y otra de *resina*, sabemos que el vidrio se carga de electricidad *positiva* y la resina de electricidad *negativa*, luego, el primer trozo de franela estará cargado de electricidad *negativa* y el segundo de electricidad *positiva*.

Vemos, pues, que el mismo cuerpo, *franela*, se ha cargado según las circunstancias de electricidad positiva ó de electricidad negativa.

15.—La ley que marca la clase de electricidad de que se debe cargar un cuerpo, es sumamente complicada.

Este fenómeno depende de circunstancias distintas, tales como el *pulimento* de las superficies, su *temperatura*, el *sentido* en que se frota, etc.

—Así, si dos platillos de *vidrio*, uno *pulido* y el otro *esmerilado*, se frotan, el vidrio *pulido* se carga de electricidad *positiva* y el otro de electricidad *negativa*.

—Si se frotan dos trozos en un mismo cuerpo igualmente esmerilado pero un trozo más caliente que el otro el cuerpo *más caliente* se carga de electricidad *negativa* y el *más frío* de electricidad *positiva*.

—Si se frotan dos cintas de seda en cruz, la cinta que es frotada transversalmente se carga de electricidad *positiva* y la otra negativamente.

16.—**Serie eléctrica.**—Damos á continuación una serie de cuerpos en la cual cada uno de ellos frotados con el que *le sigue*, se carga de electricidad *positiva*, y *negativamente* con cualquiera de los que le preceden.

Este fenómeno se hará tanto más sensible cuanto más *separados* están los cuerpos en la serie.

Piel de gato . . .	Tejidos de lana..	Caucho
Vidrio pulido... .	Plumas. . . . .	Resina
Marfil . . . . .	Algodón . . . . .	Gutapercha
La mano . . . . .	Papel . . . . .	Vidrio esmerilado
Madera . . . . .	Seda . . . . .	Metales
Azufre . . . . .	Goma laca . . . .	Algodón pólvora

**17.—Equivalencia de las dos electricidades.**—Si tomamos los discos de *Wilcke* (fig. 5), que son un disco de vidrio y otro de metal forrado en paño, con mangos aisladores y los frotamos uno con otro, cada uno de ellos se cargará de electricidad de distinto nombre, lo que se constatará si los aproximamos separadamente á un péndulo. Pero, si lo volvemos á juntar ó los acercamos al péndulo manteniéndolos equidistantes de él, el péndulo no dará manifestación alguna, luego, el efecto de la carga positiva del vidrio, es *destruido* por el efecto de la carga negativa del paño, luego, resulta que la resultante ha sido *cero*, y como los efectos de las dos electricidades son contrarios, resulta que *las cargas positivas y negativas desarrolladas por el frotamiento son equivalentes*.

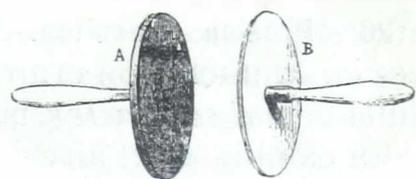


Fig. 5  
Discos de Wilcke

**18.—Diversas fuentes de electricidad.**—Además del frotamiento, se verá más adelante que existen otras fuentes de electricidad, como la *presión*, las *reacciones químicas*, el *calor* y las *acciones mecánicas*.

—Respecto á la *presión*, para comprobarlo nos bastará comprimir uno contra otro un trozo de *corcho* y otro de *caucho*.

El corcho se electriza positivamente y el caucho negativamente.

**19.—Densidad Eléctrica.**—Más adelante veremos, que la electricidad *se distribuye en la superficie* de los cuerpos.

Luego, podemos *imaginarnos* que los cuerpos electrizados están *sumergidos en una atmósfera de electricidad*, sin que por esto, digamos que la electricidad sea materia.

Como esta *capa* de electricidad, no es del mismo es-

pesor en todos sus puntos, sino que las manifestaciones eléctricas de cada punto del cuerpo son tanto más distintas, cuanto más irregular es la forma del cuerpo, se ha convenido en llamar *Densidad Eléctrica* en un punto, la *cantidad* de electricidad, *por unidad de superficie*, en ese punto.

**20.—Presión Eléctrica.**—La carga eléctrica está á su vez en contacto con el aire. Si este es seco y por consiguiente *mal conductor*, la carga eléctrica, es conservada.

En cambio, si el aire es húmedo, es *buen conductor* y la electricidad pasa á la atmósfera.

Se ha dado el nombre de *presión ó tensión* eléctrica, el *esfuerzo* que hace la electricidad para escaparse del cuerpo, esfuerzo que aumenta con la cantidad del fluido desarrollado.

Es comparable á la tensión de un gas en una vasija.

Si las paredes de la vasija son permeables el gas se disipa. Si es impermeable el gas es retenido.

Aquí las paredes de la vasija son el aire *seco* y el *húmedo*. Es permeable cuando el aire es húmedo é impermeable para la electricidad, cuando el aire está seco.

**21.—Idea del Potencial eléctrico.**—La definición precisa del *Potencial*, reposa sobre una serie de consideraciones matemáticas de un orden demasiado elevado, por cuyo motivo trataremos de *dar una idea* de él, por medio de comparaciones con otros fenómenos físicos ya conocidos.

—Si tomamos dos vasijas con un líquido y las ponemos en comunicación por medio de un caño y si en una de las vasijas el *nivel* del líquido es superior al nivel que tiene en la otra, el líquido se pondrá en *movimiento* hasta que en las dos vasijas esté al *mismo nivel*.

La energía que se ha puesto en juego, depende no sólo de la *cantidad* de líquido que pasa de una vasija á la otra, sino *también* de la *diferencia de nivel*.

—Análogamente, si tomamos dos cuerpos á *diferente temperatura*, habrá un *paso* de calor de uno á otro cuerpo y la energía que se ha puesto en juego, no sólo dependerá de la *cantidad* de calor que tiene cada cuerpo, sino también de su *diferencia de temperatura*.

Esta comparación que satisface tanto á nuestros jóvenes alumnos, no es exacta, puesto que ya sabemos que una cierta cantidad de calor  $C$  es equivalente á un cierto número de kilogrametros, mientras que una cierta cantidad de electricidad  $Q$  para ser igual á  $n$  kilogrametros será necesario multiplicarla por la diferencia de potencial  $E$ .

—Lo mismo, en una descarga eléctrica que se efectúa entre dos cuerpos, la energía que se pone en juego, no sólo depende de la mayor ó menor *cantidad* de electricidad que poseen los dos cuerpos, sino también, de su *diferencia de potencial*.

De allí se explica, que á la *diferencia de potencial*, se le dá también el nombre de *diferencia de niveles eléctricos* y también *diferencia de temperaturas eléctricas*.

Un aumento de carga eléctrica producirá en un *mismo cuerpo*, un *mismo* aumento de potencial, pero un mismo aumento de carga eléctrica sobre *dos cuerpos diferentes*, podrá producir una *diferencia de potencial distinta*.

—Se dice que dos conductores tienen el *mismo potencial*, cuando estos conductores puestos en contacto ó en comunicación por un hilo, no producen intercambio de electricidad.

De lo expuesto vemos que podrá haber casos en que un *cuerpo grande*, que contiene *mucha cantidad* de electricidad, podrá tener el *mismo potencial* que un cuerpo pequeño, que tiene *poca cantidad* de electricidad.

**22.**—Del mismo modo que se puede juzgar de la diferencia de temperaturas, por medio del *termómetro*, hay

aparatos para medir la *diferencia de potencial* de dos conductores.

Estos aparatos son los *electrómetros* que ya conocemos y los *electrómetros* que veremos más adelante.

Para operar, es decir, determinar la *diferencia de potencial* entre dos conductores, bastará ligar un conductor, por un *hilo largo*, con una *pequeña esfera* que constituya el platillo superior del electrómetro y observemos la *divergencia* de las hojas de oro.

Enseguida hagamos la misma operación con el otro conductor y *si la divergencia es la misma*, esto querrá decir que los dos conductores tendrán el *mismo potencial*.

—Cuando un conductor ligado al electrómetro *no produce* divergencia en las hojas de oro, esto quiere decir que el conductor tiene *potencial cero*.

—Todo conductor puesto en *comunicación con la tierra*, tiene potencial *cero*.

—El potencial de un cuerpo puede ser considerado como *positivo* ó *negativo*, según sea la naturaleza de la carga eléctrica.

---

## CAPÍTULO II

## MEDIDA DE LAS FUERZAS ELÉCTRICAS

23.—**Leyes de Coulomb.**—Su representación algébrica.—  
Las leyes de *Coulomb* son dos:

1ª *Las repulsiones y atracciones de dos cuerpos electrizados, varían en razón inversa del cuadrado de la distancia.*

2ª *A igual distancia, estas fuerzas son proporcionales al producto de las masas eléctricas, es decir, al producto de las cantidades de electricidad esparcida en sus superficies.*

24.—Para traducirlas al lenguaje *algébrico*, llame-mos  $m$  y  $m'$  las *masas* eléctricas de los cuerpos electrizados y  $d$  la *distancia* entre los dos cuerpos, que se suponen reducidos á un punto, resulta que la fuerza de atracción ó repulsión estará expresada por

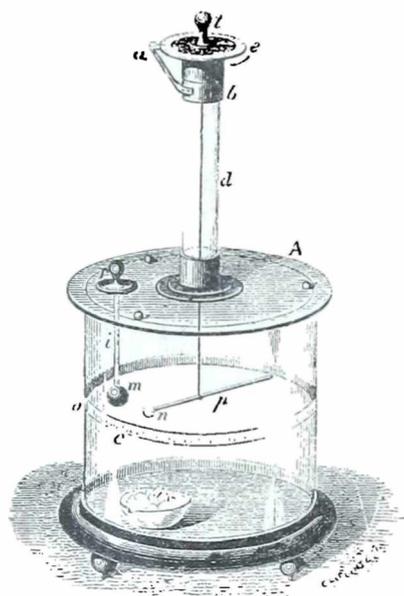
$$F = \pm \frac{m \times m'}{d^2}$$

Se usará el signo  $+$  cuando hay repulsión, pues las dos cargas tendrán igual signo y al contrario se usará el signo  $-$  cuando hay atracción.

—Los aparatos destinados á *comparar* entre sí las cantidades de electricidad, son: la *Balanza de torsión* ó *de Coulomb* y los *electrómetros á cuadrante*.

Por ahora nos ocuparemos de la primera.

**25.—Balanza de Coulomb.**—La Balanza de *Coulomb* ó de torsión, consiste (*fig. 6*) en una varilla  $p$  de ebonita ó cualquier otra substancia aisladora, terminada en un extremo por una esfera  $n$  de médula de sauco *dorada*. Esta varilla está suspendida por un hilo fino de plata al rededor del cual puede girar.



**Fig. 6**  
Balanza de Coulomb

Esta varilla  $p$ , oscila libremente dentro de un cilindro de vidrio á base circular, que lleva una graduación á la altura de esta varilla.

El cilindro de vidrio está cubierto por una tapa móvil de vidrio  $A$ , la cual lleva en su centro un tubo  $d$ , terminado por un sombrerete metálico  $b$ .

En el tornillo  $t$  que está sobre el tubo, es donde se suspende el hilo de plata  $t p$ .

Finalmente, la tapa  $A$ , tiene una abertura  $r$  por

la cual se puede introducir ó sacar una varilla aisladora, en cuyo extremo tiene una esferita  $m$  de una substancia conductora.

— Para operar, se empieza por girar la tapa, hasta que la esfera  $m$ , se coloque frente á la división *cero*.

Enseguida, se mueve el tornillo  $t$ , hasta que la esfera  $n$  ocupe la posición que ocupaba la esfera  $m$ , luego tendremos que la esfera  $n$ , está en el punto *cero sin que el hilo esté torcido*.

Obtenido ésto, comuniquemos á la esfera móvil  $n$  una carga eléctrica y otra carga del *mismo* signo á la esfera  $m$ , la que introduciremos enseguida al cilindro.

Estando las dos esferas  $m$  y  $n$  cargadas de electricidad

del mismo signo, la esfera *móvil* será rechazada, como se ve en la figura y torcerá el hilo de plata.

Ahora bien, se sabe que *la fuerza de torsión del hilo, es proporcional al ángulo de que el hilo se ha torcido.*

Para medir con la balanza las fuerzas de torsión que *equilibran las fuerzas repulsivas*, nos valdremos del sombrerete metálico, cuyo detalle está indicado en la *figura 7*, pues hay un círculo graduado y un nonius, que nos permite medir los *ángulos* de torsión.

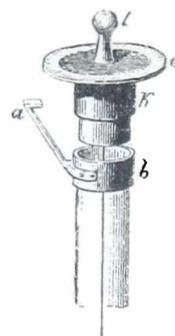


Fig. 7  
Balanza  
de Coulomb

#### 26.—Cantidad, fuerza y campo eléctrico.—

Se dice que dos cuerpos tienen la *misma cantidad de electricidad*, si *producen* los mismos efectos.

Las palabras *cantidad, carga y masa* eléctrica, son sinónimas.

Ya hemos visto que se miden por medio de la balanza de torsión.

—Si una *masa eléctrica M* que se considera reconcentrada en *un punto*, se halla cerca de un sistema de cuerpos electrizados, aislados y ligados á un conductor único, esa masa *M* sufre la acción de *cada uno* de los puntos del sistema.

La acción de todo ese sistema debe tener una *resultante* única, que es lo que se llama *Fuerza eléctrica*.

—Si esa masa eléctrica *M*, suponemos que se aleja del sistema de puntos electrizados, llegará un momento en que esa masa *no sufre acción sensible* y entonces se dice que esa masa eléctrica *M está al infinito* con respecto al sistema de puntos electrizados.

—El *espacio dentro del cual* la masa *M sufre la acción* del sistema de puntos, toma el nombre de *Campo Eléctrico*.

*Teóricamente*, ese campo eléctrico debía ser ilimitado.

Cuando una carga eléctrica está en comunicación con la tierra, ésta hace el papel de depósito común, luego la acción de la carga queda anulada.

Entonces, un punto puesto *á tierra* está en las mismas condiciones que un punto al infinito.

---

## CAPÍTULO III

DISTRIBUCIÓN Y PÉRDIDA DE LA  
ELECTRICIDAD

**27.—Experimentos de Coulomb, Biot y Faraday.**—*Poisson* estudiando matemáticamente y otros físicos experimentalmente, comprobaron que:

*Cuando un cuerpo conductor y aislado está electrizado, la electricidad libre se distribuye en la superficie.*

Vamos á indicar algunos experimentos que así lo comprueban.

—*Experimento de Coulomb.*—Este físico toma una esfera hueca de cobre, sostenida por un soporte de vidrio y la electriza.

Enseguida, se toma un plano de prueba, que está formado (*fig. 8*) de un disquito de latón *c* con un mango de vidrio ó ebonita, se toca la superficie de la esfera hueca y la carga que recibe este disquito es proporcional á la carga que tenía el *elemento* de superficie tocado, por consiguiente recoge una cantidad de electricidad, que es revelada por un electrómetro ó por la balanza de *Coulomb*.

Si por la abertura superior de la esfera, se introduce

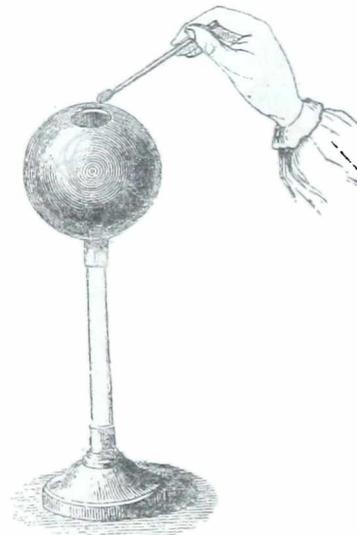


Fig. 8  
Experimento de Coulomb

el plano de prueba en el interior y se toca la superficie interna, llevando el plano de prueba al electrómetro, *no revelará* presencia de electricidad. Luego, la electricidad sólo estaba *en la superficie*.

**28.—Experimento de Biot.**—Para comprobar este mismo principio, *Biot* suspende de un hilo de seda, una esfera electrizada (*figura 9*).

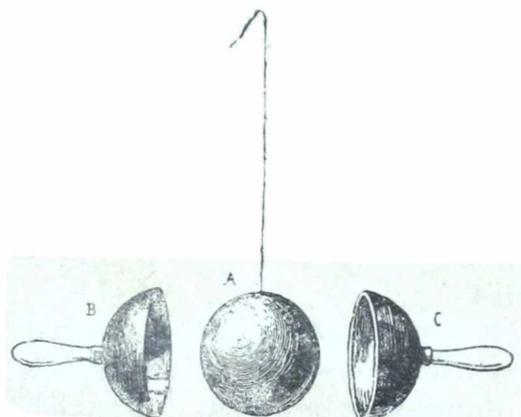


Fig. 9  
Experimento de Biot

Se cubre la esfera por dos hemisferios huecos *B* y *C* y se retiran enseguida.

Se constata que los hemisferios están electrizados en su parte exterior y que la esfera *A* no da manifestaciones eléctricas alguna.

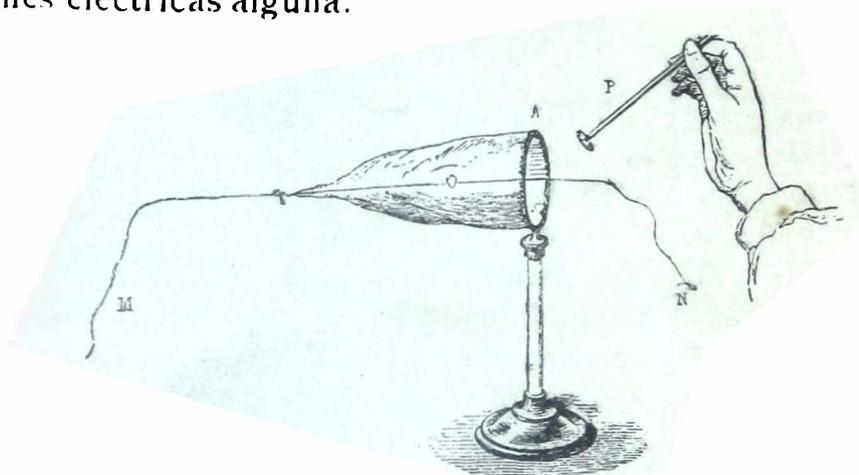


Fig 10  
Experimento de Faraday

**29.—Experimento de Faraday.**—Finalmente indicaremos el ingenioso experimento de *Faraday*, que consiste en

un bonete de muselina que está atravesado (*fig. 10*) por un hilo de seda unido en su vértice.

Si se electriza el aro metálico, se constata por medio de un plano de prueba, que la superficie *exterior* del bonete *está electrizada* y la interior nó.

Enseguida, tiremos por el hilo de seda é invertamos la superficie del bonete, es decir, que la que era antes superficie interior será ahora exterior y viceversa y tam-

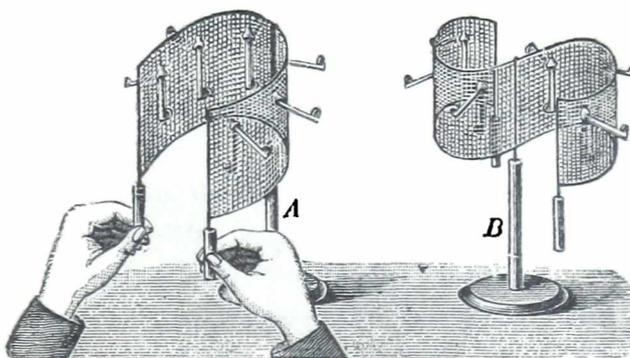


Fig. 11  
Experimento de Rosemberg y Kolbe

bien volveremos á constatar que la superficie que dá manifestaciones eléctricas, *es la exterior*.

La figura 11 nos muestra el experimento de Rosemberg y Kolbe. Cargando eléctricamente la tela metálica, los péndulos exteriores divergen.

**30.—Resultados.**—El resultado á que llegó *Coulomb*, con sus estudios, usando el plano de prueba, y su balanza de torción, fué el siguiente:



Fig. 12



Fig. 13

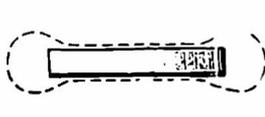


Fig. 14



Fig. 15

Distribución de la electricidad

1º Que una esfera, ya sea *maciza*, *hueca* ó de *madera* recubierta de metal, recibe siempre la misma carga.

2º En una *esfera* (*fig. 12*) la electricidad se distribuye uniformemente, es decir, que en la superficie esférica, la densidad es *uniforme*.

3° En un *elipsoide* (*fig. 13*) la densidad es máxima en los extremos del eje mayor, y mínima en los extremos del eje menor.

4° En un *disco* (*fig. 14*) la densidad es casi *nula* en el centro y es máxima en los bordes.

5° En un *cilindro* terminado por dos hemisferios (*fig. 15*), la densidad es débil en el medio y máxima en los extremos.

Es tanto mayor, cuanto mayor es la curvatura de los hemisferios.

6° En *dos esferas en contacto* la densidad es *nula* en el punto de contacto y muy débil hasta 30° de dicho punto, crece rápidamente de 50° á 60°, menos rápidamente de 60° á 90° y queda casi uniforme del 90° á 180°.

—Si las dos esferas en contacto son de diferente radio, en la esfera pequeña es mayor la densidad que en cualquiera punto de la esfera grande colocada á una misma distancia angular. •

**31. —Poder de las puntas.**—*Riess* estudió la distribución de la electricidad en los *conos*.

Como es natural, la densidad mayor está en la *punta* y si la punta es aguda, es tal la acumulación de electricidad que allí se produce, que el aire circundante se electriza, y por consiguiente *es rechazado*.

Este aire rechazado es reemplazado por aire que está al estado neutro el cual se electriza á su vez, produciéndose así una corriente de aire electrizado que parece escaparse de la misma punta.

Esta propiedad que tienen las *puntas* de dejar escapar la electricidad, se llama *poder de las puntas*.

Es también debido á esto que todas las máquinas de electricidad estática están hechas con esferas y cilindros, sin puntas y aristas que dejan escapar la electricidad.

**32.—Pérdida de la electricidad por el aire.**—Si se tiene un conductor cargado de electricidad positiva ó negativa,

y se deja aislado durante un tiempo más ó menos largo, el conductor pierde su carga.

Si está electrizado *negativamente*, la pérdida es más rápida debido al vapor de agua que está electrizado positivamente.

La principal causa de esa pérdida es que el conductor electriza por contacto al aire, el cual es rechazado y reemplazado por otro que á su vez se electriza, de manera que poco á poco, el conductor *vá cediendo su electricidad* al aire.

Esta pérdida es tanto más grande, *cuanto mayor es la carga*. Ley que nos hace recordar la del *enfriamiento de Newton*.

Como es natural, la pérdida será tanto más rápida cuanto mayor sea la cantidad de vapor de agua que hay en el aire, pues ya sabemos que el aire húmedo es mejor conductor que el aire seco.

**33.—Pérdida en el vacío.**—Conservándose la electricidad en la superficie de los conductores, debido á la *mala conductibilidad* del aire, resulta que á medida que el aire se enrarece, la pérdida aumenta y en el vacío debía perderse toda la electricidad.

Sin embargo, *Gray, Harris, Grove* y otros, han comprobado que las cargas débiles, se conservan en el vacío durante varios días.

**34.—Pérdida por los soportes.**—Otra de las causas que influyen para que los conductores electrizados, pierdan su carga, son los soportes, los cuales no son *perfectamente* aisladores, pues aunque muy poco, conducen la electricidad.

Cuanto más largos son los soportes, menor es la pérdida.

Las sustancias más usadas para soportes son la *goma laca, ebonita y el vidrio*.

El vidrio es sumamente *higroscópico*, por cuya razón

dejando depositar el vapor de agua de la atmósfera, en su superficie, el soporte se convierte en un buen conductor.

Por esta razón, es necesario conservar *bien secos* los soportes de vidrio.

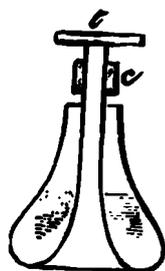


Fig 16  
Aislador  
Mascart

**35.—Aislador Mascart.**—Este físico consiguió hacer uno de los soportes más perfectos.

Consiste (*fig. 16*) en una especie de botella de vidrio cuyo fondo se prolonga interiormente formando una varilla que sostiene al platillo *t*, sobre el cual se colocan los cuerpos que se quieren aislar.

El fondo de la botella, contiene ácido sulfúrico concentrado, el que deseca la varilla del soporte.

Un tapón *c* cierra la abertura anular de la botella.

Aisladores de ese mismo sistema suelen usarse en las instalaciones telegráficas y telefónicas.

## CAPITULO IV

## INFLUENCIA Ó INDUCCION ELECTROSTATICA

**36.—Teorías eléctricas.**— Varias son las teorías que se han propuesto para explicar los fenómenos eléctricos, pero las que han subsistido han sido las de *Franklin* y la de *Simmer*.

—*Franklin* supone la existencia de *un sólo fluido*, imponderable, que obra por *repulsión* sobre sus propias moléculas y por *atracción* sobre las moléculas de la *materia*.

Este fluido está unido á las moléculas de los cuerpos, en una cantidad que depende de su naturaleza y constituyendo para cada uno de los cuerpos un estado de *equilibrio natural*, en el que el fluido no produce ningún efecto exterior.

En esas condiciones, el cuerpo está al *estado neutro*.

Si *se aumenta*, la dosis de electricidad que tiene el cuerpo aumenta también, y entonces este cuerpo está *electrizado en más, ó positivamente*.

Si *se le quita* electricidad al cuerpo, éste estará *electrizado en menos, ó negativamente*.

De allí los nombres de *electricidad positiva* y *electricidad negativa*.

—El frotamiento hace pasar parte de la electricidad *de uno de los cuerpos* al otro cuerpo, y por consiguiente uno estará *electrizado en más* y el otro *electrizado en menos*; luego, uno estará cargado de electricidad *positiva* y el otro de electricidad *negativa*. Si se ponen

en comunicación los dos cuerpos vuelven al estado *neutro*.

**37.**—*Simmer*, admite la existencia de *dos fluidos*, que son la *electricidad vítrea* y la *resinosa*, las cuales *rechazan* el fluido de la *misma* especie y *atraen* el de la especie contraria

Se supone también la existencia de un *tercer fluido*, que es el *fluido ó electricidad neutra*, que está formado por la reunión de las dos electricidades, *vítrea y resinosa*.

El *frotamiento* y otras acciones, obrando de una manera para nosotros desconocida, descompondría el fluido *neutro*, separándolo en las dos electricidades, de manera que una de ellas se dirige al *cuerpo frotado* y la otra al cuerpo *frotante*.

**38.**—Ninguna de las dos teorías satisface hoy á los descubrimientos modernos y después de las nociones de la energía y principio de la conservación de la energía, establecidas por *Joule*, *Thomson* y *Helmholtz* se ha venido á convencer que los *fenómenos eléctricos* no son más que *un movimiento*, una manifestación de la energía, una transformación del trabajo.

Ultimamente se ha ideado la teoría de los electrones que serían *átomos eléctricos* 1.000 veces más pequeños que los átomos de materia (*Poincaré*).

El *átomo neutro* tendría un número igual de electrones positivos y negativos. Los *iones* (véase electrólisis) positivos ó negativos, serían átomos á los que se les ha quitado ó agregado electrones negativos.

**39.**—**Fenómenos de influencia.**—Un cuerpo electrizado no sólo tiene la propiedad de transmitir su electricidad á los conductores que se le ponen *en contacto*, sino también que puede modificar el estado eléctrico de los cuerpos colocados *á distancia*.

Este es el fenómeno de *influencia* ó *inducción eléctrica*.

El cuerpo *que produce* la influencia, toma el nombre de *Inductor*, el cuerpo *que la sufre*, toma el nombre de *Inducido* y finalmente, *el espacio* dentro del cual se hace sentir la influencia de un cuerpo ó de *varios* cuerpos electrizados, toma el nombre de *Campo eléctrico*.

La inducción *se produce á través de los cuerpos aisladores* y estos cuerpos toman el nombre de *dieléctricos*.

40.—Para verificar lo que hemos dicho anteriormente, tomamos un conductor cilíndrico *A* (*fig. 17*) en cuyos dos extremos hemos colocado dos péndulos eléc-

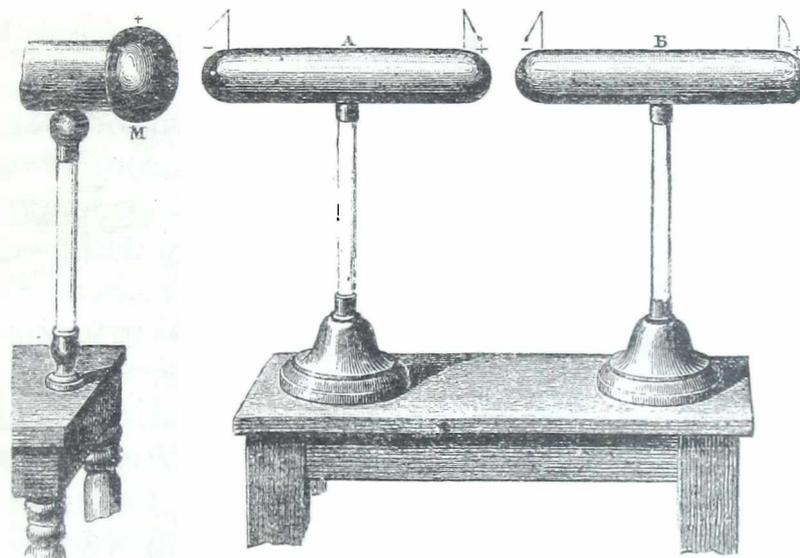


Fig. 17  
Aparato de Ápinus

tricos y enseguida acerquémoslo á un conductor *M* electrizado positivamente, por ejemplo.

Cuando el conductor *A* está á una distancia conveniente del cuerpo electrizado *M*, se verá que los dos péndulos *divergen* como lo indica la figura, luego el conductor *A se ha electrizado*.

—Si con un plano de prueba, se explora el conductor *A*, se encuentra que la región más próxima al cuerpo electrizado *M* está cargada de electricidad *negativa*,

es decir contraria y la región más lejana del cuerpo inductor está cargada de electricidad *positiva*. Finalmente hay una región intermedia en que *no hay* electricidad.

Esta región ó *línea neutra* del inducido, *no está* en el punto medio del conductor *A*, sino más cerca del inductor.

Si se acerca el inductor, también se acercará á él la *línea neutra*.

—Si el inductor *A* se aleja, toda manifestación de influencia cesa y los péndulos caen, luego esto quiere decir, que las *cargas inducidas son iguales* y contrarias.

41.—Por este otro experimento puede obtenerse una carga *permanente*.

Al efecto (*fig. 18*), tomemos dos conductores *A* y *B* en *contacto* sostenidos por hilos de seda y sometámoslos á la influencia de un cuerpo *C* cargado de electricidad positiva.

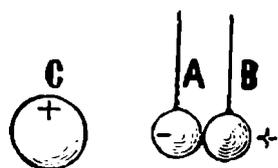


Fig. 18  
Inducción

Como los conductores *A* y *B* están en contacto y forman un sólo cuerpo, resultará que el conductor *A* se cargará de electricidad *negativa* y el *B* de electricidad *positiva*.

Luego, si *mientras dura la influencia*, separamos los dos cuerpos *A* y *B*, estos quedarán cargados de distintas electricidades.

42.—Por otra disposición especial, podemos cargar un sólo conductor *inducido* de cualquiera electricidad.



Fig. 19  
Inducción

Al efecto, tomemos un cuerpo *C* (*fig. 19*) electrizado positivamente y tomemos como cuerpo inducido, un cilindro *A B* terminado por un extremo *en punta*.

Al acercar el cuerpo *A B* al inductor *C*, se producirá

una carga permanente en el extremo *B*.

la separación de las dos electricidades, la electricidad *positiva* irá á *B* y allí quedará y la electricidad *negativa* se escapará por la punta (31) é irá á neutralizar el cuerpo *C*. Es decir, pues, que toda la electricidad *negativa* ha sido atraída por el cuerpo *C* y por consiguiente alejando el inductor, toda la electricidad *positiva* se distribuirá sobre el conductor *AB* el que quedará cargado de electricidad positiva hasta que escape por la punta.

Si la punta la hubiéramos colocado en *B*, el cilindro *AB* habría quedado cargado de electricidad *negativa*.

**43.—Aparato de Riess.**—Con el aparato de *Æpinus* (*fig. 17*) se podía explicar el movimiento del péndulo más próximo al inductor por la atracción de este mismo, y entonces *Riess* modificó el aparato, haciendo (*figura 20*) que el cilindro inducido *C* *B* pueda colocarse *vertical* sobre el inductor *A*.

Al mismo tiempo colocaba á lo largo del cilindro varios péndulos y notaba que los péndulos extremos *b* y *c* eran los que más divergían, lo que demostraban que en esa región era donde se acumulaba más electricidad; que los péndulos *f* y *g* divergían menos y que el péndulo *d*

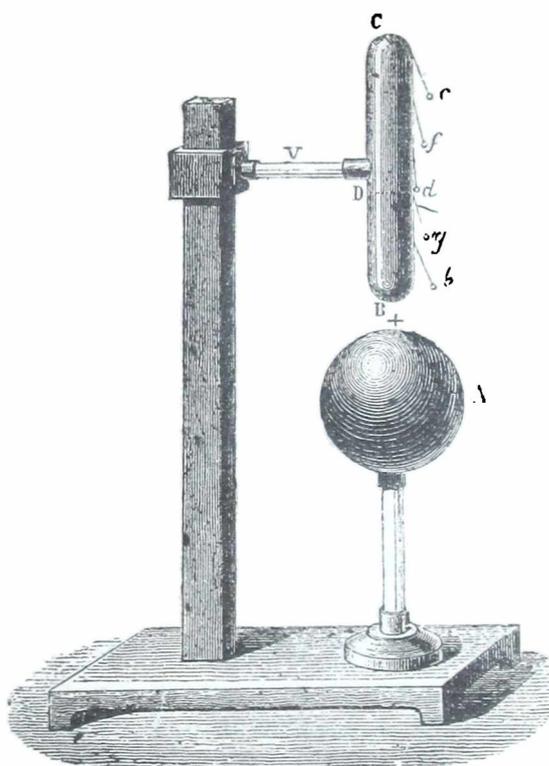


Fig. 20  
Aparato de Riess

*no se movía*, lo cual indicaba que allí estaba la línea neutra.

**44.—Pantalla eléctrica.**—Ya digimos que la influencia podía efectuarse á través de ciertos cuerpos llamados *dieléctricos*.

—Lo mismo sucede, si se interpone entre el inductor y el inducido una placa metálica *aislada*.

Pero, si la placa metálica está *en comunicación con la tierra*, el efecto de influencia sobre el inducido *es nulo*.

**45.**—Para explicarlo, supongamos (*fig. 21*) tener un cuerpo electrizado *A* cargado de electricidad *positiva*, un electrómetro *E* y una *pantalla* metálica.

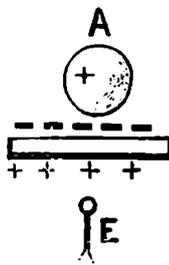


Fig. 21  
Pantalla eléctrica

El inductor *A*, induce sobre la cara más próxima de la pantalla una carga negativa, que sobre el electrómetro produce un *efecto contrario* que el inductor *A*. luego la carga de esa cara y la del cuerpo *A* se neutralizan.

La cara inferior también se ha electrizado, pero *positivamente*, luego, sobre el electrómetro *E* produce el *mismo efecto que hubiera producido el cuerpo A si no hubiera habido pantalla*.

—Si la pantalla *no está aislada*, la electricidad positiva de la cara inferior se vá á la tierra y entonces la electricidad de *A* y la negativa de la cara superior se neutralizan, luego el cuerpo *A no ejerce acción* sobre el electrómetro.

Por eso se llama Pantalla.

**46.—Cámara protectora de Faraday.**—Este físico ha demostrado que:

*La cantidad de electricidad contraria que una carga eléctrica induce sobre los cuerpos que lo rodean, es igual á la carga inductora.*

El experimento adoptado por *Faraday*, para demostrar su teorema, es el siguiente:

Tómese una esfera hueca (*fig. 22 a*) aislada y líguese su cara *exterior* con un electrómetro, dejándose en esta esfera una pequeña abertura para poder introducir al interior *sin que haya contacto*, un cuerpo cargado de electricidad positiva, por ejemplo, sostenido por un mango aislador.

Al introducir en la esfera hueca el inductor, la super-

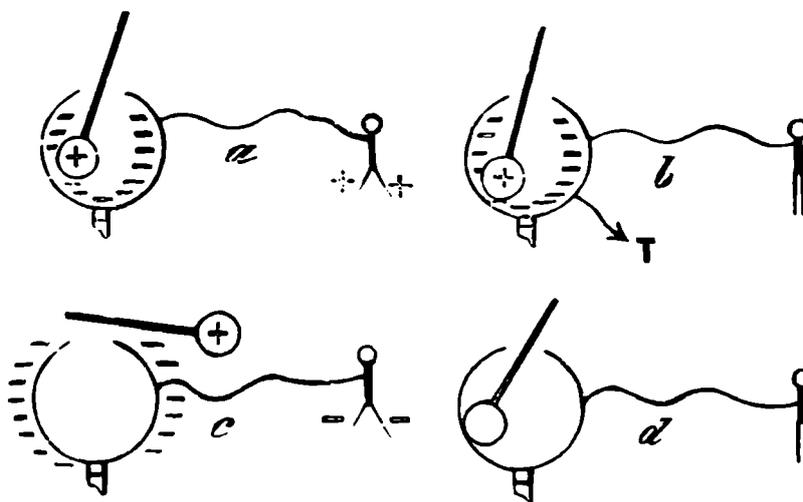


Fig. 22  
Experimento de Faraday

ficie interior de la esfera se cargará de electricidad negativa y la *exterior* de electricidad *positiva* que será rechazada hasta las hojas de oro del electrómetro, las cuales *divergerán*.

Esta es la *primera* parte del experimento.

La *segunda* parte, sería (*fig. 22 b*) poner la superficie exterior de la esfera hueca *en comunicación con la tierra*, tocándola, por ejemplo, con el dedo, y entonces se verá, que inmediatamente las hojuelas de oro caen. La carga *negativa*, queda en el interior, atraída por el cuerpo inductor.

La *tercera* parte del experimento, consiste (*fig. 22 c*) en suprimir la línea de tierra, *en retirar el inductor*, con lo cual la electricidad negativa que estaba retenida

en el interior de la esfera se distribuirá en la superficie y por consiguiente hará diverger las hojuelas del electrómetro.

Ahora, finalmente, si queremos demostrar que esta carga *negativa* de la esfera hueca y la carga *positiva* del inductor, *son iguales*, nos bastaría volver á introducir el inductor y *tocar* la esfera hueca, con lo cual las hojuelas (*fig. 22 d*) volverán á caer, lo que nos probaría que el inductor é inducido han vuelto al *estado neutro*, luego las dos cantidades de electricidad son iguales.

La consecuencia que podemos sacar de este experimento es, que si en el interior de esa esfera hueca colocamos un electrómetro y le acercamos un cuerpo inductor, el electrómetro no dará manifestaciones de electricidad.

Esto viene á constituir la cámara protectora de *Faraday*, el cual construyó una jaula ó cajón de tres metros de lado, la recubrió de láminas de estaño, se encerró en el interior con electrómetros y electómetros, y enseguida electrizó el estaño hasta que dieron chispas de varios centímetros de largo.

Ni él ni los instrumentos tan sensibles, dieron ninguna manifestación de electricidad.

Más adelante veremos una aplicación importante de este principio.

—Por lo pronto, indicaremos, que si se quiere sustraer un instrumento, á la acción de un campo eléctrico, nos bastará (*fig. 23*) recubrir el instrumento por una cámara protectora, la cual no necesita ser de paredes con-

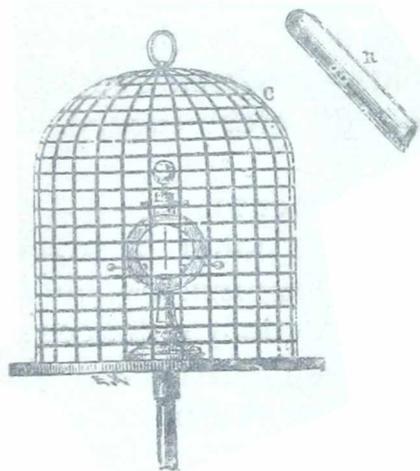


Fig. 23

Cámara protectora de Faraday

tinuas sinó que basta que sean unos cuantos hilos metálicos que se entrecruzan entre sí.

**47.—Movimiento de los cuerpos electrizados.—**Estudiemos el caso del movimiento de un péndulo eléctrico.

Pueden suceder tres casos:

1<sup>o</sup> *Que el péndulo esté aislado y al estado neutro.*

2<sup>o</sup> *Que esté aislado y electrizado.*

3<sup>o</sup> *Que el péndulo no esté aislado.*

—Si el péndulo *P* (fig. 24) está suspendido por un hilo de seda y al estado *neutro*, el cuerpo inductor descompondrá las dos electricidades y éstas aunque *iguales*, no equilibran sus efectos sobre el péndulo, pues la electricidad *contraria* á la del inductor está *más cerca* de éste y entonces habrá *atracción*.

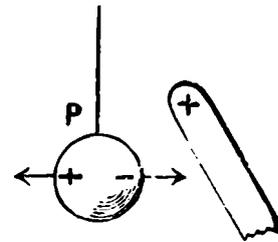


Fig. 24  
Movimientos producidos  
por cargas eléctricas

Si el péndulo está aislado y electrizado de electricidad positiva, por ejemplo, y el inductor está cargado de electricidad positiva habrá *repulsión* y si el inductor está cargado de electricidad negativa habrá *atracción*.

—Si el péndulo *no está aislado*, al acercarle el inductor, se cargará de electricidad contraria, luego, siempre habrá *atracción*.

**48.—Descargas Convectivas, Conductivas y Disruptivas.—**La descarga puede hacerse de dos maneras, sin sonido ni luz ó manifestaciones acústicas y luminosas.

La descarga sin sonido ni luz, suele llamársele *lenta* ó *silenciosa* y es, por ejemplo, el caso cuando se descarga un cuerpo electrizado por sí solo, por la pérdida de electricidad en el aire.

Este es el caso de descarga por *Conductibilidad*, pues el aire más ó menos buen conductor, se apodera de la electricidad del conductor y la neutraliza.

La descarga *conductiva* puede ponerse de manifiesto de una manera más evidente, frotando dos cuerpos, los que se cargarán de electricidades de distinto nombre.

Si unimos los dos cuerpos por un hilo conductor, los dos cuerpos se descargan por *conductibilidad*.

—Esos mismos dos cuerpos electrizados, pueden descargarse por el *trasporte* de electricidad de uno á otro cuerpo, á cuyo efecto se hace que una esfera de médula de saúco suspendida por un hilo de seda, toque *alternativamente* uno y otro cuerpo, entonces los cuerpos se descargarán por el transporte de electricidad de uno á otro cuerpo ó se descargan por *convección*.

—Finalmente, cuando la descarga se hace entre dos cuerpos, cuya diferencia de potencial es muy grande y



Fig. 25  
Descarga disruptiva

estando separados por una capa mala conductora como el aire, entonces la descarga se llama *Disruptiva* y se hace con desarrollo de luz y

sonido, es decir, salta la *chispa* entre los dos cuerpos.

Cuando los cuerpos están cercanos (*fig. 25*) la chis-



Fig. 26  
Descarga disruptiva

pa es recta y cuando los cuerpos están más separados (*fig. 26*), la chispa tiene la forma de un *zig-zag* ramificado.

**49.—Torpedo Eléctrico.**—Si la descarga se hace á través de un líquido mal conductor, el líquido se proyecta á gran distancia.

El experimento se hace de la siguiente manera. Se introduce los extremos de dos conductores dentro de una vasija que contiene un líquido, teniendo la precaución que la parte de conductor que está dentro del líquido, esté recubierto de goma laca ó cualquier sustancia aisladora y dejando libre, sólo los extremos de los conductores.

Puesto uno de los conductores en comunicación con una máquina eléctrica, estalla la chispa; proyectando el líquido á grande distancia y si la vasija es profunda, es decir, si el líquido tiene mucha altura, puede llegar hasta romper el vaso.

**50.—Espectro Eléctrico.**—Otro precioso experimento sobre la electrización por influencia y que más presenta la forma de las *líneas de fuerza* del campo eléctrico, como antes lo hicimos con el campo magnético, es el siguiente:

Se toma una caja á caras paralelas, llena de *aceite de trementina*, en el que se ha proyectado cristales de *sulfato de quinina* que son *semi-conductores* y se agita la masa líquida.

Se introduce en el líquido dos esferas metálicas (*figura 27*) colocadas á algunos centímetros de distancia, las que están ligadas á dos conductores perfectamente aislados y que están en comunicación con dos fuentes de electricidad contraria.

Al cabo de un cierto tiempo, si se proyecta sobre una pantalla de la cámara oscura las dos esferas metálicas, se verá que los cristales se disponen según líneas curvas, como se observan en la figura, y que recuerdan la disposición del espectro magnético:

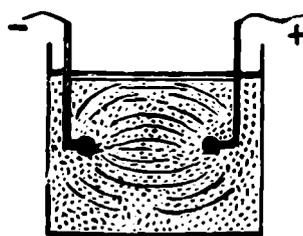


Fig. 27  
Espectro eléctrico

## CAPÍTULO V

## ELECTRÓSCOPOS Y ELECTRÓMETROS

51.—**Electróscopo de hojas de oro.**—Ya digimos que los electróscopos servían para *revelar* la presencia de la electricidad.

Vimos también que el electróscopo á hojas de oro

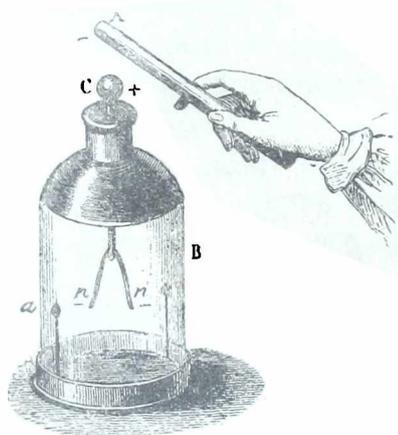


Fig. 28

Electróscopo á hojas de oro

(*fig. 28*) consistía en una varilla de cobre terminada superiormente por un platillo ó esfera *C* é inferiormente por unas pajillas ó láminas de oro muy delgadas *n, n*.

Esta varilla de cobre pasa á frotamiento por un tapón de una campana de vidrio *B* que sirve de soporte aislador.

Indicamos también (*fig. 29a*) que si acerca-

mos á la esfera un cuerpo electrizado *positivamente*, por ejemplo, sucede que esta carga positiva descompone la electricidad neutra de la esfera, varilla y hojuelas, atrae la electricidad *negativa* á la esfera, y rechaza la electricidad *positiva* á las hojas de oro, las cuales estando cargadas de electricidad del mismo nombre, se rechazan.

Alejando el cuerpo inductor se vería que las hojuelas vuelven á caer.

Pero, si mientras el electrómetro está bajo la influencia del cuerpo electrizado, se toca la esfera con el dedo, la electricidad rechazada vá á la tierra (*fig. 29b*) y las hojas caen, porque toda la electricidad negativa está retenida en la esfera por la influencia.

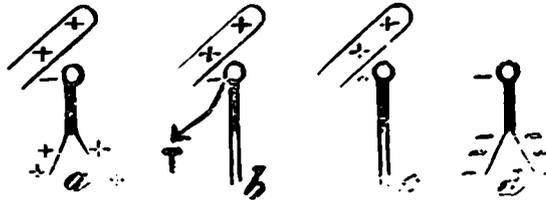


Fig. 29  
Electrómetro á hojas de oro

Si se retira el dedo, pero dejando el inductor, las hojas (*fig. 29c*) siempre quedarán caídas, pero retirando el conductor electrizado (*fig. 29d*), las hojas volverán á diverger por que la electricidad negativa que estaba retenida en la esfera, se distribuirá en la varilla y hojas de oro, las que se verán obligadas á diverger.

---Tenemos, pues, el electrómetro cargado de electricidad negativa.

En estas condiciones si queremos reconocer de qué clase de electricidad está cargado un cuerpo electrizado, nos bastará acercarlo lentamente á la esfera y si la divergencia de las hojas aumentan, esto probará que el cuerpo que se acerca está cargado de electricidad negativa; pues ya sabemos que por la inducción rechaza á las hojas de oro la electricidad de su mismo nombre. pero, si la divergencia disminuye, quiere decir que el cuerpo está electrizado positivamente, puesto que la electricidad positiva inducida, destruirá en parte el efecto de la electricidad negativa de las hojas de oro.

Si el cuerpo cuya electricidad se quiere reconocer, se acercara demasiado bruscamente, se estaría expuesto á errores, porque la electricidad rechazada por la brusca inducción podría disimular la electricidad de las hojas de oro y hacerlas diverger.

—Para aumentar la sensibilidad del electrómetro, suelen pegarse en la campana (*fig. 28*) dos bandas de

estaño  $a$  que comunican con el suelo, las que electrizándose por inducción de las hojas de oro, *reaccionan* sobre estas y las atraen.

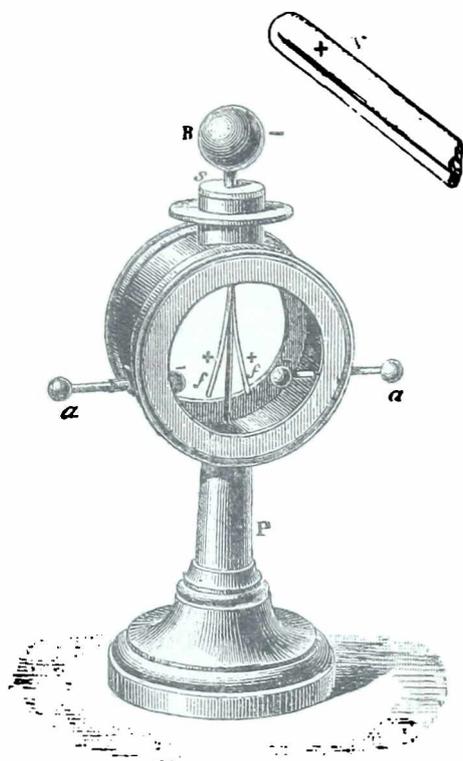


Fig. 30  
Electróscopo á hojas de oro

Esta es la teoría del electrómetro á hojas de oro.

Otra disposición más reciente del electrómetro á hojas de oro, es la indicada en la (*fig. 30*).

**52.—Electrómetro de Heuley.**—Este instrumento (*fig. 31*) es una especie de péndulo eléctrico y está destinado á determinar si un conductor conserva siempre la *misma carga* eléctrica.

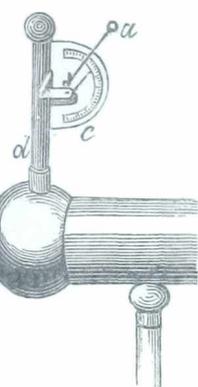


Fig. 31  
Electrómetro de Heuley

Se compone de una varilla de madera  $d$  que lleva un cuadrante graduado  $c$ , en cuyo centro está fijo el extremo de una varillita de ballena cuyo otro extremo lleva una esfera  $a$  de médula de sauco.

Si se coloca este aparato sobre una máquina eléctrica, se verá que á medida que la máquina funciona y la carga aumenta, el péndulo se eleva hasta llegar al máximo de carga.

Si la máquina deja de funcionar, el péndulo *baja* más ó menos rápidamente, según el aire esté más ó menos húmedo. es

decir, según que la descarga silenciosa se haga con más ó menos rapidez.

Como no hay relación entre la carga de la máquina y la graduación que marca el péndulo, resulta, que, más bien que electrómetro, este instrumento es un *electrósco-po*.

**53.—Electrómetro de Mascart.**—Este electrómetro, está basado sobre el electrómetro ideado por *Sir W. Thomson*, pero modificado de una manera ingeniosa, dándonos la misma sensibilidad y exactitud, que el de *Thomson*.

Consiste en una aguja de *aluminium* en forma de 8, suspendida por un *doble hilo*, en el interior de una caja cilíndrica (fig. 32) formada por cuatro sectores circulares *M, N, P, Q*.

Estos sectores, están *unidos dos á dos*

como el *M* con el *P* y el *N* con el *Q*, por medio de hilos de cobre recubiertos de seda.

Si se pone, como lo indica la figura, el cuadrante *P* en comunicación con una fuente de electricidad positiva, tendremos que el sistema *M P*, estará cargado *positivamente* y el sistema *N Q* cargado *negativamente*.

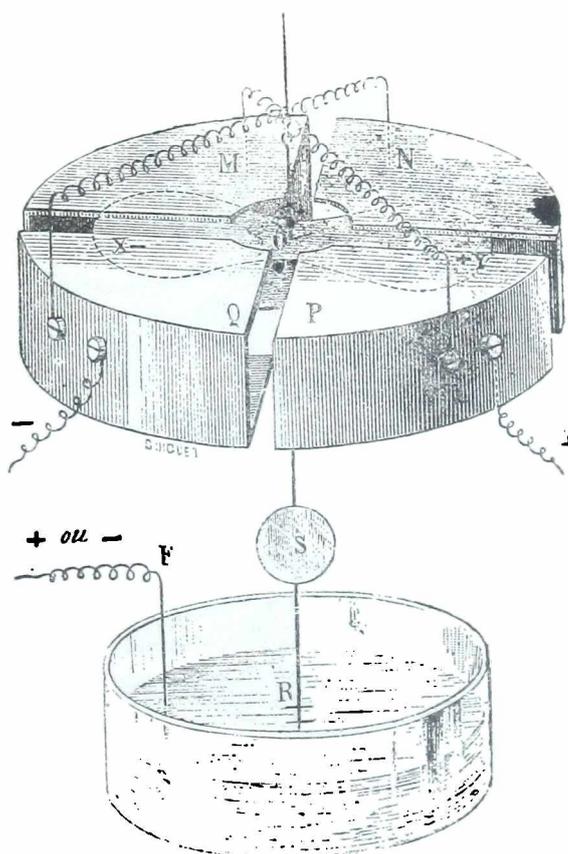


Fig. 32  
Electrómetro de Mascart

La aguja en forma de 8 puede ser electrizada positiva ó negativamente, á cuyo efecto el vástago *O R* está sumergido en un vaso de vidrio que contiene ácido sulfúrico, en el cual se ha introducido una varilla *F*

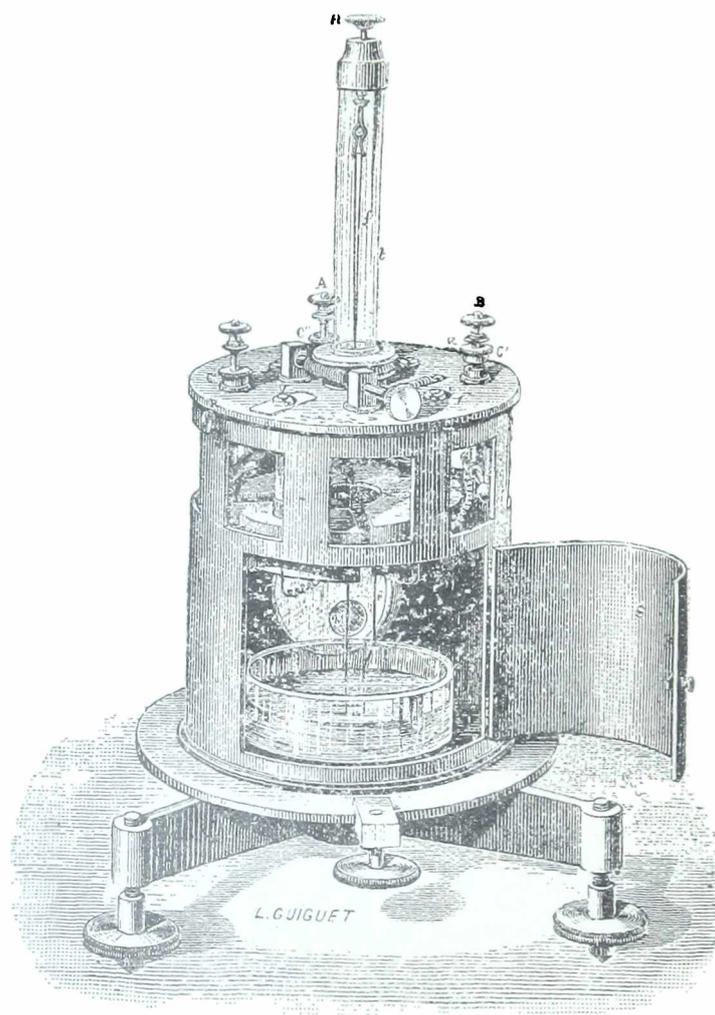


Fig. 33  
Electrómetro de Mascart

de platino, que puede conducir electricidad negativa ó positiva.

Cuando el aparato no funciona, todas las piezas comunican con el suelo y la aguja debe estar orientada de

manera que la línea media de la aguja esté en la dirección  $X Y$ .

Si cargamos los dos sistemas de cuadrantes de *cantidades iguales* de electricidades contrarias, dejando siempre *la aguja* en contacto *con el suelo*, la aguja *se conserva* en la misma posición, pero si electrizamos *negativamente*, por ejemplo, la aguja, ésta se dirige á los sectores positivos alejándose de los negativos y *esa desviación es tanto mayor, cuanto mayor es la carga de electricidad* que ha recibido la aguja.

Si la aguja se cargara de electricidad positiva, el movimiento se haría en sentido inverso.

Se mide la amplitud de la desviación, por la *escursión de la imagen de un punto luminoso*, que cae sobre el espejo  $S$ .

Si se quiere comparar la carga de dos fuentes de electricidad, se pone en comunicación separadamente con el hilo  $F$  y en cada caso se mide la desviación.

La *figura 33*, nos hace ver el conjunto del aparato. Los botones ó topes  $A$ ,  $B$  y  $B'$  establecen las diferentes comunicaciones eléctricas y en el tubo de vidrio  $t$  se hace la suspensión del doble hilo que sostiene la aguja.

Para obtener las *cargas iguales* y de signos contrarios de los dos sistemas de sectores, basta ponerlos separadamente en comunicación con los polos de una pila haciendo comunicar el medio con el suelo.

---

## CAPÍTULO VI

MAQUINAS ELÉCTRICAS

---

**54 — Generalidades.** — Las máquinas eléctricas, son aparatos destinados á producir electricidad ó á establecer *diferencia de potencial* entre dos conductores *aislados* ó entre *un conductor y el suelo*.

Las electricidades se desarrollan en cantidades *iguales* sobre los dos colectores y si uno de los colectores está en comunicación con la tierra, el otro colector se carga sólo y en este caso la *diferencia de potencial es la misma* que si los dos colectores estuvieran aislados.

Estas máquinas que nos dan *grandes diferencias de potencial* podemos dividir las en dos grandes categorías; las *máquinas á frotamiento* y las *máquinas á influencia*.

En las primeras máquinas, la electricidad se desarrolla por el *frotamiento* de un cuerpo *mal conductor* con otro cuerpo cualquiera y en las máquinas de la segunda categoría, la electricidad se desarrolla por la *influencia electrostática* de un cuerpo *mal conductor* que se mueve delante de cuerpos *buenos conductores* fijos.

**55. Máquina de Ramsden.** — La máquina á frotamiento más sencilla consiste en una varilla de vidrio que se frota con un paño, como lo hemos indicado antes.

La primera máquina eléctrica á frotamiento fué construída por Otto de Guericke en 1650 y consistía en una esfera de *azufre* que se hacía girar con una manivela

mientras se apoyaba la otra mano sobre la superficie esférica. La mano hacía las veces de frotador.

*Hauksbee*, sustituyó al globo de azufre un globo de vidrio y en 1840 *Winckler* sustituyó al frotador mano, un cogín.

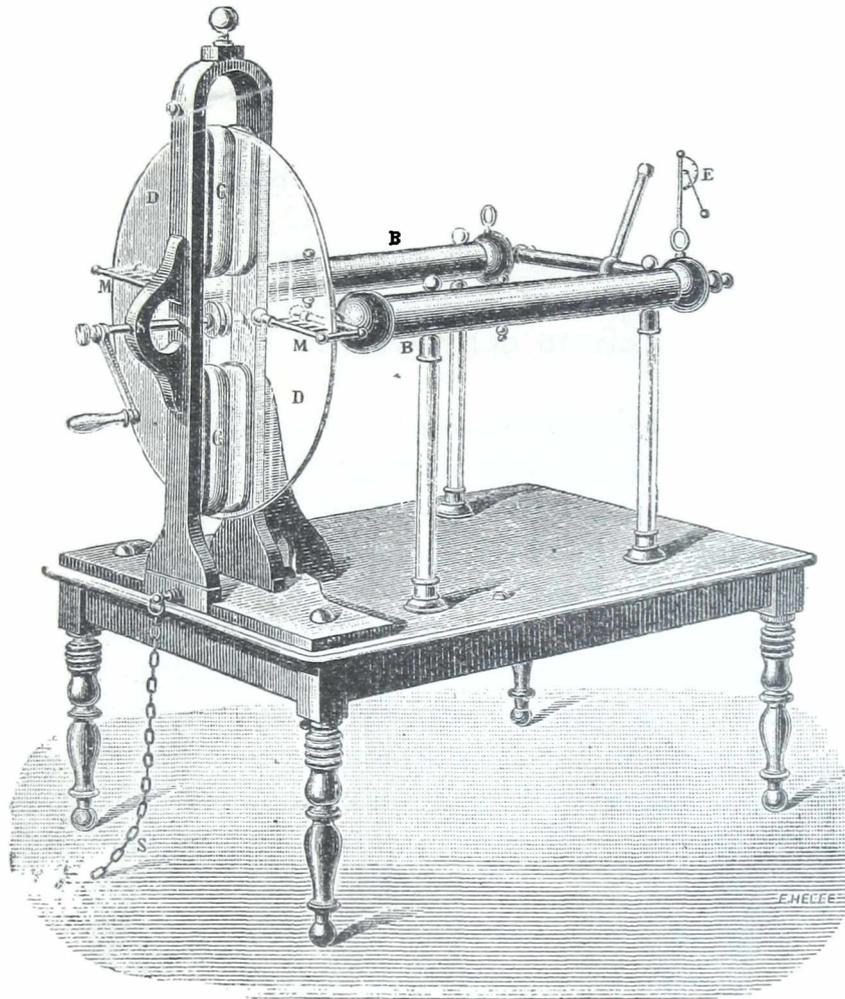


Fig. 34  
Máquina de Ramsden

Finalmente, *Ramsden* en 1768 ideó su máquina que describiremos á continuación.

56.--Consiste la máquina en una mesa que sostiene un montante que lleva dos pares de *cogines* *C C* y entre

los cuales gira con frotamiento un disco circular de vidrio, movido por una manivela.

Correspondiendo al diámetro horizontal del disco hay dos conductores  $MM$  que abrazan el disco, y que están en comunicación con los *colectores*  $BB$  de cobre.

Los conductores  $MM$  están munidos de una serie de puntas que forman especies de *peines* con las puntas dirigidas hacia las dos caras del disco.

Los colectores  $BB$  están sostenidos por cuatro piés de vidrio que se conservan bien secos para evitar la pérdida de electricidad.

Estos mismos colectores no tienen puntas ni aristas vivas, están terminados por superficies redondeadas para evitar el efecto del *poder de las puntas*.

57.--Hagámosla *funcionar* y veremos como se desarrolla la electricidad y se cargan los colectores.

—Al hacer girar el disco de vidrio, los cuadrantes  $DD$  frotan con los cogines  $CC$  y entonces esos cuadrantes se cargan de electricidad vítrea ó *positiva*.

Terminado un cuarto de revolución, estas partes del disco cargado de electricidad positiva, se presentan ante los *peines*  $MM$  y éstos que estaban al estado *neutro*, descomponen por inducción su electricidad, rechazando *hacia los colectores*  $BB$  la electricidad *positiva* y cargando los *peines*  $MM$  de electricidad *negativa*, pero,

como estos peines tienen puntas, por allí se escapará la electricidad negativa que irá al disco de vidrio para volverlo al *estado neutro*.

El esquema de la figura 35, nos hará comprender mejor esto.

—Los cogines  $CC$  quedan cargados por su frotamiento con el

vidrio, de electricidad *negativa*, la cual por intermedio de los montantes y la cadena  $S$ , está en contacto con la

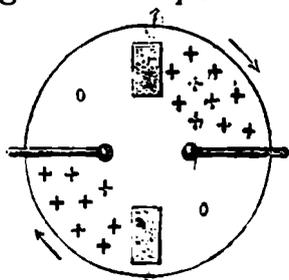


Fig. 35  
Máquina de Ramsden

tierra. Si pusiéramos los cogines en comunicación con *otros colectores* éstos se cargarían de una cantidad de electricidad negativa igual á la electricidad positiva de que se cargaron los colectores *B B*.

Se comprende como poniendo á tierra los colectores *B B* y levantando la cadena *S*, en vez de electricidad positiva en los colectores *B B*, podemos recoger electricidad *negativa* en los montantes ó en la perilla de cobre que los corona.

**58.**—La carga *no es ilimitada* como parece á primera vista, sino que hay un límite, al cual se llega cuando el *potencial* de los conductores es suficientemente elevado para que estallen chispas entre los peines y los cogines.

A este límite pocas veces se llega, pues en un momento dado, la *pérdida* de la electricidad de los colectores por el aire y los soportes, aumentando con el potencial, llega un momento que es tanta la pérdida, que ella equivale á la cantidad de electricidad que produce el movimiento del disco.

—Si nos colocamos en las condiciones de una máquina ideal, es decir, que no hubiera pérdida de electricidad, se tendría que llegaría un momento en que la electricidad *positiva* de que están cargados los colectores, tendería á *rechazar* la electricidad del mismo nombre que trataría de acumularse aún. Entonces llega un momento en que esta repulsión equilibra á la acción del disco de vidrio.

—Vemos que en esta máquina la electricidad es debida al frotamiento y como éste se ha efectuado á costa de un cierto trabajo, resulta que la electricidad se ha desarrollado á costa de un cierto *trabajo mecánico*.

**59.**—**Electróforo de Volta.**—Esta máquina es la más sencilla, de las de la segunda categoría, es decir, de las *máquinas á influencia*.

Consiste (*fig. 36*), en una *torta de resina* contenida en un molde metálico *S* y de un disco *circular de madera G*, cubierto de láminas de estaño y sostenido por una varilla aisladora.

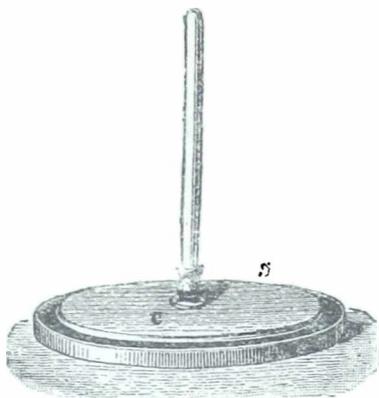


Fig. 36  
Electróforo de Volta

Se golpea la torta de resina con una piel de gato y entonces sabemos que la resina se cargará de electricidad *negativa*.

Si enseguida (*fig. 37*) se coloca el disco de estaño sobre la torta de resina, la electricidad negativa de la resina, descompondrá la elec-

tricidad neutra del disco, atrayendo á la superficie inferior la electricidad *positiva* y rechazando á la superficie superior *MM* la electricidad *negativa*.

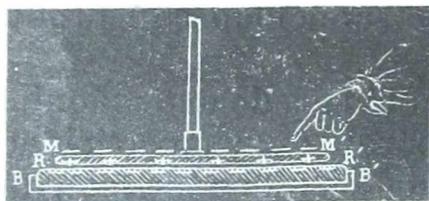


Fig. 37

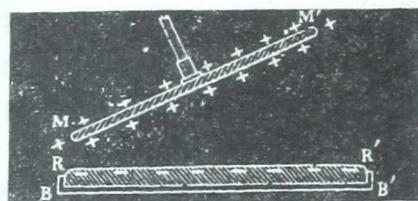


Fig. 38

Electróforo de Volta

Si tocamos la superficie superior del disco con el dedo, la electricidad negativa se irá á la tierra y el disco sólo contendrá electricidad *positiva* la que si nosotros separamos el disco de la torta, se distribuirá en toda la superficie del disco (*fig. 38*).

Luego, el disco quedará cargado de electricidad *positiva*.

Si se acerca el dedo al disco (*fig. 39*), saltará una chispa y quedará descargado.

Apoiando nuevamente el disco sobre la torta de resi-

na y repitiendo las mismas operaciones que antes, se podrá cargar indefinidamente el disco de estaño.

—La electricidad negativa de la resina se conserva, debido á que ella es mala conductora. Se prolonga la acción de la torta de resina colocándola en un lugar seco y haciendo que el molde que la contiene sea conductor y esté *en contacto con el suelo*, pues en ese caso, la resina ha obrado también por influencia sobre el molde, el cual descomponiendo

su electricidad ha mandado al *depósito común* su electricidad negativa y retiene en el fondo de la torta la electricidad positiva, la cual ayuda á que se conserve la electricidad negativa de la cara superior de la torta de resina.

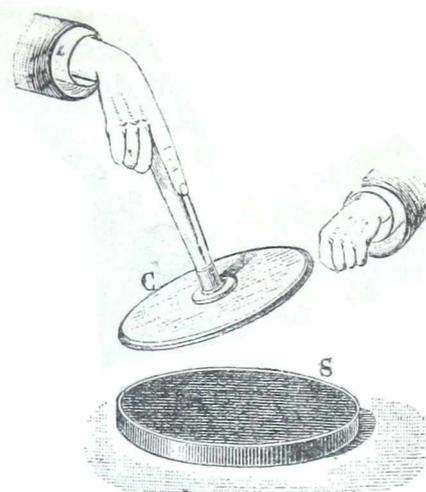


Fig. 39  
Electróforo de Volta

**60.—Máquina de Holtz.**—En el *electróforo de Volta* hemos visto que una carga limitada de electricidad comunicada á la resina, podía hacer adquirir al disco móvil una *cantidad indefinida* de electricidad, con tal que se le quite cada vez, la electricidad adquirida.

La máquina de *Holtz* está basada en un principio análogo.

—Consiste (*fig. 40*) en *dos discos* de vidrio *A* y *B*. Uno *A* de mayor diámetro está *fijo* y sostenido por unos montantes aisladores de cristal. El otro disco *B* de menor diámetro es *móvil* al rededor de un eje que pasa por su centro y el movimiento de rotación es producido por una manivela *M* y un juego de correas y poleas.

La distancia entre los dos discos es pequeña y frente

á la cara anterior del disco móvil  $B$  hay un sistema de dos *peines*  $P P'$  (*fig. 41*) ligados á dos conductores  $C$  y  $C'$  que terminan por un lado por dos esferitas  $m$  y  $n$  y cuyo otro extremo como lo muestra la figura, está formado por dos mangos aisladores de ebonita.

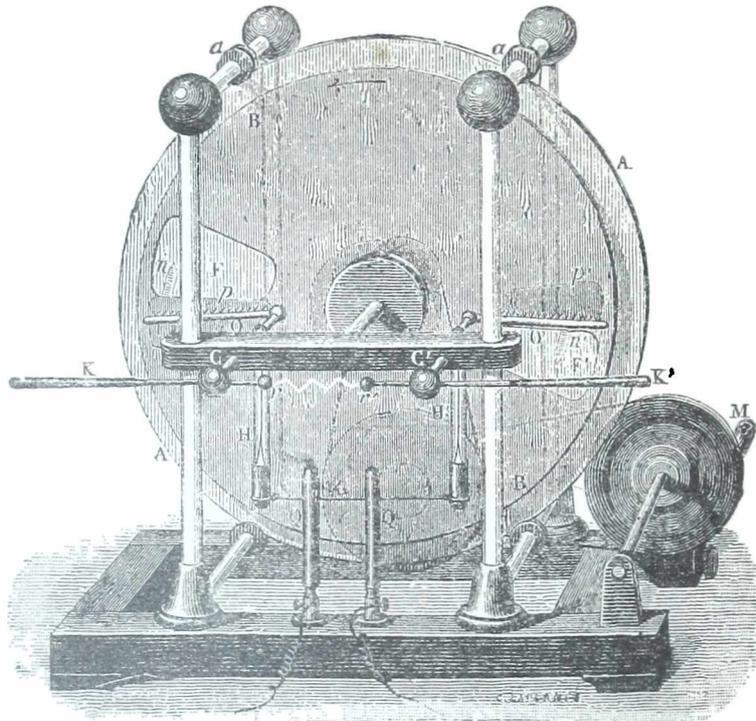


Fig. 10  
Máquina de Holtz

El disco fijo  $A$  tiene dos *ventanas*  $F F'$  que se ven por transparencia á través del disco  $B$ . El borde inferior de la ventana  $F$  y el superior de la ventana  $F'$  están cubiertas por dos bandas de cartón ó *armaduras*, terminadas por dos puntas  $p p'$ .

—Para hacerla funcionar, póngase en *contacto* las esferas  $m$  y  $n$ ; electrícese una de las puntas  $p$  ó  $p'$  por el simple *contacto*, con una palmeta de ebonita frotada ó golpeada por una piel de gato; hágase girar el disco móvil en *sentido contrario* á la dirección de las pun-

tas, y se notará que la máquina está excitada por el zumbido que se oye; y finalmente sepárese las dos esfe-

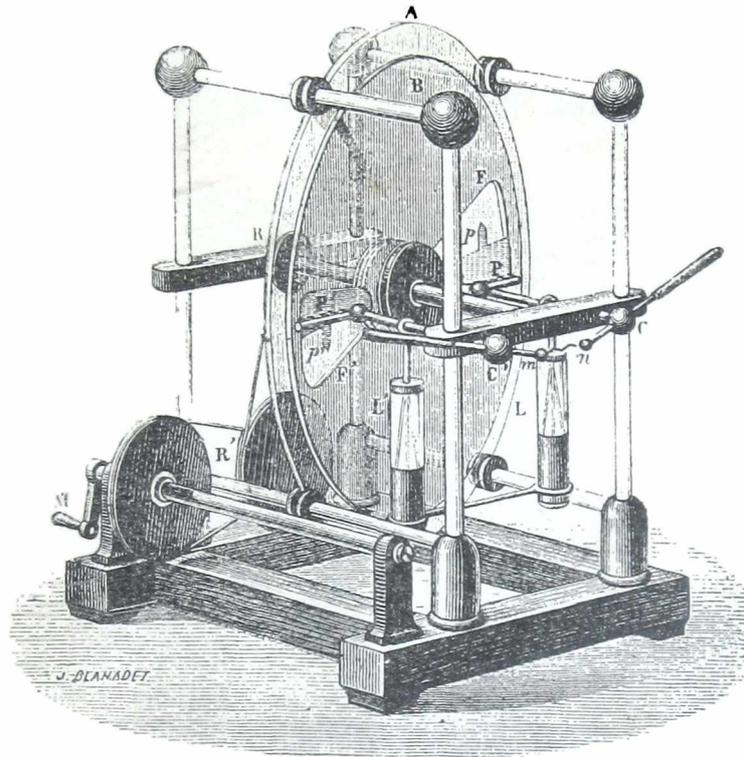


Fig. 41  
Máquina de Holtz

ras  $m$  y  $n$  y entre ellas se verá estallar un número indefinido de chispas mientras la máquina funciona.

**61.**—Para dar una ligera idea de la teoría de esta máquina, nos valdremos de los esquemas de la *fig. 42*.

El esquema de la izquierda nos muestra los dos discos.

El disco fijo de mayor diámetro con sus armaduras  $A$  y  $B$ , y el disco *móvil* de diámetro menor.

El esquema de la derecha nos muestra el disco *móvil* con los peines y conductores  $C$ ,  $C'$ , habiendo colocado para mayor comodidad las armaduras  $A$  y  $B$  fuera del disco.

Demos á la armadura  $A$  una carga de electricidad *negativa* y empecemos el movimiento.

Esa armadura obra por influencia, á través del disco, sobre el peine  $C$ , atrae hácia las puntas del peine la electricidad *positiva* que adhiere á la

parte *inferior* del disco y rechaza hacia *M* la electricidad *negativa* del conductor.

Esta electricidad *negativa* pasa al peine *C'* y por sus puntas se escapa, cargando *negativamente*, la parte superior del disco móvil.

Al mismo tiempo y como fenómeno concurrente al mismo efecto, la electricidad *positiva* que está en el semicírculo inferior en el movimiento del disco es transportada frente a la punta *b* de la segunda armadura la

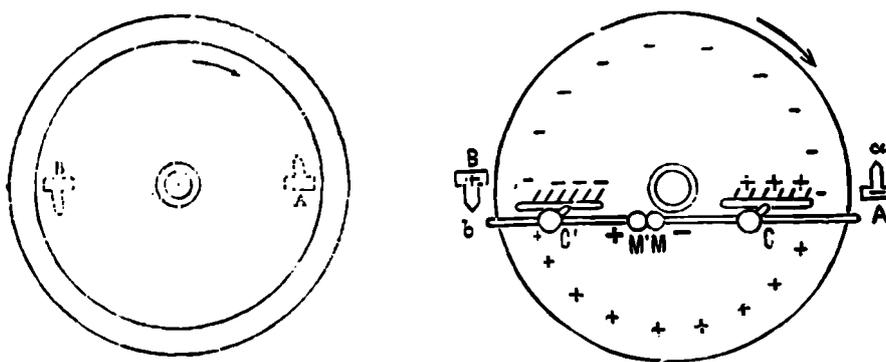


Fig. 42  
Máquina de Holtz

cuál reacciona sobre el peine *C'* y atrae la electricidad *negativa* de *C'* que carga al semicírculo superior de electricidad *negativa*, la que análogamente se comunica a la armadura *a*, aumentando por consiguiente su carga.

Así seguirá indefinidamente y si separamos como lo indica la *figura 41*, las esferas *m* y *n* resultará que como el conductor *C* está cargado de electricidad *negativa* y el *m* de electricidad *positiva*, se verá estallar entre una y otra esfera una serie de chispas.

Si se trabaja en la *obscuridad*, se verá también que en los extremos del peine *C* hay unos *penachos* luminosos que acompañan la pérdida por las puntas de la electricidad *positiva* y que las puntas del peine *C'* están terminadas por *puntos* luminosos, producidos por el escape de la electricidad *negativa*.

—Para aumentar el poder de la máquina, los conductores *C* y *C'* están en comunicación con dos *condensadores* ó *acumuladores* de electricidad estática *L* y *L'*, cuya misión conoceremos en el capítulo siguiente.

La teoría de la máquina de *Holtz* es más compleja, pero lo dicho anteriormente basta para dar una idea de su funcionamiento.

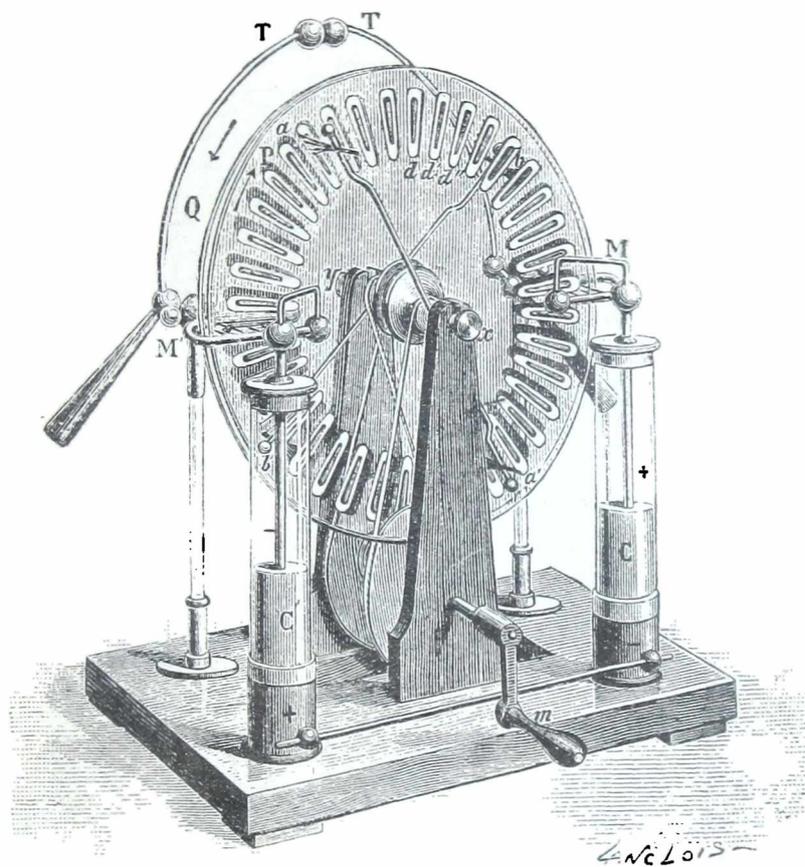
62.—Vemos que en esta máquina como en la de *Ramsden*, hay un consumo de *trabajo* que se convierte en *energía eléctrica*.

En la máquina de *Ramsden* el rendimiento útil es débil, debido á los frotamientos, pero en la de *Holtz*, el rinde es grande.

Para poner de manifiesto esta transformación de trabajo mecánico en energía eléctrica nos bastará poner en movimiento la máquina de *Holtz* sin excitarla y se notará que el esfuerzo que hay que hacer es muy pequeño.

En cambio, si se excita la máquina, el trabajo que hay que hacer es mucho mayor.

**63.—Máquina de Wimshurt.**—Esta máquina consta de dos discos *P* y *Q* de vidrio, móviles al rededor de un eje y en



**Fig. 43**  
Máquina de Wimshurt

sentido contrario, lo cual se obtiene por medio de una manivela *m* (fig. 43) y un sistema de poleas y correas.

Sobre las superficies *exteriores* de los discos se han pegado una *série de bandas de estaño*  $d, d', d''$ .... que al girar los discos, son frotados respectivamente por los cepillos  $a a'$  y  $b b'$ , que están fijos á los extremos de dos conductores diametrales.

Dos peines en herradura  $M$  y  $M'$  que están en comunicación con las varillas  $T$  y  $T'$  abrazan los discos de vidrio.

Esta máquina tiene sobre la de *Holtz* la ventaja de que funciona bien aún con tiempo húmedo y que *no hay*

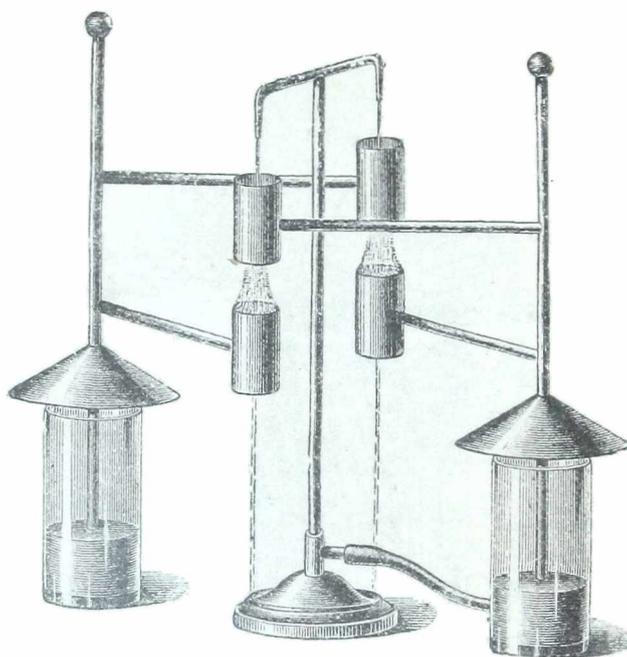


Fig. 44  
Máquina á agua

*necesidad de excitarla*, pues se excita por sí sóla en virtud de una carga *residual* que siempre tiene, aunque esta carga sea muy pequeña.

—Dejando en contacto los conductores  $T$  y  $T'$ , se empieza el movimiento y al cabo de un cierto tiempo separando los conductores  $T$  y  $T'$  se verán estallar entre ellos, una *série de chispas*, que continuarán mientras dure el movimiento de los discos.

La mútua acción de las bandas de los discos entre sí y la acción por inducción de las bandas sobre los cepillos y los peines, nos explicarían el desarrollo de electricidad, pero como esta teoría es algo complicada y está fuera del programa, no la expondremos.

Además de estas máquinas, podríamos citar otras más modernas como las de *Toepler*, la máquina á *agua*, (*fig. 44*) á *arena*, etc.

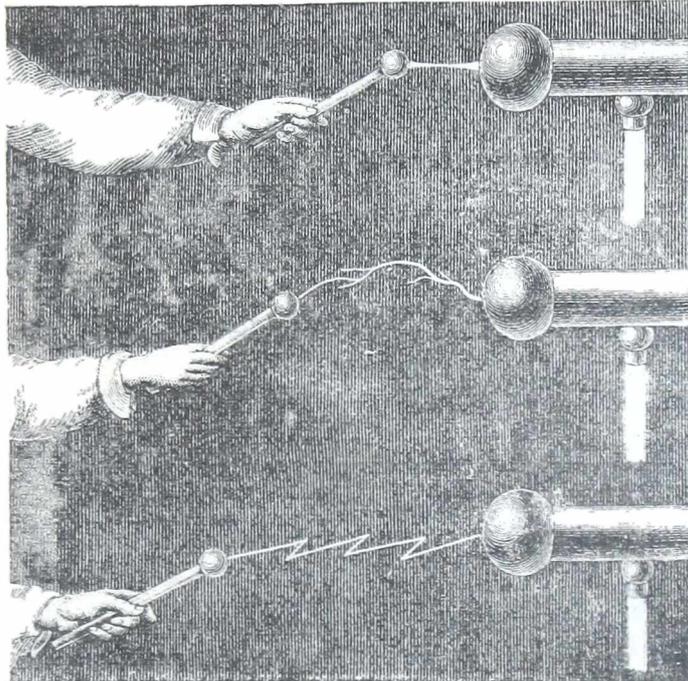


Fig. 45  
Chispas eléctricas

**64.—Experimentos con las máquinas eléctricas.**—Ya hemos indicado algunos experimentos que se pueden hacer con las máquinas eléctricas y ahora daremos una série de ellos que nos servirán de comprobación de algunas de las teorías anteriores.

**65.—Chispas.**—Ya vimos las distintas formas que podían tomar las chispas eléctricas (*fig. 45*) según

fuera la *distancia* entre el cuerpo que provoca la descarga y la máquina y según fuera el *potencial*.

La distancia *máxima* á la que puede producirse la chispa entre dos conductores, toma el nombre de *distancia explosiva*.

Esta distancia varía con la densidad eléctrica y con la forma de los conductores.

**66.—Atracciones y Repulsiones.**—De un conductor de la máquina eléctrica cuélguese un penacho de hojas de papel (*figura 46*); hágase funcionar la máquina y se verá que las hojas de papel se rechazan y hacen abrir el penacho. Es natural que así debía suceder, pues el plumero de papel formando parte del conductor,

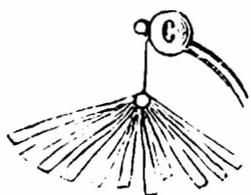


Fig. 46  
Repulsiones eléctricas

las hojas se cargarán de electricidad del mismo nombre, luego se rechazarán.

**67.**—Puede variarse el experimento, tomando 15 ó 20 hebras de hilo de coser de unos 15 centímetros de largo, se atan en sus dos extremos y se cuelga ese haz de hilos, de la máquina.

Los hilos divergen, tomando la forma de un huso.

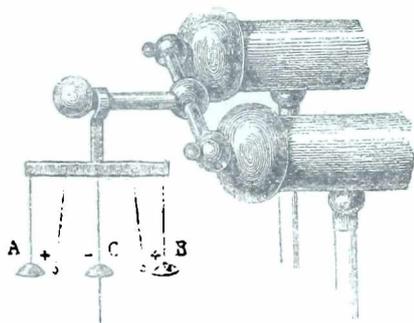


Fig. 47  
Campanillero eléctrico

horizontal (*fig. 47*), de la cual se cuelgan *tres* campanillas, *A*, *B* y *C*.

Las campanillas *A* y *B* están colgadas por una cadena de *metal*; luego cuando la máquina funciona, las campanillas *A* y *B* están cargadas de electricidad *positiva*.

**68.—Campanillero eléctrico.**—De un colector de una máquina eléctrica se cuelga una *barra metálica*

La campanilla *C* está colgada por un *hilo de seda*, pero una cadena de metal que cuelga de ella la pone en *comunicación con la tierra*; de manera que cuando las campanillas *A* y *B* están cargadas de electricidad *positiva*, la campanilla *C*, *por inducción*, se carga de electricidad *negativa*.

Entre la campanilla del medio y las extremas hay dos *esferitas de cobre* suspendidas por *hilos de seda*.

Al funcionar la máquina, las campanillas *A* y *B* atraen las esferitas, las que *por contacto se cargan* de electricidad positiva; luego son repelidas y al mismo tiempo atraídas por la campanilla *C*, que está cargada de electricidad negativa, de donde á su vez son repelidas por *C* y atraídas por *A* y *B*, y así sucesivamente se tendrá ese movimiento mientras dure el funcionamiento de la máquina.

**69.—Granizo eléctrico.**—Se toma una campana de vidrio apoyada sobre un platillo de cobre que está en contacto con el suelo.

Sobre el platillo se coloca una cantidad de pedacitos de médula de saúco, y por el gollete de la campana se hace entrar á frotamiento una barra de cobre terminada por una esfera y puesta en comunicación con la máquina eléctrica.

Si la máquina funciona, esta barra de cobre y la esfera, se cargan de electricidad positiva, y *por inducción* se carga el platillo de electricidad negativa.

Los pedacitos de médula de saúco, atraídos por la esfera, en cuanto llegan en contacto con ella son rechazados y atraídos por el platillo, de donde, á su vez, son rechazados y atraídos por la esfera, y así se tiene una agitación continua de las esferas de saúco.

Volta asimilaba este experimento á lo que sucedía con las gotas heladas entre dos nubes cargadas de electricidades distintas, y esa agitación del granizo entre las dos nubes explicaba el *ruido* precursor de la

caída del granizo, así como el volúmen considerable que á veces tienen, pues son mayores que cualquier gota de agua.

Esta teoría no es aceptada hoy día.

**70.—Poder de las puntas.**—Ya dijimos que un conductor terminado en punta, puesto en comunicación con una máquina, deja *escapar* la electricidad, y si se opera á oscuras, se verá en la punta un *penacho* luminoso violeta si es *positiva* la electricidad que se escapa, y un *punto* luminoso si la electricidad es negativa.

Al mismo tiempo, acercando la mano, se sentirá un viento, que se llama *viento eléctrico*, el cual es producido por el rechazo de las moléculas de aire que se han cargado por conductibilidad de electricidad del mismo nombre.

El viento eléctrico se pone de manifiesto colocando sobre un colector (*fig. 48*) de la máquina eléctrica una punta y acercando una vela.

El viento suele ser tan fuerte que la vela se apaga.

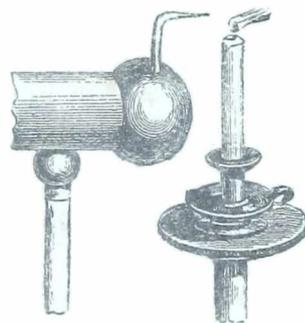


Fig. 48

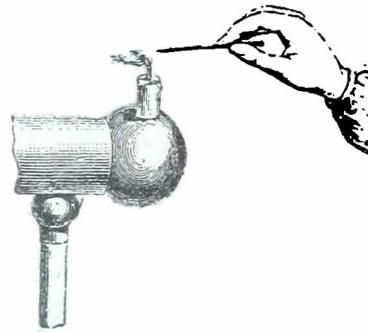


Fig. 49

Viento eléctrico

Puede variarse este experimento poniendo la vela sobre la máquina (*fig. 49*) y acercándole una punta metálica que se tiene en la mano.

En este caso, el viento es producido por la electricidad que se escapa por la punta, por la *inducción* que ejerce la máquina sobre el clavo.

71.— Otro experimento, basado en el poder de las puntas, es el *torniquete* eléctrico (*fig. 50*), que consiste en seis radios metálicos terminados por una punta acodada y suspendido todo el sistema de manera que pueda girar alrededor de un eje.

Una vez que funciona la máquina, se ve que el torniquete *gira*, lo cual, como es natural, es debido á la mútua repulsión entre las puntas y el aire que las rodea, cargadas de la misma electricidad.

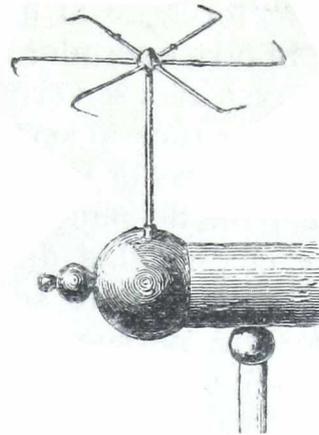


Fig. 50  
Torniquete eléctrico

72.— Finalmente (*fig. 51*), indicaremos el experimento del *pez volante de Faraday* ó *tumba de Mahoma*, que consiste en una hoja liviana de papel cortada de la forma que lo indica la figura, y que cuando funciona la máquina queda suspendida en el aire.

Se explica este fenómeno por la acción que la máquina ejerce por inducción sobre la hoja de papel.

La electricidad *positiva*, rechazada por la máquina, escapa por la punta *b*, y la electricidad *negativa*, atraída por la máquina, escapa por la punta *a*, y de allí dos repulsiones en sentido contrario, que *cuando son iguales*, dejan al pez en equilibrio.

Es un experimento difícil de realizar.

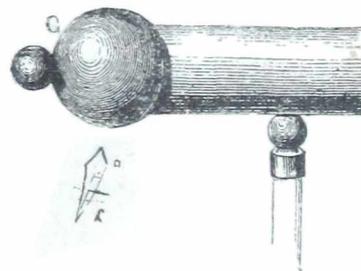


Fig. 51  
Pez volante

73.— **Electrización del cuerpo humano.**— Una persona *aislada* ó parada sobre un *taburete eléctrico*, que consiste en un banco con piés de vidrio, y que tenga apoyada la

mano sobre un colector de la máquina, *se carga* de electricidad, pues su cuerpo viene á formar parte de los colectores de la máquina.

Si otro operador acerca la mano al cuerpo del que está electrizado, se verán saltar chispas, y lo mismo sucederá si éste toca al segundo operador.

Mientras la máquina funciona, se verá que el cabello se pone de punta, debido á que estando éstos cargados de electricidad del mismo nombre, se rechazan entre sí. El experimento se hace más notable pasando la mano de otra persona, sobre la cabeza, sin tocarla

—Si se tiene en la mano el penacho de papel (66) de que ya hemos hablado, se verá que las hojuelas divergen.

— Si un individuo se para sobre un taburete eléctrico y un operador le pega un golpe con una piel de gato, el individuo queda *cargado de electricidad*, lo cual se pone de manifiesto por medio del péndulo eléctrico.

Si el segundo operador, antes de golpear al primero, se para también en otro taburete, los dos quedarán cargados de electricidades contrarias.

---

## CAPITULO VII

## CONDENSACIÓN

**74.—Condensadores.**—Se llaman condensadores á ciertos aparatos destinados á acumular sobre superficies pequeñas, grandes cantidades de electricidad.

Consiste en un sistema de dos conductores separados por un dieléctrico ó cuerpo aislador, uno de los cuales está en comunicación con una máquina eléctrica y el otro en comunicación con la tierra.

Estos dos conductores son las *armaduras*. El que recibe la carga eléctrica es el *colector* y el que está en comunicación con la tierra es el *condensador*.

**75.**—Supongamos tener (*fig. 52*) un disco metálico *A* que se pone en comunicación con una máquina eléctrica por medio del conductor *M*.

El disco *A* se cargará de electricidad, la que se distribuirá por su superficie, hasta llegar á su límite de carga.

Después de esto, si frente del disco *A* colocamos (*fig. 53*) otro disco *B*, que está en comunicación con la tierra, la electricidad neutra del disco *B* se descompondrá por influencia. La electricidad rechazada, positiva, irá á tierra y la superficie interior del disco *B* se cargará de electricidad negativa como lo indica la figura.



Fig. 52  
Condensación

Esta electricidad *negativa* del disco *B*, *atraerá* á su vez la *positiva* del disco *A*, luego, modificará su distri-



Fig. 53  
Condensador plano

bución y atraerá á la cara interior de *A* una cantidad mayor de electricidad, luego la cara exterior de *A* estará apta para recibir *más electricidad suministrada por la máquina*. Luego, ha habido una *acumulación* de electricidad, debido á la sola presencia del disco *B*.

Disminuyendo la distancia entre el condensador *B* y el colector *A*, habrá una mayor condensación, pero puede llegar un momento en que acortando la distancia, estalle una chispa y las electricidades de los dos discos se recomponen.

**76.—Condensador Esférico.**—En este condensador (*figura 54*), el colector está constituido por una esfera *A*

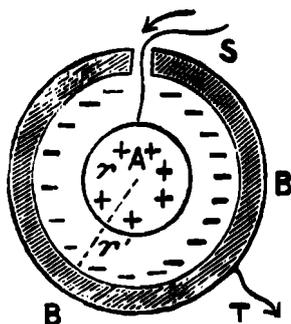


Fig. 54  
Condensador esférico

aislada y el condensador por una esfera *B*, hueca y que envuelve á esfera *A*.

La esfera *B* está en comunicación con la tierra.

La simple inspección de la figura nos indica como se verifica la condensación.

En este caso el *dieléctrico* es el aire.

**77. —Condensador de Æpinus.**—Este condensador consta de dos discos *A* y *B* (*fig. 55*) de metal ó de vidrio recubierto de una hoja de estaño, uno de ellos está en comunicación con la máquina eléctrica, y el otro, con la tierra, pero en vez de dejar el aire como dieléctrico, se interpone entre los dos discos otro de vidrio recu-

bierto de goma laca, con lo cual será posible acercar más los discos, sin peligro que estalle la chispa entre

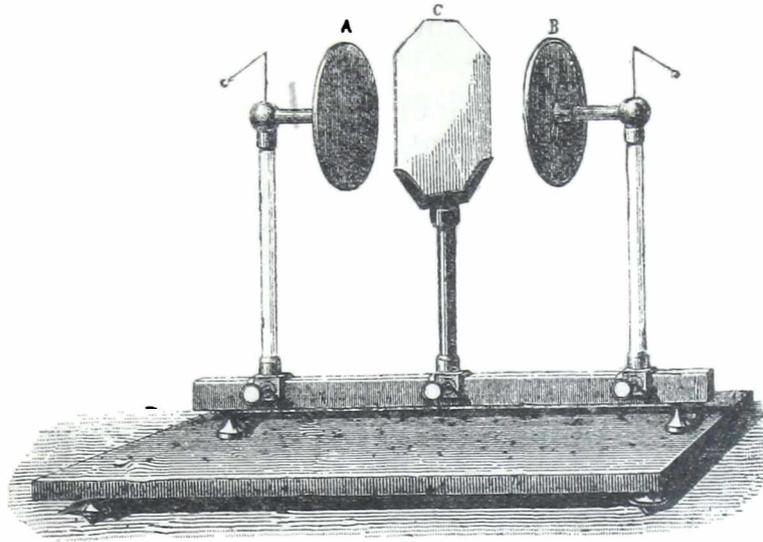


Fig. 55  
Condensador de Æpinus

las dos armaduras, pues el vidrio presenta más resistencia que el aire.

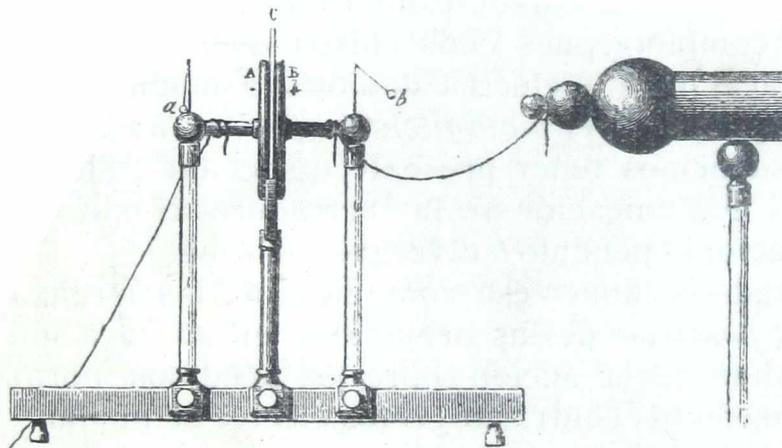


Fig. 56  
Condensador de Æpinus

Sin embargo, puede suceder que la chispa estalle á través de la lámina de vidrio, agujereándola.

Para hacerlo funcionar (*fig. 56*), se ponen los dos discos *A* y *B* en contacto con la lámina de vidrio, poniendo el *B* en comunicación con la máquina eléctrica y el *A* con la tierra. Luego, el *A* es el *condensador* y el *B* es el *colector*.

Si después de haber hecho funcionar la máquina separamos la armadura *B* de la máquina y quitamos la cadena que ponía en comunicación la armadura *A* con la tierra, el condensador quedará cargado

**78.**—Para descargarlo, podemos hacerlo *lentamente* ó *instantáneamente*.

La *descarga lenta* se hará tocando con el dedo el colector *B*, y entonces se verá estallar una chispa y el hecho curioso de que el péndulo *b* que estaba divergiendo *cue* y se levanta el péndulo *a*.

En seguida se toca el condensador *A* y el péndulo *a* vuelve á *caer* y se *levanta* el *b* y así se tendrá siempre el movimiento de los dos péndulos y siempre una *série* de chispas cada vez más débiles.

Por este procedimiento la descarga exige varias horas, aunque, teóricamente, nunca debía llegarse á la *descarga completa*, pues cada chispa que sale, sólo quita una fracción de la electricidad de la armadura.

Para explicar el *movimiento alternativo* de los péndulos debemos tener presente, que cuando interrumpimos la comunicación de las armaduras con la máquina y el suelo, el péndulo *b* divergía y el *a* nó.

Cuando cortamos esa comunicación, las cargas *negativa* y *positiva* de las armaduras en su cara interior, no podían tener acción sobre los péndulos, porque teniendo efectos contrarios, estos efectos se anulan.

La cara exterior de la armadura *A* tenía *potencial cero*, pues estaba en comunicación con la tierra, luego el péndulo *a* no tenía porqué moverse, pero la cara exterior de la armadura *B* estaba cargada de electricidad positiva por estar en contacto con la máquina,

luego el péndulo *b* que estaba cargado de electricidad del mismo nombre, debía ser rechazado y diverger.

Cuando se tocó el disco *B*, la electricidad positiva que estaba en la cara exterior fué á tierra y el péndulo *b* bajó, pero entonces disminuyendo la carga de *B*, parte de la electricidad negativa que estaba retenida en la cara exterior del disco *A*, se encuentra libre y pasa á la cara exterior del disco *A*, produciendo la divergencia del péndulo *a*.

Lo mismo sucederá cuando se toque al disco *A*.

79.—La *descarga instantánea*, se obtiene, tocando simultáneamente las dos armaduras, por medio del *excitador universal* que es un doble arco de metal, unido por una charnela munida de dos mangos de vidrio (*fig. 57*). Al efecto se apoya una de las esferas de cobre sobre una armadura y enseguida se acerca la otra esfera, á la otra armadura. Cuando la distancia es conveniente se produce una chispa fuerte, debida á la brusca recomposición de las electricidades acumuladas en las dos armaduras.

Sin embargo, después de esta primera chispa, se producen tres ó cuatro más; que se les dá el nombre de *descargas secundarias* de bido á que la electricidad ha penetrado á una pequeña profundidad del dieléctrico en sus dos caras y entonces la electricidad de las dos caras del vidrio vuelven á cargar las armaduras.

*Hopkinson* ha comprobado que se apresura la formación de la carga residual, dándole golpecitos al disco de vidrio.

Si en vez de poner como dieléctrico un disco de vidrio, se deja una capa de aire, *no hay descargas secundarias*.

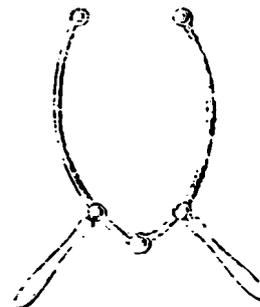


Fig. 57  
Excitador universal

**80.—El condensador múltiple.**—Cuando se desean condensadores de gran capacidad y que deben ser cargados por fuentes de pequeño potencial, como las pilas, es necesario darle una gran superficie, para lo cual se colocan superpuestas alternativamente una serie de hojas de estaño y de mica, de forma rectangular. Las hojas de estaño forman las armaduras y el dieléctrico es la mica.

En lugar de mica, suele usarse como dieléctrico, hojas de papel empapadas de parafina.



Fig. 58  
Condensador múltiple

Se colocan las hojas de estaño de manera que sobresalgan hácia la derecha (*fig. 58*) las hojas de orden par,

por ejemplo, y que sobresalgan á la izquierda, las hojas de estaño de orden impar.

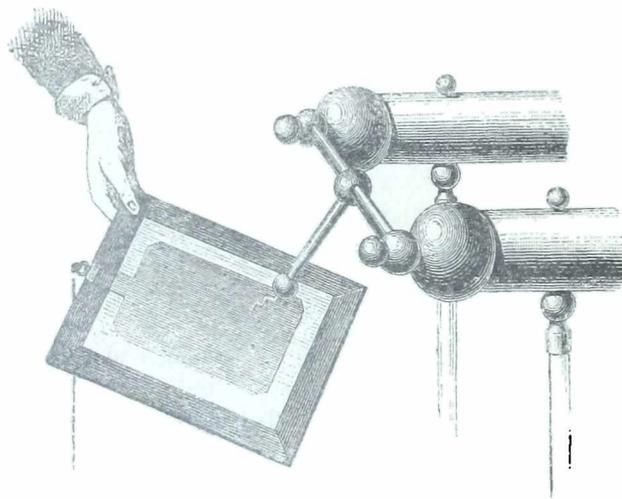


Fig. 59  
Cuadro fulminante

En seguida se calienta el todo para que se funda la parafina, y se comprime, ligando por medio de dos armaduras, las hojas de estaño que sobresalen de uno y otro lado.

Se encierra el todo en una cajita con dos tapas y se tiene así un acumulador de gran superficie y pequeño volúmen.

**81.—Cuadro fulminante.**—Este aparato (*fig. 59*), es un condensador más sencillo que el de *Épinus* que dá chis-

pas más grande que éste y que producen más fuertes conmociones. Como vemos consiste en una lámina de vidrio puesta en un marco.

Sobre cada cara del vidrio se pone una lámina de estaño, una de las cuales no toca el marco, es decir, está aislada y la otra tiene una banda que toca el marco y por consiguiente por medio de una cadenita se pone *á tierra*.

Para cargarlo, se pone la lámina de estaño aislada en contacto con la máquina, como lo indica la figura, y entonces esta armadura se cargará de electricidad positiva y la que está *á tierra*, de electricidad negativa.

**82. Botella de Leyde.**—Este condensador es el más antiguo y el más usado. Fué descubierto por *Cunéus*, en 1746, en Leyde y su descubrimiento fué casual, pues queriendo *Cunéus* electrizar el agua contenida en un vaso que él sostenía en la mano, introdujo en el agua un clavo que comunicaba con los conductores de una máquina eléctrica.

Después de separarla del contacto de la máquina quiso sacar el clavo y experimentó una conmoción superior á la que producía directamente la máquina.

En este experimento el *dieléctrico* era el vaso, el *colector* el clavo y el agua; y el *condensador*, era la mano.

La botella de Leyde consiste (*fig. 60*) en una botella de vidrio cerrada por un corcho en el cual penetra un conductor de cobre *A* que está en contacto con una cantidad de hojuelas de oro *AA* que están en el interior de la botella.

Exteriormente, hasta los tres cuartos de su altura, la botella está cubierta por una lámina de estaño.

El sistema formado por el conductor *A* y las hojuelas de oro, forma el *colector* del condensador; el *dieléctrico* está constituido por vidrio de la botella *C*, y el *condensador*, es la lámina de estaño.



Fig. 60  
Botella de Leyde

La parte superior de la botella (*fig. 61*), está cubierta por una capa de goma laca.

Como vemos, la varilla *T* está terminada por una esfera y el vástago forma un gancho.

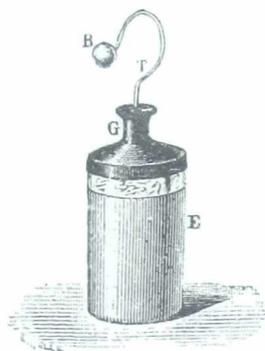


Fig. 61

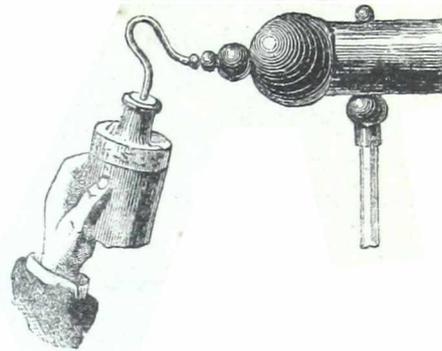


Fig. 62

Botella de Leyde

—Para cargarla, se pone la esfera (*fig. 62*) en contacto con la máquina, sosteniéndola con la mano, luego el condensador ó lámina de estaño está *á tierra* por intermedio de nuestro cuerpo.

83.—Con la botella de *Leyde á armaduras movibles*, puede demostrarse de una manera evidente que en un

*condensador, las dos electricidades residen en el dieléctrico.*

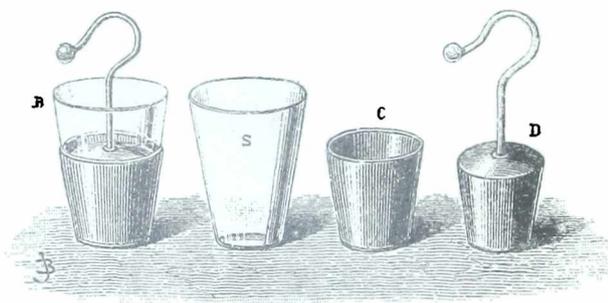


Fig. 63

Botella de Leyde á armaduras movibles

Al efecto, tomemos una botella de *Leyde B*, (*fig. 63*) formada por un vaso de vidrio *S*, un vaso más pequeño de cobre *C* dentro del cual entra el vaso *S* y final-

mente, un cuerpo cónico de cobre *D*, que entra en el vaso.

La botella así formada se carga como una botella ordinaria y enseguida se coloca sobre una superficie aisladora.

A continuación, se saca con la mano la armadura interior *D* y se coloca sobre la mesa, se saca el vaso del vidrio *S* y la armadura exterior *C* y también se colocan sobre la mesa.

Con esta operación las armaduras *D* y *C* estando en contacto con el suelo por la mano primero y por la mesa después, han perdido su electricidad.

El vaso *S* por ser de vidrio y por consiguiente mal conductor, no pierde la electricidad sino en los puntos que ha habido contacto.

Si enseguida se vuelve á formar la botella poniendo el vaso *S* dentro del *C* y el *D* dentro del vaso *S*, la botella vuelve á quedar cargada y con el excitador se puede obtener una chispa tan fuerte, como si las armaduras *D* y *C* no se hubieran descargado.

**84.—Jarra de Leyde.**—La *Jarra de Leyde* (fig. 64), no es más que una botella de *Leyde* pero de mayores dimensiones, con la variación de que la *armadura interior* en vez de hojuelas de oro, está constituida por una lámina de estaño que recubre la pared interior de la vasija y que la varilla que atraviesa el tapón no es en forma de gancho, sino recta terminada por una esfera superiormente y por una



Fig. 64  
Jarra de Leyde

cadenita que llega hasta el fondo de la jarra por la parte interior.

De manera que la hoja de estaño interior, la cadenita y la varilla constituyen la *armadura interior* de la jarra.

**85.—Bateria eléctrica.**—Se dá el nombre de *Bateria eléctrica* á un conjunto de 4, 6 ó 9 jarras que están colocadas dentro de un cajón cuyo fondo está cubierto de una hoja de estaño de manera que todas las armaduras exteriores de las jarras están ligadas entre sí, como si fuera una sola armadura exterior de gran superficie.

Las armaduras interiores (*fig. 65*), también están ligadas entre sí por medio de varillas metálicas horizontales que concurren á una esferita central.

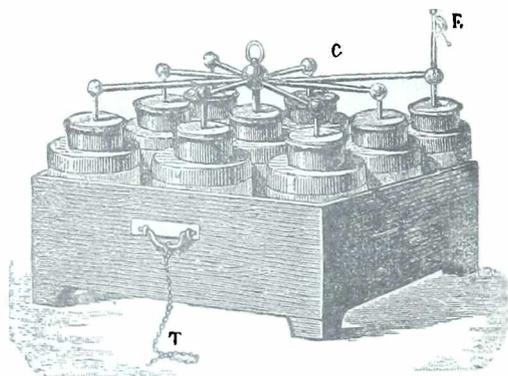


Fig. 65  
Bateria de Leyde

Para cargarla, basta poner en comunicación la esferita central, con la máquina eléctrica y la manija que comunica con la hoja de estaño exterior, con la tierra, por medio de una cadenita *T* puesta en contacto con el suelo.

—La batería tarda mucho en cargarse, pero su efecto es considerable, pudiendo causar hasta la muerte de la persona que la descarga con su propio cuerpo.

—La batería tarda mucho en cargarse, pero su efecto es considerable, pudiendo causar hasta la muerte de la persona que la descarga con su propio cuerpo.

Es natural que debe ser considerable el efecto, pues estando reunidas todas las armaduras interiores y todas las armaduras exteriores, la batería obra como si fuera una botella de *Leyde* de colosales dimensiones.

**86.—Condensador viviente.**—Un operador se para sobre un *taburete aislador* y apoya su mano en la máquina

eléctrica. La otra mano con *guante de goma*, la apoya en la mano de un segundo operador parado en el suelo (no aislado) y después de hacer funcionar la máquina si el primer operador separa la mano de la máquina y la apoya en la otra mano libre del segundo operador, los dos experimentarán una fuerte conmoción.

Se ha formado un verdadero condensador.

El operador aislado forma el *colector*, el guante de goma, es el *dieléctrico* y el operador que está en el suelo es el *condensador*.

**87.—Experimentos con los condensadores.**—Debido á su mayor energía, los condensadores nos permiten poner de manifiesto, los diferentes efectos de la *descarga eléctrica*.

Estos diferentes *efectos* de la electricidad estática, pueden dividirse en *Fisiológicos*, *Mecánicos*, *Luminosos*, *Caloríficos* y *Químicos*.

Debemos hacer notar, que estos diferentes efectos producidos, dependen de la *energía eléctrica* desarrollada por las cantidades de electricidad puestas en movimiento y por la diferencia de potencial que presentan los cuerpos entre los cuales se produce la descarga.

**88.—Efectos fisiológicos.**— Cuando se hace estallar una chispa de una máquina eléctrica por intermedio del dedo, se experimenta una conmoción que llega hasta *el puño*. Si la máquina es poderosa, la conmoción puede llegar hasta *el codo*.

Si en vez de producir la chispa con una máquina, la producimos con un condensador como una *botella de Leyde*, teniendo la botella en una mano y acercando la otra mano á la esfera, la conmoción puede llegar *al hombro*, y finalmente si la botella es grande, la conmoción puede llegar hasta *el pecho*.

Si se tratara de una batería eléctrica puede producir la muerte.

—Las baterías comunes matan los pajarillos.

—Si la superficie de las armaduras alcanza á 3 ó 4 metros, es posible matar un perro ó un gato y con la batería del Museo de *Taylor* en *Harlem*, cuya armadura tiene 58 metros cuadrados de superficie, es posible *matar un buey*.

—Con la botella de *Leyde* es posible hacer experimentar la conmoción, simultáneamente, por un gran número de personas.

Al efecto, todas ellas ligan sus manos dos á dos, formándose *la cadena*. Enseguida, el primero toma la botella en la mano y el último toca la armadura interior y al estallar la chispa todos experimentan la conmoción.

—Ya indicamos que cuando el paso de la electricidad se hace lentamente, el operador no sufre (con la electricidad estática) y sólo experimenta una especie de viento en la mano y la cara y se observa que los pelos se paran.

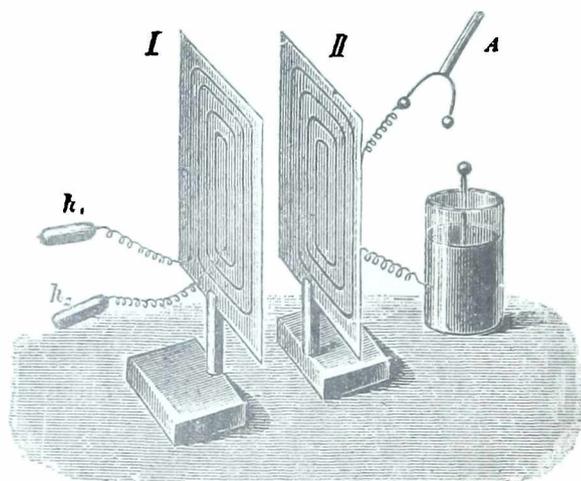


Fig. 66  
Inducción eléctrica

Finalmente citaremos este hermoso experimento que nos pone de manifiesto la inducción eléctrica.

Dos placas de ebonita I y II tiene, como lo indica la figura, dos espirales de cobre fijadas en su superficie.

Una de las espirales termina por dos mangos metálicos que se pueden tener en la mano.

La otra espiral (II) se prolonga en sus extremos uno de los cuales va á la armadura exterior de una bote-

lla de Leyde y el otro va á un excitador. Si hacemos estallar la chispa, el observador que tiene en sus manos los manubrios, siente la conmoción.

**89.—Efectos mecánicos.**—La electricidad estática produce notables efectos mecánicos.

Ya indicamos el *Campanario Eléctrico*, el *granizo eléctrico*, etc.

Ahora indicaremos el experimento llamado el *taladra vidrio*, que consiste en poner (fig. 67) una lámina de

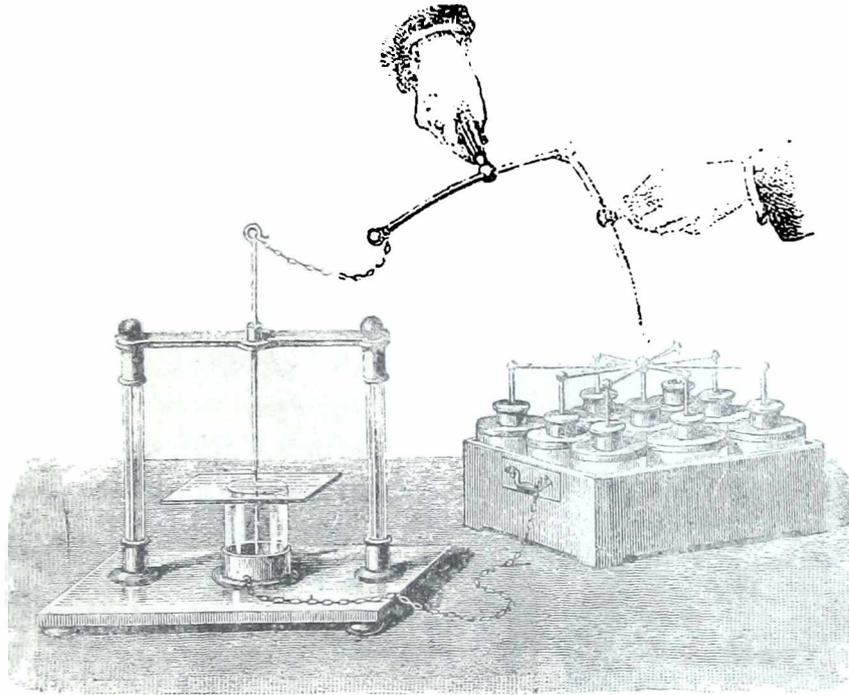


Fig. 67  
Taladra vidrios

vidrio entre dos puntas, una de las cuales está en comunicación con la armadura exterior de la batería y la otra punta se pone en comunicación con la armadura interior por medio de un excitador.

Cuando entre el excitador y la armadura interior estalla la chispa, se ve estallar otra chispa entre las dos puntas y el vidrio queda agujereado.

—Si en vez de una lámina de vidrio, se pone un cartoncito, también quedará agujereado y se tendrá el notable fenómeno de observar que parece que el cartón ha sido agujereado *en los dos sentidos*, lo cual se comprueba por el tacto.

Esto es debido á que las dos caras del cartón se han electrizado por inducción y entonces entre las caras y las dos puntas, han *estallado dos chispas*.

Si en vez de un cartón ponemos un trozo de *madera*, la madera se divide en varios fragmentos.

Más adelante indicaremos otros efectos mecánicos de la electricidad.

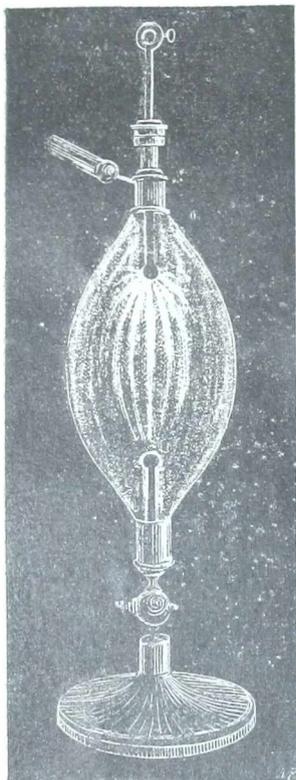


Fig. 68  
Huevo eléctrico

**90. — Efectos luminosos.** — Los efectos luminosos de la electricidad estática, se manifiestan en forma de *chispas*, *penachos* y *resplandores*.

La forma y naturaleza de estas manifestaciones luminosas, varían con *la carga* que produce la chispa, con la *naturaleza del gas* en el cual estallan y con la *naturaleza de los conductores* entre los cuales estallan.

Ya vimos que en el aire, el efecto luminoso de la chispa eléctrica, variaba con la carga eléctrica.

Para demostrar que la naturaleza del fenómeno luminoso, depende también de la naturaleza del gas, podemos valernos del *huevo eléctrico* ó el *huevo filosófico*, que consiste (*fig. 68*) en un recipiente ovoidal de paredes resistentes, munido de un robinete que permite hacer el vacío en su interior.

La armadura inferior, de este recipiente está terminada interiormente por una varilla con una esfera de cobre y superiormente por otra varilla análoga que puede correr ajustadamente y por consiguiente acercarse ó alejarse de la esfera inferior.

—Para producir la chispa se pone la armadura inferior en contacto con el suelo y la armadura superior en contacto con la máquina eléctrica.

Bajando más ó menos la varilla *O*, se obtendrá que entre una y otra esfera estallan chispas.

Si se enrarece el aire ya no estallarán chispas, sinó que en el polo *positivo* se producirá un gran penacho violado y sobre el polo negativo un resplandor débil del mismo color.

Es este el fenómeno que se vé en la figura.

Si finalmente enrarecemos más el aire, ya no habrá penacho luminoso y sólo un resplandor violado llenará todo el hueco.

Esto en el aire enrarecido, pero si fuera en otro gas cualquiera enrarecido, la *coloración* cambiaría.

Así, en el *ácido carbónico*, la luz es *verdosa*, en el *hidrógeno*, la luz es de un *rojo* pronunciado y de distinto color de los distintos gases.

Aumentando más y más el vacío, llegaría un momento en que ya no habría luz.

Esto se comprueba haciendo pasar la chispa en una *cámara barométrica* que es el vacío más perfecto que podemos conseguir.

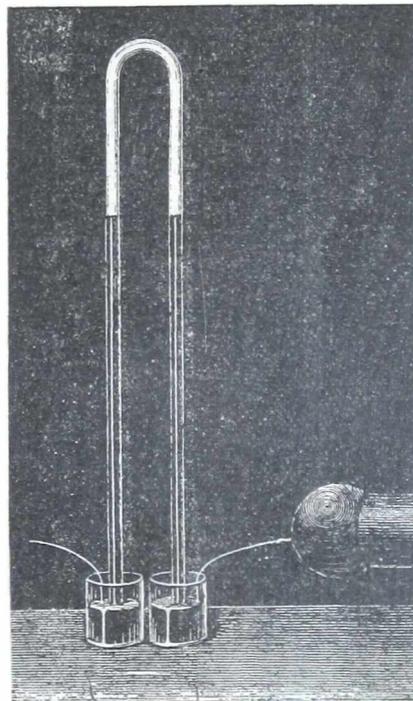


Fig 69  
Efecto luminoso de la chispa

Al efecto *Cavendish* ideó un barómetro á dos ramas (fig. 69) en el que una de las cubetas está ligada al suelo y la otra cubeta, ligada á una máquina eléctrica.

La luz que se obtiene es de un blanco verdoso, lo cual es debido á que *el vacío no es perfecto*, pues contiene una pequeña cantidad de aire y vapor de agua.

Si antes de hacer el experimento, se hierve el mercurio, la luz desaparece casi por completo y la poca luz que se produce, es debido á la presencia de la cámara barométrica de los *vapores de mercurio*.

Si se calienta el mercurio y por consiguiente el vapor aumenta en la cámara, el resplandor será muy vivo.

Esta variación de la intensidad de la luz, nos demuestra, que la luz que vemos es el resultado de la recomposición de las dos electricidades á través de un medio ponderable, *cuya presencia es necesaria para tener esta manifestación de la electricidad*.



Fig. 70  
Tubo centelleante

91.—Otros dos experimentos que nos dan manifestaciones luminosas, de la electricidad estática tenemos con el *tubo centelleante* y el *cuadro mágico*.

—El *tubo centelleante* (fig. 70) consiste en un tubo de vidrio terminado por dos armaduras metálicas en sus extremos.

Sobre la superficie exterior del tubo y partiendo de una hasta la otra armadura, se han pegado sobre la pared interior del tubo una serie de losanges de estaño, dejando entre uno y otro un pequeño espacio.

Si se toma el tubo por la armadura inferior y se acerca á la máquina su armadura superior, se produ-

cirá entre losange y losange una série de chispas que nos marcarán en el tubo una hélice luminosa.

—El *cuadro mágico* (*fig. 71*) fundado en el mismo principio que el tubo centelleante, consiste en una lámina de vidrio, sobre la cual se ha pegado una cinta de estaño replegada muchas veces paralelamente á sí misma.

Sobre esta banda de estaño y con un cortaplumas se trazan soluciones de continuidad representando una

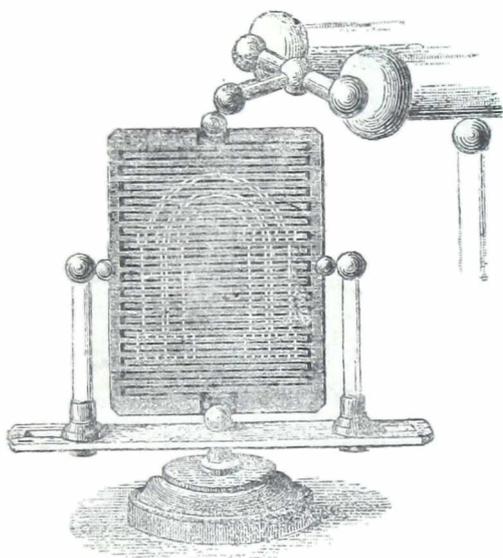


Fig. 71  
Cuadro mágico



Fig. 72  
Efecto calorífico

flor, una casa, etc., y si enseguida ponemos en contacto con el suelo el extremo inferior de la *cinta* de estaño y el extremo superior con la máquina, se verá representada la flor, la casa, etc., por un trazo luminosa, debido á las chispas que simultáneamente se han producido en cada solución de continuidad.

**92.—Efectos Caloríficos.**—La electricidad estática produce efectos caloríficos notables.

En una copa con pié metálico que penetra al interior, viértase alcohol ó éter (*fig. 72*), cárguese una botella

de *Leyde*, únase la armadura exterior con el fondo de la copa y hágase estallar la chispa sobre el alcohol, y

éste se inflamará. Luego, el calor desarrollado por la chispa basta para encender el alcohol.

—Lo mismo sucederá si se hace pasar la chispa á través de la pólvora.

—El calor desarrollado por la chispa puede llegar á poner *incandescentes* un hilo de *platino* y hasta *fundir y volatizar el oro, la plata, etc.*

Esta volatización del oro, puede ponerse de manifiesto por medio de un aparato llamado del *retrato eléctrico*.

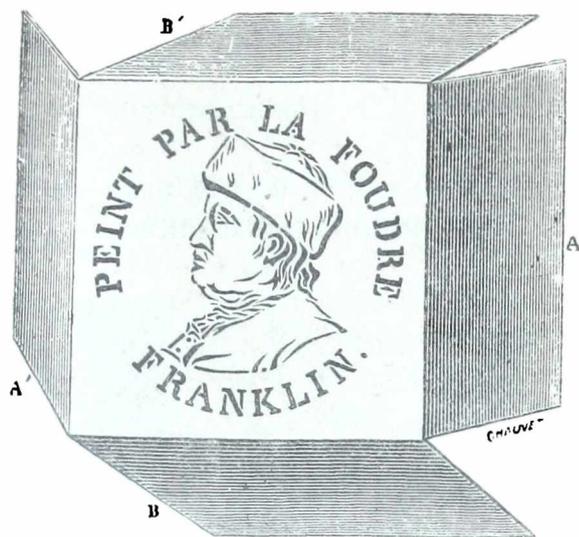


Fig. 73  
Retrato eléctrico

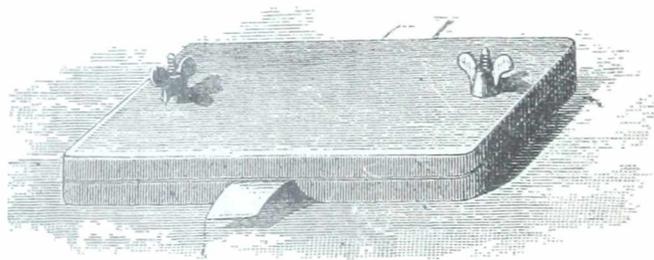


Fig. 74  
Retrato eléctrico

Se toma (*fig. 73*), una hoja de papel, donde se ha recortado un retrato ó silueta.

Sobre esta hoja recortada se aplica una hojuela de

oro y sobre ella puede plegarse dos hojas de estaño  $A$  y  $A'$  y sobre éstas, otras dos  $B$  y  $B'$  que sirven como protección.

Del otro lado de la hoja recortada se pone un trozo de papel blanco ó un trozo de seda blanca.

Todo esto se encierra dentro de una prensa, dejando de fuera, como se vé en la *figura 74*, dos apéndices de estaño.

Enseguida se ponen estos dos apéndices en contacto con un excitador y se hace estallar la chispa que atraviese las hojas de estaño y la de oro.

Esta que es sumamente delgada, se volatiza y los vapores pasando á través de los recortes, se depositan sobre el trozo de género de seda y reproduce con líneas violáceas todos los detalles del dibujo.

**93.—Efectos químicos.**—La chispa eléctrica produce notables fenómenos químicos, fenómenos de combinación y de descomposición.

Como los efectos más notables los produce la *electricidad dinámica*, ya tendremos ocasión de estudiar varios fenómenos de esta naturaleza. Por ahora sólo indicaremos el experimento del *Pistoletete de Volta*.

El aparato consiste en una botella de latón cuya pared está atravesada por una varilla terminada por dos esferas (*fig. 75*) una exterior  $A$  y otra interior  $B$  que está muy cerca de la pared.

Se introduce dentro de la vasija, una mezcla detonan-

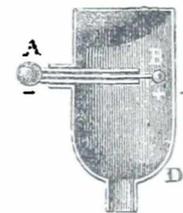


Fig. 75  
Pistoletete de Volta

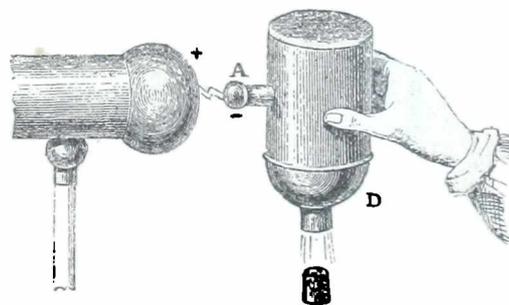


Fig. 76  
Pistoletete de Volta

te formada por *dos* volúmenes de *hidrógeno* y *uno* de *oxígeno* y se tapa la vasija con un corcho.

Enseguida, teniendo la botella con la mano (*fig. 76*) se acerca la esfera *A* á la máquina y se vé estallar una chispa, pero al mismo tiempo salta otra chispa entre la esfera *B* y la pared de la vasija.

Esta última chispa provoca la combinación del hidrógeno y el oxígeno, formando agua, pero produciendo la combinación química gran desarrollo de calor, el agua se evapora y toma tal fuerza expansiva, que el tapón es proyectado con violencia á una gran distancia.

---

## CAPITULO VIII

## MÉTÉOROS ELÉCTRICOS

94.—**Electricidad atmosférica.**—*Franklin*, observando la analogía que presentan los rayos con las chispas eléctricas, supuso que el rayo era producido por la electricidad, de que estaban cargadas las nubes.

Para comprobarlo esperó un día de tormenta y elevó un barrilete, atando en la extremidad inferior de la cuerda una llave de hierro.

Pasaron las primeras nubes, pero la llave no daba chispas, ya se desalentaba *Franklin*, cuando empezó á llover y entonces, convirtiéndose la cuerda en un buen conductor, la llave dió chispas.

Cuenta *Franklin* que su satisfacción fué tan grande, que no pudo contener las lágrimas.

—Hoy se constata la presencia de la electricidad atmosférica por medio del *Electróscopo de Saussure* (fig. 77) que como vemos no es más que un electrómetro á *hojas de oro*, terminado por un conductor en punta de 60 centímetros de largo.

Se observa que la extremidad inferior se electriza *positivamente*, lo cual nos comprueba que la atmósfera



Fig. 77  
Electróscopo de Saussure

es un campo eléctrico, que se puede considerar producido por *masas positivas* situadas á gran altura, pues en ese caso, las masas eléctricas obrarían por influencia sobre el conductor *P*, rechazando hacia abajo la electricidad positiva y atrayendo hacia sí, la electricidad negativa, que escaparía por la punta.

—Esta electricidad atmosférica puede atribuirse á varias causas, como la condensación del vapor de agua, el frotamiento de las masas de aire, la vegetación de las plantas, las reacciones químicas que constantemente se efectúan en la tierra y en la atmósfera, etc.

**95.—Nubes electrizadas.**—Estando la atmósfera cargada de electricidad positiva, se comprende, que si en un momento dado se condensan los vapores, la nube así formada se convierte en un buen conductor, luego la electricidad positiva puede acumularse en ciertas partes de la nube.

—Si ahora suponemos que debajo de esa nube *muy cargada* de electricidad positiva pasa otra, poco electrizada se producen los fenómenos de influencia y la electricidad positiva de esta segunda nube sería rechazada hacia abajo y la negativa hacia arriba.

Entonces, si por un medio cualquiera, la nube inferior se pone en contacto con el suelo, ya sea tocando los flancos de una montaña ó disolviéndose en lluvia, perderá su electricidad positiva y quedaría cargada de electricidad negativa.

De esa manera, pues, podemos concebir que hayan nubes cargadas de electricidad positiva y nubes cargadas de electricidad negativa.

Los trabajos de *Palmieri*, han demostrado que es debido á la condensación de los vapores en las altas regiones, la electricidad que poseen las nubes, y que si las nubes dan varios rayos es á causa de que siguiendo la condensación de los vapores, también sigue la carga de la nube.

**96.—Rayo.—Relámpago.—Trueno.**—El rayo no es más que una *descarga eléctrica* entre dos nubes ó entre una nube y el suelo. En este segundo caso se dice que el rayo *cae*.

Cuando cae el rayo, lo hace preferentemente sobre los puntos más elevados, pues es allí donde se acumula de preferencia la electricidad, como en la cima de las montañas y de los árboles, los edificios elevados, etc.

Cuando una nube electrizada, por ejemplo positivamente, pasa cerca del suelo, electriza por influencia á éste rechazando la electricidad positiva y atrayendo la negativa. Si en ese punto de la tierra hay cimas elevadas, árboles, etc., puede suceder que no caiga el rayo, pues por esos puntos *se escapa la electricidad de la tierra* y la nube vuelve *al estado neutro* ó disminuye su tensión.

Si ese paso silencioso no puede hacerse por falta de puntas ó si la tensión eléctrica de la nube es muy grande, entonces, la recomposición se hace de una manera brusca y salta la chispa, que es el rayo.

Simultáneamente con la chispa se produce *luz y sonido*, que son el *Relámpago* y el *Trueno*.

**97.—Los Relámpagos** pueden tener varias formas, generalmente son en forma de zig-zag, lo cual se atribuye á que la recomposición que es casi instantánea, se hace por las líneas que presentan menos resistencia.

Otras veces lo hacen por fulgores que iluminan gran parte del cielo y sin contornos definidos. Se atribuye á que son descargas que se producen detrás de las nubes ó debajo del horizonte.

Finalmente, suelen presentarse bajo forma de globos de fuego, visibles hasta durante diez segundos y que se pueden seguir fácilmente con la vista, algunas veces estallan en el aire con un ruido espantoso y otros llegan al suelo, penetrando en los edificios.

La longitud de los relámpagos alcanza hasta 15 kilómetros.

**98.**—El ruido que acompaña á la descarga eléctrica, se llama *Trueno* y es simultáneo con el relámpago.

—*Se oye*, después de haber visto el relámpago, debido á la diferencia entre la velocidad de la luz y la del sonido.

—El rumor que acompaña generalmente al trueno, es debido á que, si *una misma* descarga se hace *simultáneamente* sobre varias nubes, esas descargas simultáneas no pueden llegar á nuestro oído sino una después de otra, por la *diferente distancia* á que están de nosotros y por la poca velocidad del sonido.

Los *écos* entre nube y nube y entre nube y suelo, también dán lugar á los rumores que acompañan al trueno.

**99.**—**Efectos del Rayo.**—Los efectos del rayo, son muy variados, semejantes á los de una batería eléctrica, pero muy amplificados.

—Como efectos *mecánicos* tenemos el derrumbamiento de edificios, voladuras de techos, árboles quebrados, etc.

—Como efectos *caloríficos*, se conocen los incendios, la fusión de los metales y hasta su volatilización.

—Como efectos *fisiológicos*, se tienen las quemaduras, parálisis y á menudo la muerte.

Cuando cae un rayo, se suele sentir un olor especial que se compara con el olor á azufre.

Es debido á la formación del *ozono*, por la acción de la chispa sobre el oxígeno del aire. Es decir un efecto *químico*.

**100.** — **Rayos globulares.** — Además de los rayos que se producen en forma de chispas, hay otros que lo hacen en forma de una esfera ó bola de fuego de pocos centímetros de ancho.

Son poco frecuentes, pero se tienen catalogados un gran número de ellos.

Hace pocos años se observó en *Rocha* (República Oriental) en pleno día y después de recorrer una calle estalló contra una corniza pulverizándola.

En Francia se han observado varios y hasta se han reproducido con máquinas estáticas muy poderosas.

No existe una explicación completamente satisfactoria.

**101.—Choque de retorno.**—Sucede á veces que el rayo mata á grandes distancias, aunque no haya herido directamente al animal.

Esto se explica por el *choque de retorno* que consiste en lo siguiente:

Dijimos que cuando la nube electrizada pasaba cerca de un punto dado del suelo, este se electrizaba negativamente por influencia y si un animal está en el medio influenciado, ese animal se conduce como un conductor cualquiera, *cargándose también* de electricidad negativa.

Si á una cierta distancia cae el rayo, el suelo vuelve al estado neutro y la recomposición *brusca* que se produce ocasiona desorganizaciones en el animal que le causan la muerte.

**102.—Pararrayos.**—El principio en que descansan los *pararrayos* es en el poder de las puntas. Efectivamente, recordemos que si á una máquina eléctrica se le acerca una punta metálica que comunica con el suelo, como teniéndola en la mano, la máquina se descarga sola, sin ruido ni chispa, pues por las puntas vá la electricidad que necesita la máquina para neutralizarse.

Análoga cosa sucede, si á una nube que pasa cargada de electricidad se le presenta la punta de un buen conductor que esté en perfecta comunicación con el suelo.

Esa punta constituye el pararrayos y su efecto es

evitar el rayo ó que si cae, caiga con preferencia sobre él, que es el punto más elevado.

—Consiste en una barra de hierro de 6 á 7 metros de longitud y 5 ó 6 centímetros de diámetro, que se coloca en los puntos más elevados de un edificio, y que comunica con la tierra por medio de un hilo de cobre el cuál está terminado en una gran chapa del mismo metal.

La punta del pararrayo termina generalmente en una punta de platino para evitar la oxidación y evitar la fusión al producirse alguna descarga eléctrica.

El conductor termina en un pozo ó en una napa de agua y para conseguir una mejor comunicación se termina el conductor con varias ramificaciones (*fig. 78.*)

Si un edificio tiene varios pararrayos *PP* se unen entre sí por medio de varillas metálicas *AC* y *CB*.

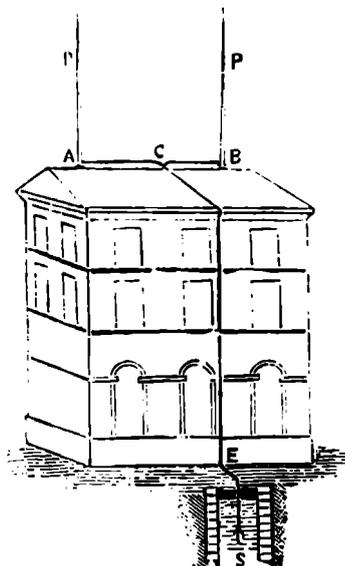


Fig. 78  
Pararrayo

Es necesario tener cuidado que ni el pararrayos ni el conductor tengan soluciones de continuidad y además, de ligar con el conductor las principales piezas metálicas del edificio para que la electricidad que se ha desarrollado en ellas por influencia, no determine descargas laterales con el conductor del pararrayos y que ella más bien se escape por la punta del pararrayos.

—Se acepta que el espacio garantido por el pararrayos, es la superficie de un círculo

lo cuyo radio es doble de la altura de la varilla.

**103.**—La última palabra sobre los pararrayos es el sistema *Melsens*, que ha sido adoptado en la Torre de Eifel.

Está basado en el principio de la *cámara protectora de Faraday* que dice, que en el interior de un cuerpo conductor que comunica con el suelo, *no hay efectos de influencia electrostática*.

Ya sabemos también que no es necesario que el recinto sea continuo, basta un enrejado.

El sistema consiste en envolver un edificio en una serie de cables metálicos  $AA'A''$ ,  $BB'B''$  ..... (fig. 79) ligados entre sí como para formar una red alrededor del edificio. Estos cables comunican perfectamente con el suelo.

Los puntos salientes del edificio como  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ , están munidos de puntas múltiples ligadas á los conductores.

Estas puntas dejan escapar la electricidad desarrollada sobre el edificio, por el paso de la nube electrizada é impide la acumulación de cargas, que son las que producen el rayo.

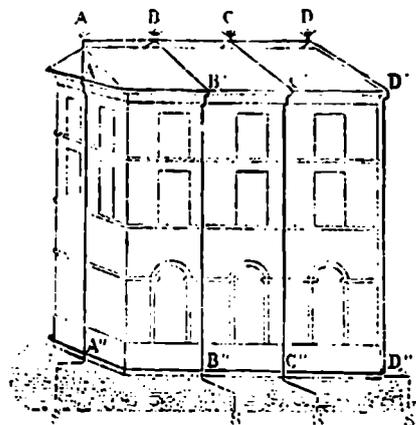


Fig. 79  
Pararrayo Melsens

# LIBRO SEGUNDO

---

## MAGNETISMO

---

### CAPÍTULO PRIMERO

---

#### PROPIEDADES DE LOS IMANES

---

**104 —Imanes naturales.**—En ciertos puntos de la tierra como *Suecia, Laponia, Arkansas, República Oriental*, etc., existe un mineral de hierro compuesto de *protoxido* y *sesquioxido* de *hierro* que los *griegos* y *romanos* llamaban *la piedra*, y que tiene la propiedad de atraer los pequeños trozos de hierro.

Si se deja caer esta piedra sobre limadura de hierro, se verá que ella se recubre de la limadura de dicho metal.

Es un *imán natural*.

El imán, no sólo atrae el hierro, sinó que también atrae el *nickel*, el *cobalto*, el *chromo*, el *manganeso*, etc.

**105.—Imanes artificiales.**—Esta propiedad de atracción de los imanes, puede ser fácilmente *trasmitida* á otros cuerpos como el *acero*. Al efecto, bastará frotar una

varilla de acero. con un imán natural y esta varilla se habrá convertido en un verdadero imán, que á su vez

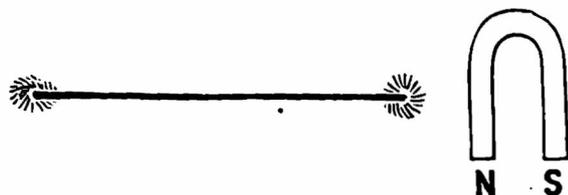


Fig. 80.  
Imanes artificiales

puede transmitir su propiedad á otro cuerpo.

Generalmente, á los imanes *artificiales* se les dá la

forma de una barra *rectilínea* ó se dobla en forma de *herradura* (*fig. 80*).

**106.—Polos del imán.**—Si tomamos una barra imantada y la cubrimos de limadura de hierro, veremos que la limadura se acumula hacia los extremos (*fig. 81*).

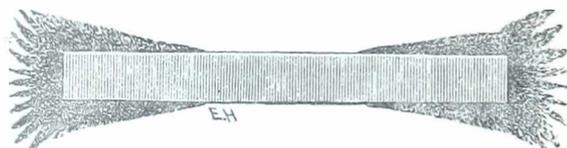


Fig. 81.  
Polos de un imán

Esas regiones que están hacia los extremos de la barra imantada y donde la acción magnética *es máxima*,

toman el nombre de *polos* y la región intermedia de la barra donde la acción es *casi nula*, toma el nombre de *línea neutra*.

Nosotros consideraremos siempre que las barras imantadas no tienen más que dos *polos*, pero eso no es así siempre, pues suele suceder que una barra además de los polos extremos tiene otros intermedios, separados entre sí por una línea neutra. Estos puntos toman el nombre de *puntos consecuentes*.

**107.—Agujas imantadas.**—Generalmente, en vez de barras prismáticas ó cilíndricas, los imanes artificiales están constituidos por unas láminas de acero en forma de romboide muy alargado y que toman el nombre de *agujas imantadas* (*fig. 82*).

Suspendidas por su centro de gravedad, estas agujas se disponen aproximadamente en la dirección *Norte-Sud*. El extremo que se dirige hacia el Norte toma el nombre de *Polo Norte* y el otro extremo *Polo Sud*.

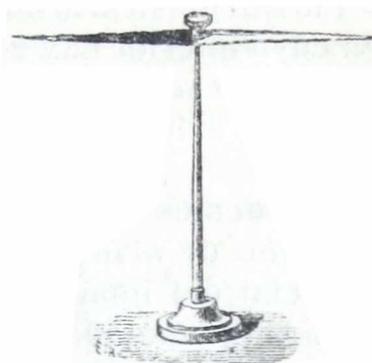


Fig. 82  
Aguja imantada

**108. — Acción recíproca de los polos de dos imanes.**—Supongamos tener (*fig. 83*) una aguja imantada suspendida por un hilo en su centro de gravedad.

Si á uno de los extremos de la aguja suspendida le acercamos un trozo de hierro, veremos que hay *atracción* y si acercamos el mismo trozo de hierro al otro extremo de la aguja *también habrá atracción*.

—Ahora, si en vez de acercarle á la aguja imantada un trozo de hierro, le acercamos el extremo de *otra aguja imantada* puede suceder que haya *atracción* y si invertimos la aguja que tenemos en la mano, se producirá *repulsión*.

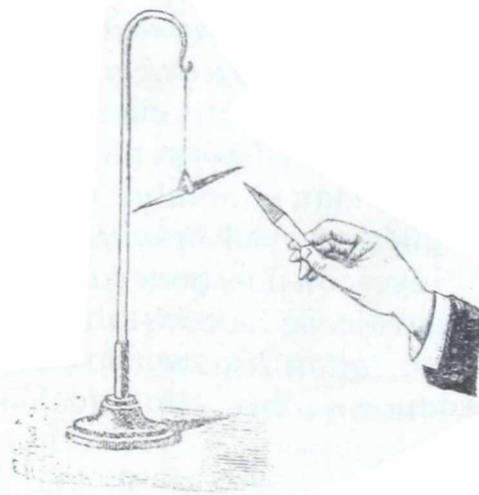


Fig. 83  
Acciones de los polos de las agujas imantadas

Luego podemos decir que los *polos de dos imanes se atraen ó se repelen*.

Los del *mismo nombre se repelen*, y los de *nombre contrario se atraen*.

**109.—Dónde reside el magnetismo.**—Se comprueba experimentalmente que el magnetismo reside *en la superficie*.

Para demostrarlo nos bastará imantar un *tubo* de acero en cuyo interior hay un cilindro del mismo metal.

*El tubo se imanta* y el cilindro que está en el interior nó, pues si lo sacamos no presentará propiedades magnéticas.

—Podemos también sumergir una barra imantada en un baño de *ácido sulfúrico*, el cual comerá la capa superficial del imán.

Sacada y lavada la barra imantada, *ya no tendrá* propiedades magnéticas.

**110.—Sustancias magnéticas y diamagnéticas.**—Ya digimos que además del hierro, también el *nickel, cobalto, cromo* etcétera, gozan de la propiedad de ser atraídos por los polos de un imán, pero no tan intensamente.

Estos cuerpos *atraídos* ó que atraen el imán son llamados *magnéticos*.

En cambio, otros cuerpos como el *bismuto, antimonio, cobre, zinc, fósforo*, etc, son *rechazados* por un imán y éstos toman el nombre de *diamagnéticos*. El más diamagnético es el *bismuto*.

Hoy, con los poderosos imanes que se han podido construir, se ha constatado que los imanes *tienen acción* sobre *todos los cuerpos* sólidos, líquidos ó gaseosos y producen sobre ellos acción de atracción ó de repulsión.

**III —Imanes quebrados.**—Si se toma una barra imantada  $AB$  (*fig. 84*) y se divide en dos trozos  $AB'$  y  $A'B$  veremos que estos dos trozos son *dos imanes* y los *polos nuevos* que se han constituido  $A'$  y  $B'$  son de nombre contrario.

Si cada uno de estos dos imanes  $AB'$  y  $A'B$  los dividido en otros dos, se tendrán cuatro imanes cuyos polos vecinos son de nombre contrario.

Si enseguida se unen esos imanes en el mismo orden, se tendrá reconstruido el imán primitivo.

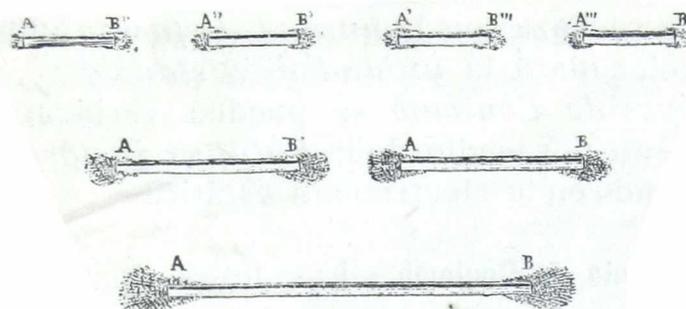


Fig. 84  
Imanes quebrados

**112.—Teoría del magnetismo.**—La teoría más completa del magnetismo, es la de *Ampere*, pero aún no podemos exponerla, porque está basada en fenómenos *eléctricos* que no conocemos.

La *teoría* que se aceptaba anteriormente, es la de los *fluidos magnéticos*; según la cual, los cuerpos magnéticos poseen *dos fluidos magnéticos*, que ejercen acción de *repulsión* sobre sí mismos y de *atracción* uno sobre otro.

Estos fluidos toman el nombre de *fluido boreal* y *fluido austral*, según ejercen su acción en uno ú otro polo.

Cuando estos *fluidos* están reunidos alrededor de cada molécula, *se neutralizan* mutuamente y cuando por una fuerza cualquiera se separan, se dice que hay *imunación* ó imantación y entonces la presencia de un fluido se manifiesta en la mitad de una barra y la presencia del otro fluido, en la otra mitad.

**113.—Leyes de las acciones magnéticas.**—Las leyes de las acciones magnéticas ó leyes de *Coulomb*, son dos, expresadas por una sola, que es la siguiente:

*Dos polos magnéticos colocados á una cierta distancia, se atraen ó se repelen en razón inversa del cuadrado de la distancia y en razón directa del producto de sus masas magnéticas.*

Se llama *masa magnética* de un polo de un imán, la acción que la tierra ejerce sobre él.

Se toma como *Unidad de masa magnética*, aquella masa que rechaza con la *unidad de fuerza*, una *masa igual*, colocada á la *unidad de distancia*.

Las *leyes de Coulomb* se pueden verificar experimentalmente por medio de la *Balanza de torción*, que estudiaremos en la electricidad estática.

**114.—Fórmula de Coulomb.**—Las leyes de *Coulomb* se representan por

$$F = \pm \frac{m m'}{d^2}$$

siendo  $F$  la fuerza de atracción ó repulsión,  $m$  y  $m'$  las *masas magnéticas* expresadas en *unidades de magnetismo* y  $d$  la *distancia*.

—Si la fórmula tuviera el signo *más* ó positivo, esto quiere decir que hay *repulsión*, pues los signos de  $m$  y  $m'$  deben ser *iguales* y sabemos que cuando los polos son iguales hay *repulsión*.

Si la fuerza  $F$  tiene el signo *negativo*, quiere decir que hay *atracción*.

**115.—Inducción magnética.**—Estas acciones magnéticas se hacen á través de una cierta distancia que no es muy grande, pues la misma ley de *Coulomb* nos dice que la fuerza magnética disminuye *muy rápidamente* al aumentar la distancia.

El espacio alrededor de un imán ó un sistema de imanes en que hay *manifestaciones* de fuerzas magnéticas, se llama *Campo Magnético*.

—La acción magnética se ejerce también á través de los cuerpos diamagnéticos ó poco magnéticos.

Para comprobarlo, podemos poner limadura de hierro sobre un vidrio ó un cartón.

Si debajo de estas láminas hacemos pasar el polo de un imán, veremos que la limadura se acumula en los puntos por donde pasa el imán.

Sin embargo, si en vez de una lámina de vidrio ponemos una lámina de *hierro* algo espesa, ya no ejercerá acción el imán.

Esta lámina de hierro toma el nombre de *pantalla magnética*.

**116.**—Una *sustancia magnética* colocada en un *campo magnético*, se convierte en un imán.



Fig. 85  
Inducción magnética

Así, si próxima á una barra imantada  $A B$  (*fig. 85*) se coloca una barra de *hierro dulce*  $a b$ , esta barra  $a b$  se convertirá á su vez en un imán, pero con los polos opuestos á la barra primitiva.

—Esto podemos ponerlo mejor de manifiesto tomando una barra imantada  $A$  (*fig. 86*) y haciéndole adherir un cilindro de hierro dulce  $a$ . Este cilindro se convertirá también en otro imán, pues si le colocamos debajo de él otro trozo de *hierro dulce*  $a'$ , éste quedará también adherido y así sucesivamente podríamos seguir colocando otros trozos de hierro  $a''$ ,  $a'''$ , etc, hasta tanto que *el peso* de los cilindros de hierro supere á la fuerza del imán.

Si obtenida la cadena que observamos en la figura, se separara el cilindro  $a$ , de la barra imantada, todos los otros cilindros  $a'$ ,  $a''$  ..... también se separarán.

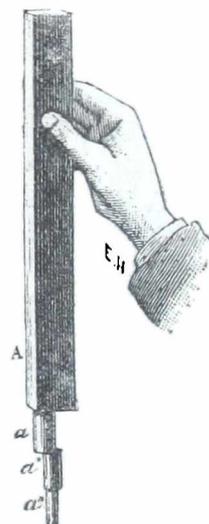


Fig. 86  
Inducción magnética

Esto sucederá, como veremos más adelante, con el *hierro dulce*.

En los dos experimentos que hemos indicado, se nota que la barra *a b* y los cilindros *a, a' a''*..... se han convertido en *imanes*.

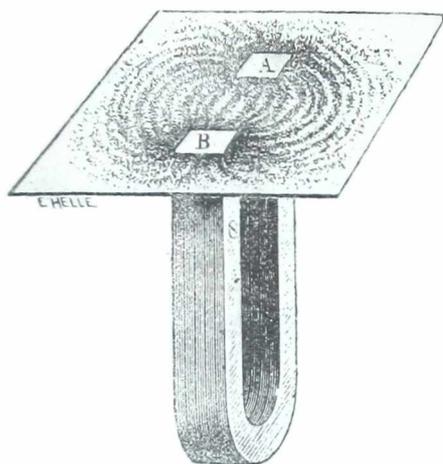


Fig. 87  
Fantasma magnético

Esta lámina se vierte limadura de hierro, se observará, que estas partículas de hierro se dispondrán acumulándose formando ciertas líneas curvas que toman el nombre de *líneas de fuerza del campo magnético*.

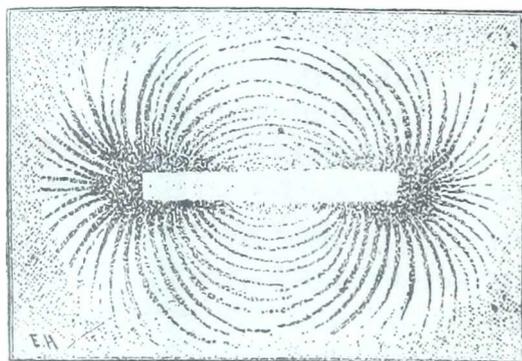


Fig. 88  
Fantasma magnético

Este fenómeno toma el nombre de *imanación por influencia* ó fenómeno de *inducción magnética*.

. 117. — **Fantasmas magnéticos.** — Si sobre los polos de un imán en forma de herradura (*fig. 87*) ó sobre un imán recto (*fig. 88*) se coloca una lámina de vidrio ó cartón y sobre esta lámina se vierte limadura de hierro, se observará, que estas partículas de hierro se dispondrán acumulándose formando ciertas líneas curvas que toman el nombre de *líneas de fuerza del campo magnético*.

Las figuras que así se obtienen, toman el nombre de *espectros ó fantasmas magnéticos*.

— Observamos, que estas líneas de fuerza, son simétricas con respecto á la línea neutra del imán y que el máximo de acción del imán no reside en extremo de la barra sinó en un punto cercano al extremo, pero en el interior de la barra.

—Se ha comprobado que las líneas de fuerza salen del polo Norte y entran por el polo Sud.

Lo que ha sucedido para formarse esos espectros es que cada partícula de hierro, se ha convertido por inducción en un verdadero imán y que se ha orientado de tal modo, que su mayor dimensión sea tangente á la línea de fuerza que pasa por su punto de contacto.

Se ayuda esta disposición, dando pequeños golpes á la lámina de cartón para que las partículas de hierro se muevan con más libertad.

---

## CAPÍTULO II

---

### MAGNETISMO TERRESTRE

**118.—Acción de la tierra sobre los imanes.**—Ya vimos que una aguja imantada *suspendida* por su centro de gravedad cumplió un cierto número de oscilaciones y al fin terminaba por *orientarse*, es decir, colocarse en una determinada dirección que era *la misma* para todas las agujas colocadas en un mismo punto ó muy próximos unos de otros.

Se atribuyen estas fuerzas que obligan á la aguja á *orientarse* en esa dirección, á una *acción magnética de la tierra*.

Por eso, se ha asimilado la *tierra* á un imán donde su polo *Sud*, esté próximo al polo *Norte* geográfico y su polo *Norte*, cerca del polo *Sud* de la tierra, lo cual es conforme á lo que hemos visto al tratar de las acciones recíprocas de los polos de dos imanes.

**119.—Par terrestre.**—Por medio de dos sencillos experimentos, se comprueba que la acción de la tierra sobre un imán, se reduce á una acción de *orientación*, es decir, que la acción de la tierra no tiene ninguna *componente vertical* ni ninguna *componente horizontal*.

—Para probar que no hay ninguna *componente vertical*, nos bastaría *pesar* la aguja, antes de imantarla, con una balanza muy sensible, y enseguida *pesarla* después de imantarla.

Si hubiera alguna *componente vertical*, debería tener-

se alguna *diferencia en los pesos*, cosa que no sucede; luego, no existe componente vertical.

—Para demostrar que no hay componente *horizontal*, se toma (*fig. 89*), un flotador colocado en una vasija con agua y sobre el flotador, se suspende una aguja.

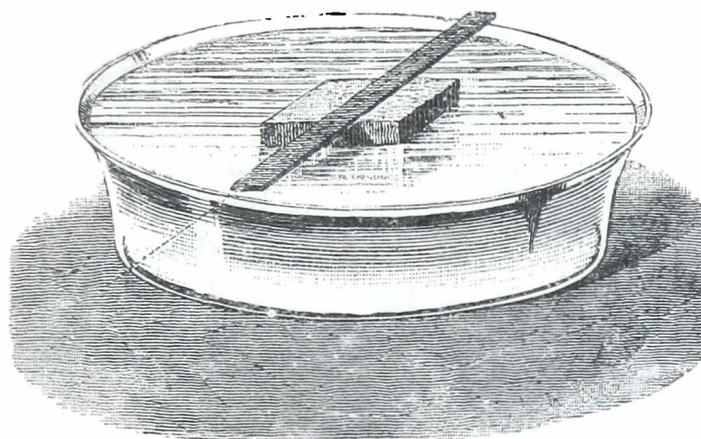


Fig. 89  
Par terrestre

Si hubiera componente horizontal, el flotador con la aguja sería *arrastrado* en dirección á los polos terrestres, cosa que tampoco sucede.

—Luego, no existiendo ninguna componente *horizontal* ni *vertical* no existirá tampoco ninguna componente *oblicua* y por consiguiente la acción de la tierra, se reduce á un sistema de *dos fuerzas iguales y paralelas*, aplicadas en los polos de la aguja, es decir, se reduce á un *par* ó *cupla*, que se le ha dado el nombre de *par terrestre*.

**120.—Hipótesis y experimento de Gilbert.**—Ya dijimos que se suponía que la tierra era un gran imán.

Esta hipótesis es la de *Gilbert*, el cual lo comprobaba con el siguiente experimento:

Tomó un imán natural tallado en forma de esfera (*fig. 90*), con sus dos polos en *P* y *P'*.

Colocó enseguida una aguja imantada suspendida por su centro de gravedad en diferentes puntos de un círculo máximo de esa esfera y observó que la aguja se conservaba siempre en el mismo plano vertical, pero que la aguja tomaba diferentes inclinaciones con el horizonte.

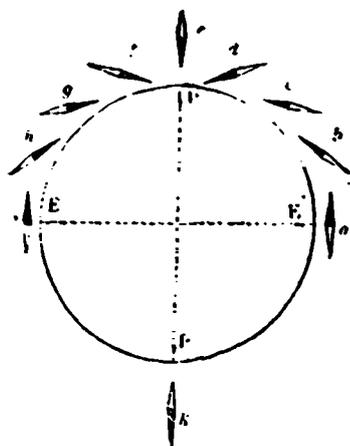


Fig. 90  
Experimento de Gilbert

En el ecuador la aguja queda *horizontal* y en el polo, se coloca *vertical*, como se vé en la figura.

Esto mismo, es lo que sucede en la tierra, de donde parece confirmada la hipótesis de *Gilbert*.

—Digamos también antes, que si la aguja estaba suspendida por un hilo flexible aplicado en su centro de gravedad, la aguja no quedaba horizontal sinó que formaba un cierto *ángulo* con el horizon-

**121.—Meridiano Magnético. —Declinación. —Inclinación.**— Se sabe que se llama *meridiano geográfico*, de un lugar, el plano vertical que pasa por ese lugar y los polos de la tierra.

Análogamente, toma el nombre de *meridiano magnético*, el plano vertical que pasa por el lugar y los *polos de la aguja*.

Generalmente, el meridiano geográfico y el magnético, no coinciden y entonces se llama *Declinación magnética*, el ángulo que forma el meridiano magnético con el astronómico, ó bien, *el ángulo que forma la aguja con el meridiano geográfico del lugar*.

Algunas veces el polo *norte* de la aguja está hacia el Este del meridiano geográfico y entonces, la declinación se llama *Oriental*; cuando el polo norte de la aguja está en el *Oeste*, se llama declinación *Occidental*.

—Digamos también antes, que si la aguja estaba suspendida por un hilo flexible aplicado en su centro de gravedad, la aguja no quedaba horizontal sinó que formaba un cierto *ángulo* con el horizon-

te y este ángulo formado por la aguja con el horizonte, toma el nombre de *Inclinación magnética del lugar*.

Hay aparatos especiales destinados á la medición de estos ángulos, llamándose *Brújulas de Declinación* y *Brújulas de Inclinación*.

**122.—Brújula de Declinación.**—Si tenemos una aguja imantada suspendida por su centro de gravedad, esta aguja nos dará *simultáneamente* la *declinación* y la *inclinación*.

En la práctica se hace uso de *dos aparatos* distintos.

La *brújula de declinación* reducida á su más simple expresión, consta de *una aguja imantada que puede girar libremente en un plano horizontal, alrededor de un eje vertical*.

La disposición que se le dá (*figura 91*) es tomar una aguja imantada en cuyo centro de gravedad se le ha aplicado una *chapa de ágata*, que no se desgasta por el frotamiento y suspenderla en una aguja vertical que está en el *centro* de un *círculo graduado* *Q R* que se puede colocar *horizontal* por medio de los tornillos *s* y el nivel *n*.

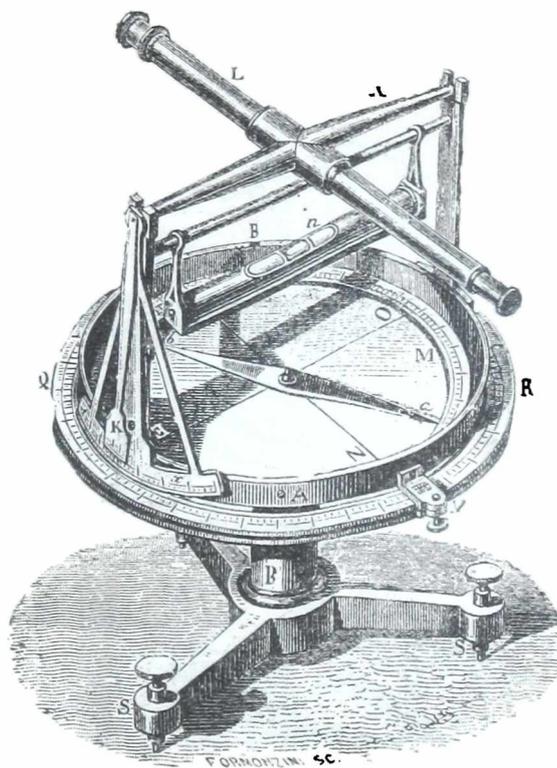


Fig. 91  
Brújula de declinación

La aguja tiene uno de los extremos *lastrado* para evitar que se *incline* y está encerrada en una caja de *cobre* cubierta por una lámina de vidrio, para sustraerla á la acción de las corrientes de aire.

Sobre la caja que contiene la aguja, están fijados dos montantes que soportan un eje *X* con el cual puede girar el anteojo *L*.

—Para operar, basta colocar la brújula bien horizontal por medio de los tornillos *S*.

Se coloca, por medios que nosotros no debemos indicar aquí, el eje del anteojo *L* en la dirección del meridiano astronómico y enseguida se hace girar la caja *AB*, hasta que el polo Norte de la brújula venga á colocarse exactamente frente á una línea de referencia marcada en la caja y que corresponde al plano vertical del eje del anteojo. El ángulo medido por estas dos posiciones, nos dá la *declinación* buscada.

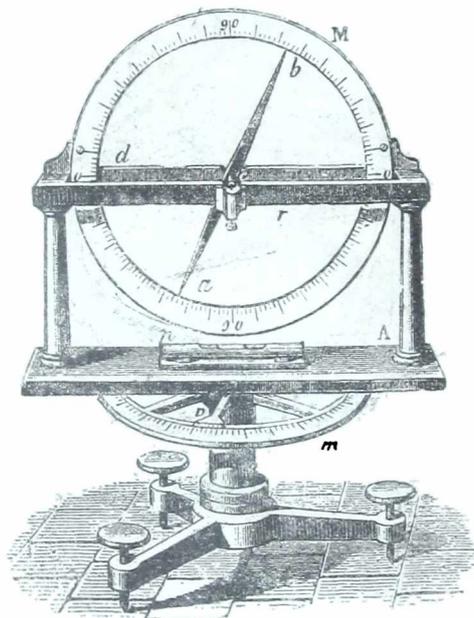


Fig. 92  
Brújula de Inclinación

**123.—Brújula de Inclinación.**—Esta brújula reducida á su más simple expresión consiste en una aguja imantada que puede girar libremente en un plano vertical alrededor de un eje horizontal.

El instrumento que se usa para medir la *inclinación*, está como el anterior, construido en cobre y consiste en un marco que sostiene un círculo graduado vertical *M* (*fig. 92*) en cuyo centro está suspendida una aguja *a b*.

Este marco puede girar alrededor del centro de un círculo *horizontal* *m*, soportado por un eje y tres piés á tornillos.

—Para *operar*, nos bastará girar el marco *A* hasta que la aguja se

coloque *vertical*. en cuyo caso *el eje* de la aguja estará en el *meridiano magnético*, luego, para que la aguja esté en el meridiano magnético, nos bastará girar el marco, de  $90^\circ$ , que se medirán sobre el círculo *m*.

En ese caso, la aguja habrá tomado la inclinación marcada en la figura. luego el *ángulo menor d c a* nos medirá la *inclinación* del lugar.

**124.—Brújula marina.**—Este es uno de los instrumentos más preciosos que posee la humanidad.

Su origen no se conoce. En Europa el primero que colocó una aguja imantada sobre un perno fué *Floro Gioia*, en 1302, el cual le dió el nombre de *bussola*.

Ya sabemos que *Marco Polo*, los hermanos *Cabotto*, *Cristóbal Colón*, *Vasco de Gama*, la usaron.

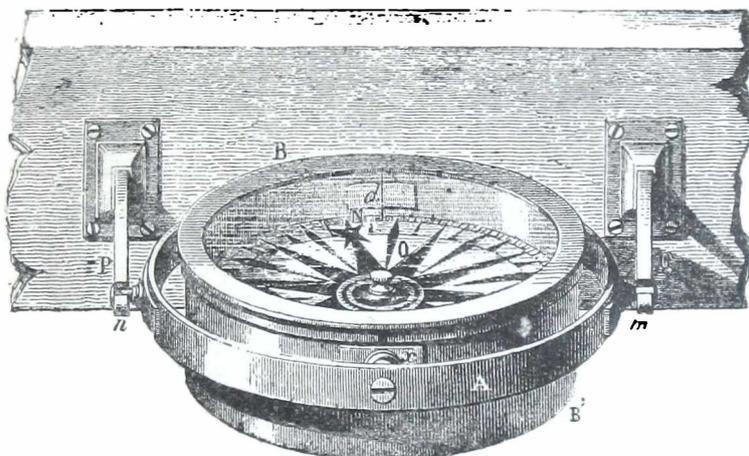


Fig. 93  
Brújula marina

Parece que en la *India* se conocía antes del principio de nuestra era, y que los *árabes* enseñaron su uso á los *Cruzados*, en el siglo XII.

La aguja marina consiste en una *caja de cobre B B'* (*figs. 93 y 94*), suspendida por una *junta cardínica* con el objeto de que no se incline por los movimientos del buque y que para hacer más eficaz esta precaución está lastrada por una gran masa de plomo.

En el centro de la caja hay un estilo en el cual se suspende la aguja imantada *a b*, la que queda invisible,

pues *sobre ella se ha fijado* un disco de *mica* en la que se ha trazado la *rosa de los vientos*, que como sabemos tienen marcados los *rumbos*, *medios rumbos* y los *cuartos de rumbos*.



Fig. 94  
Habitáculo de la brújula

Finalmente, en la pared de la caja, hay trazada una *línea de fé, d* que marca fijamente la dirección del eje del buque.

—En vez de suspenderse la aguja en un estilo, se suele suspender sobre un flotador que se deposita sobre una capa de *glicerina* que ocupa el fondo de la caja de cobre. Se usa la glicerina porque su punto de congelación es muy bajo y además se evapora lentamente, luego puede servir en las zonas tórridas y en las glaciales.

**125.**—Las brújulas marinas están muy sujetas á error, debido á la gran cantidad de *hierro* que conducen los buques modernos, como ser *cañones, balas, cadenas, etc.* Para evitar ó disminuir estas causas de error, suele aplicarse cerca de la brújula y en un *punto conveniente* una *pequeña masa de hierro*, llamada *compensador*, destinada á *anular* la acción magnética de las masas de hierro, las que aunque son muy considerables, están á mayor distancia.

**126.**—**Variaciones de la Declinación.**—El ángulo que forma el meridiano magnético, con el astronómico, ó sea la *declinación*, *varía de uno á otro punto de la tierra*.

—En un *mismo lugar* la declinación varía de un momento á otro.

Estas variaciones pueden ser *seculares, anuales y diurnas*, habiendò además otras variaciones *accidentales ó perturbaciones*.



**127.—Variaciones seculares.**—En un mismo lugar, la aguja oscila lentamente alrededor del meridiano astronómico.

Poco á poca la declinación disminuye, después de haber llegado á un *máximo*, hasta que se *anula*, en cuyo caso el meridiano *astronómico* y el *magnético* coinciden.

Sigue la aguja en su movimiento, de modo que, si antes la variación era *Oriental*, ahora se convierte en *Occidental* y sigue así aumentando, hasta que llega á un *máximo* de variación, desde donde vuelve á decrecer.

Esto dura siglos.

En *París*, antes de 1666 la declinación era *oriental*. En 1666 coincidieron los dos meridianos, es decir, que la declinación fué *nula*.

De allí en adelante fué *occidental*, hasta que llegó á su *máximo* en 1824 que llegó á 22". Desde entonces va decreciendo.

**128.—Variaciones anuales.**—Esta es una oscilación que ejecuta la aguja en un año hacia el *Este* ó el *Oeste*. El *máximo* de la variación anual observada ha sido de 20 minutos.

**129.—Variaciones diurnas.**—En un mismo día, la declinación pasa *dos* veces por un *máximo* y dos veces por un *mínimo*.

Se han observado variaciones hasta de 25', pero las leyes de estas variaciones son poco conocidas.

**130.—Perturbaciones.**—Estas son variaciones que se producen con gran rapidez y son causadas por las tormentas, caída del rayo, erupciones volcánicas, terremotos y la aurora boreal.

Las perturbaciones producidas por la aurora boreal, se hacen sensibles á grandes distancias y en las regiones polares, pueden alcanzar hasta á varios grados.

La agitación de la aguja, en las regiones polares, basta para *pronosticar* una aurora.

**131.—Variaciones de la inclinación.**—La inclinación *varía* de uno á otro punto de la tierra.

Aquí, en el hemisferio Sud, el *polo boreal* se inclina hacia la tierra, y si marchamos hacia el Sud, la inclinación va aumentando, hasta que en la *Isla Victoria* el ángulo con el horizonte es casi de 90°.

Si al contrario, marchamos hacia el Ecuador terrestre, la inclinación va disminuyendo, hasta que se llega á ciertos puntos donde la inclinación es *nula*, es decir, que la aguja se conserva *horizontal*.

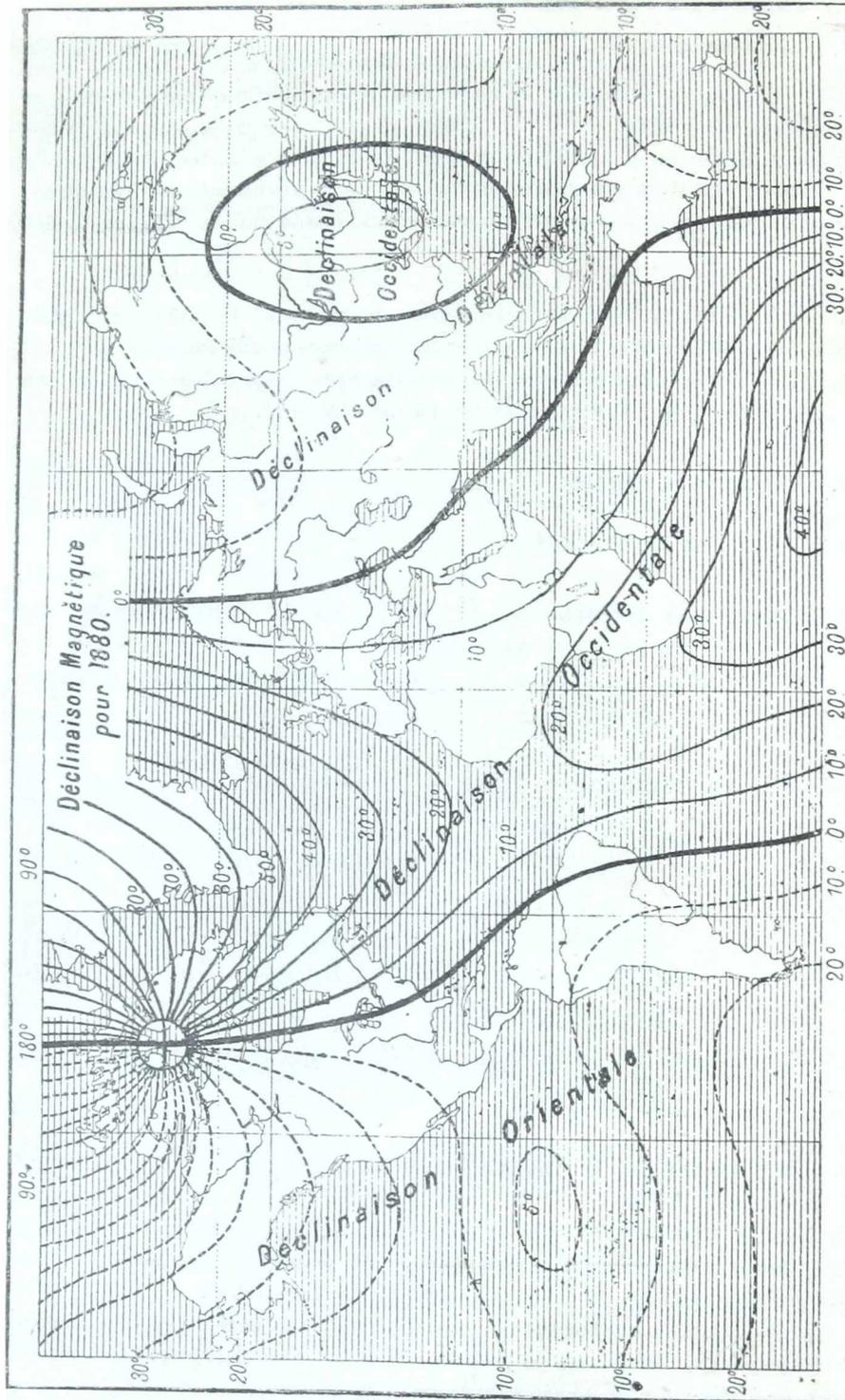


Fig. 96

La unión de todos estos puntos en que la inclinación es *nula*, se llama *Ecuador magnético* y los dos puntos donde la inclinación es máxima, es decir, de  $90^\circ$ , son los *polos magnéticos*.

—La inclinación tiene también *variaciones seculares* en un mismo punto, pero esta variación es muy lenta.

**132.—Distribución del magnetismo terrestre.**—Si en un momento dado se unen por medio de *líneas* todos los puntos en que la declinación es *igual*, se tienen las *líneas isógonas* ó líneas de igual declinación.

Análogamente si se unen todos los puntos de *igual inclinación* se tiene trazado en un planisferio, las *líneas isóclinas*, entre las cuales hay una especial, de *inclinación nula*, que le hemos dado el nombre de *ecuador magnético*.

La *figura 95*, nos representa la carta de las declinaciones ó *líneas isógonas* en el año 1880.

Se ha indicado con línea llena, la declinación *occidental* y línea punteada la declinación *oriental*.

Estas cartas son de mucha utilidad para los marinos, pues les permite saber con mucha aproximación la declinación de la aguja en el lugar que se hallan y por consiguiente la verdadera dirección del Norte.

**133.—Aguja y sistema astático.**—Toma el nombre de aguja *astática* aquella aguja que está sustraída á la acción de la tierra.

Un ejemplo, se tendría en una aguja que estando en el meridiano magnético, estuviera dispuesta paralelamente á la inclinación.

En ese caso, la tierra no le imprimirá algún movimiento.

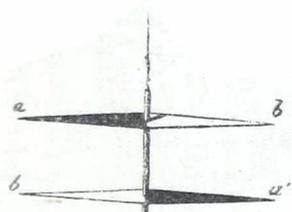


Fig. 96  
Sistema astático

**134.—Sistema astático,** se tendría si tomáramos dos agujas iguales *ab* y *a'b'* é igualmente imantadas y *uniéndolas rígidamente entre sí* (*fig. 96*), pero poniendo *frente á frente* los polos *contrarios*.

Entonces, la acción de la tierra obraría simultáneamente sobre los dos polos del sistema de una manera igual y contraria, luego, *el efecto sería nulo* y enton-

ces, el sistema *no se orientaría*, á pesar de estar formado de dos agujas suspendidas.

Se tendrá una aplicación del sistema astático, cuando tratemos del *galvanómetro*, pero veremos que hay conveniencia en que el sistema *no sea perfectamente astático*, sino *casi astático*, para poder *orientar* el aparato.

---

## CAPITULO III

## MÉTODOS DE IMANTACIÓN

135.—**Idea de los diferentes métodos.**—El método de imantación más antiguo consiste en *frotar* una barra de *acero* con un imán natural.

—*Método del simple contacto.*—Este método, consiste en frotar la barra de acero *ab* (fig. 97) por medio del polo de un imán *A*, natural ó artificial, pero de manera que empezando por un extremo de la barra *ab*, se deslize el imán en el sentido de la *flecha* hasta llegar á *b* y allí se levanta el imán para volver á empezar de nuevo.

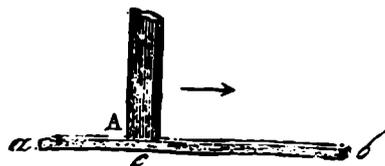


Fig. 97  
Imantación por simple contacto

Repetida varias veces esta operación, se ha convertido la barra *ab* en un imán.

136.—**Método del contacto separado.**—Para proceder con mayor rapidez puede procederse con *dos imanes* (fig. 98) al mismo tiempo, á cuyo efecto se toman los dos imanes y con los polos contrarios *A* y *B* se deslizan hacia los extremos *a* y *b* de la barra como lo marcan las flechas. Llegado á los extremos de la barra que se quiere imantar se levantan los



Fig. 98  
Imantación por contacto separado

dos imanes  $A$  y  $B$ , se unen en el centro de la barra  $ab$  y se repite varias veces la operación.

—Se aumenta la eficacia de este procedimiento, colocando la barra  $ab$  apoyada sobre otros dos imanes

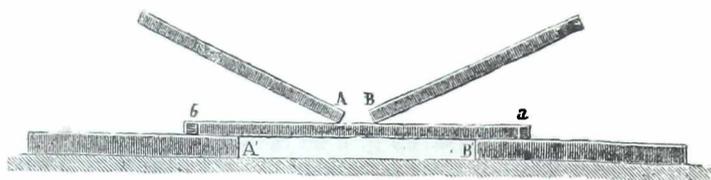


Fig. 99

Imantación por contacto separado

$A'$  y  $B'$  (fig. 99) y con los polos opuestos del mismo nombre que los polos que recorren la cara superior de la barra  $ab$ .

**137.—Método del doble contacto.**—En este método (fig. 100), se usan también dos imanes  $A$  y  $B$ , con sus polos opuestos frente á frente, pero en vez de moverse separadamente, se mueven en un mismo sentido, á cuyo efecto se les une por medio de una cuñita de madera, como lo indica la figura.

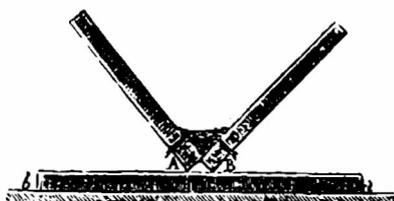


Fig. 100

Imantación por doble contacto

Se coloca el sistema de los dos imanes en el centro de la barra  $ab$ .

De allí, se hace resbalar hasta un extremo, de donde vuelve hacia el otro extremo y así varias veces, hasta que los imanes  $A$  y  $B$ , vuelven á detenerse en el centro de la barra á imantarse, pero teniendo cuidado de que sobre *cada mitad* de la barra se hayan efectuado, el mismo número de fricciones.

—La energía de este procedimiento, es mayor si colocamos como en el caso anterior la barra á imantarse sobre estos dos imanes.

**138.**—Si se tratara de imantar una simple aguja bastaría colocar la aguja, en *contacto* con un imán á herradura, teniendo la precaución de que el extremo que queremos sea el polo boreal de la aguja, esté en contacto con el polo austral del imán y vice-versa.

—Finalmente, cuando estudiemos la electricidad, veremos que la *acción de la corriente eléctrica* nos dá los imanes más poderosos.

**139.**—Cuando los métodos indicados, no son aplicados con toda escrupulosidad, se originarán *puntos consecuentes*, en el imán artificial que se ha formado, es decir, se formarán polos ó centros de atracción en puntos intermedios de la barra.

**140.**—**Saturación.**—Cualquiera que sea la fuente empleada, se ha observado, que existe un *límite á la potencia* magnética que puede adquirir una barra el cuál depende de la *intensidad* de la fuente, de las *dimensiones* de la barra y del *temple*.

—Este límite se llama *punto de saturación* del imán, el cual entonces está *imantado á saturación*.

Es á veces posible *sobresaturar* una barra temporariamente, pero una vez que se aleje del campo magnético, el imán vuelve más ó menos lentamente á la saturación.

**141.**—**Imantación por la tierra.**—Hemos visto, que una barra magnética colocada en la proximidad de un imán, se convierte ella misma en un imán.

Si bien la tierra no es un imán, obra como si lo fuera, luego, debe tener acción sobre las barras de sustancias magnéticas.

Es lo que se comprueba tomando una barra de *hierro dulce* y colocándola en el meridiano magnético, en la dirección de la aguja de inclinación. Esta barra se convierte en imán, pero como sabemos que el hierro dulce

retiene poco su poder magnético si sacamos la barra de esa posición, ya cesará de ser imán.

—Si se quiere *fixar* su poder magnético, bastará, mientras está en la posición de la aguja de inclinación *torcerla, limarla, batirla, etc.*, y la barra retirada de su posición primitiva, conserva parte de su poder.

De esa manera se explicaría, por que ciertas herramientas de los herreros, tienen más ó menos fuerza magnética.

En 1630, cita *Gassendi*, la cruz de hierro de *San Juan de Aix*, se había convertido en un imán.

—Finalmente, por esta *acción* de la tierra podría también explicarse la presencia de los *imanes naturales* en la tierra, pues siendo estos formados por sustancias magnéticas, están sugetos á la acción continuada de la tierra ó de los rayos que los convierte en imanes.

**142.--Haces magnéticos.**—Los haces magnéticos, son *un conjunto de barras imantadas*, reunidas paralelamente por sus polos del mismo nombre.

Ya vimos que en las barras de acero, el magnetismo *está en la superficie*.

De donde resulta, que para que la fuerza magnética penetre al interior del imán, ha sido necesario superponer un cierto número de láminas delgadas imantadas aisladamente.

Suele dársele á estos haces la forma *rectilínea* (*figura 101*) ó la forma de *herradura* (*fig. 102*) siendo más conveniente esta última, cuando se trata de hacer que el imán soporte pesos, porque en ese caso, actúan los dos polos.

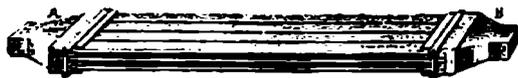


Fig. 101  
Haz magnético

*Coulomb*, demostró que la fuerza

de un haz, *no es igual á la suma*, de las fuerzas de cada barra, á causa de la acción repulsiva que ejercen unos polos sobre otros.

*Nobili* demostró que este inconveniente se disminuye haciendo más larga la barra central y más cortas las laterales, y finalmente *Scoresby*, comprobó, que convenía separar una de otra las barras.

**143.—Armadura de los imanes.**

—Se llaman armaduras de los imanes, unas piezas de *hierro dulce* como las *A* y *B* (*fig. 101*) que se ponen en contacto con los polos del imán. Su objeto, es disminuir la pérdida de su fuerza magnética que todos los imanes experimentan con el tiempo.

Cuando se trata de imanes naturales (*fig. 103*) se disponen como lo indica la figura y entonces la pieza de *hierro dulce* *a b*, se imanta *por influencia* y á su vez reacciona sobre el magnetismo del imán natural y aumentan su poder.

Los imanes naturales sin armadura, son muy débiles.

**144.—Conservación de los imanes.**—

Si los imanes son rectilíneos se conservan colocándolos de á dos en una caja y con sus polos contrarios frente uno de otro. En seguida se les une por medio de dos barras (*fig. 104*) *A B* y *A' B'* de *hierro dulce*, las que se imantan por influencia y sus polos reaccionan sobre los imanes para conservarles su fuerza magnética.

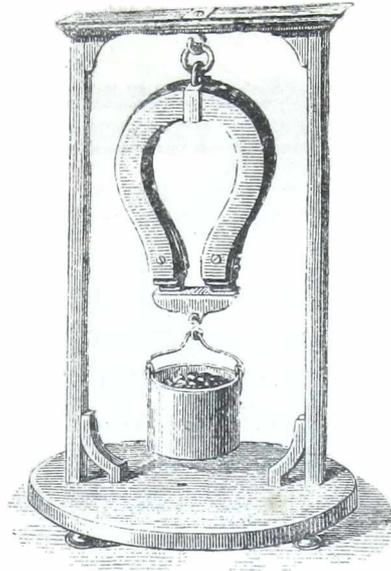


Fig. 102  
Haz magnético

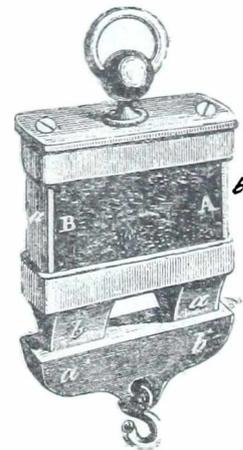


Fig. 103  
Armadura de los imanes

Si se trata de imanes en forma de herradura, para conservarlos, se les suspende y se les aplica una armadura

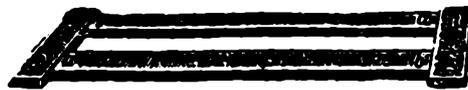


FIG. 104  
Conservación de los imanes

de hierro dulce, (fig. 102) á la que se le cuelga una vasija dentro de la cual se colocan paulatinamente más y más pesos y

se observa que de esta manera, el imán puede soportar un peso más considerable que al principio.

Esta operación de ir colocando más y más pesos, se llama *alimentar el imán*.

Si se llega á un cierto límite, la armadura es arrancada y entonces la fuerza del imán, *vuelve al estado primitivo*.

**145.—Fuerza portativa.**—La fuerza portativa de un imán está determinada por el peso que el imán soportaba, en el momento de haberse *arrancado* la armadura.

En los imanes á herradura, la fuerza portativa *es mayor* que el doble de lo que puede soportar cada polo separadamente.

Ya vimos que los haces magnéticos (141) tienen una fuerza portativa menor que la suma de las fuerzas de los imanes separados. lo cual se comprende, pues los polos del mismo nombre reunidos, producen acciones *desmagnetizantes*, y se debilitan mutuamente.

La fuerza portativa *crece con el peso* del imán, pero, la relación entre la fuerza portativa y su volúmen *disminuye* á medida que el volúmen aumenta.

Luego, un imán pequeño es con relación á su volúmen, más poderoso que un imán grande.

El *acero* alcanza á tener una fuerza portativa de 5 *kilógramos* por centímetro cuadrado y si se tratara de *hierro dulce imantado por inducción*, puede alcanzar á 14 *kilógramos* por centímetro cuadrado.

Cuando estudiémos los electroimanes veremos un método destinado á determinar con exactitud la fuerza portativa de los imanes.

**146.—Imanes de Jamin.**—*Jamin* ha indicado las reglas para construir sus imanes que alcanzan á soportar hasta 20 veces su peso.

Se han construído así imanes que soportan 500 kilogramos.

Toma un haz de barras de acero muy delgadas y los imanta á saturación, enseguida recurba las barras (*fig. 105*), introduciendo sus extremos en una armadura de hierro dulce, que tiene sus polos separados por medio de un trozo de cobre que está fijado á la armadura.

El contacto está determinado por un trozo de hierro dulce, en cuyo extremo hay un ganchito para suspender los pesos.



Fig. 105  
Imán de Jamin

**147.—Hipótesis de Weber sobre la imantación.**—*Weber* para

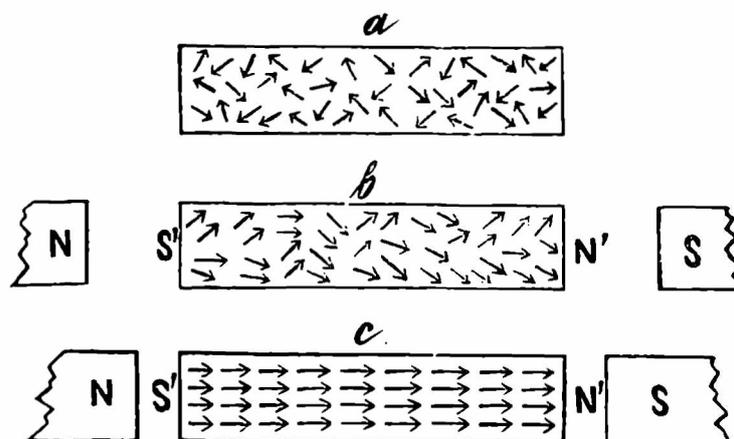


Fig. 106  
Hipótesis de Weber sobre la imantación

explicar los fenómenos de la imantación, supone que en todos los cuerpos no imantados, pero susceptibles de

convertirse en imanes, como el *acero*, *hierro*, etc., las *moléculas son pequeños imanes*, pero que sus *ejes están orientados en todas direcciones*, luego sus efectos se neutralizan.

Imaginemos tener en *a* (*fig. 106*) una barra de hierro y que las flechas representen los imanes moleculares.

Si llevamos esta barra en un *campo* magnético, por ejemplo, entre los polos opuestos de dos imanes *N* y *S* (*fig. b*) los ejes magnéticos de los imanes moleculares tienden á orientarse y finalmente si la fuerza magnética aumenta, lo que se obtiene acercando los polos *N* y *S* (*fig. c*), se completa la orientación y entonces la barra está *saturada*.

**147. - Hipótesis complementaria de Jamin.**—Según la figura esquemática *c*, vemos que el *magnetismo libre*, sólo debía residir en los *extremos* de la barra, cosa que en

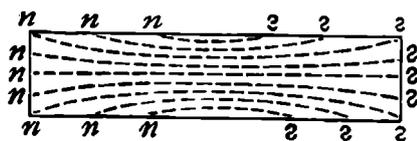


Fig. 107  
Hipótesis de Jamin

la práctica no sucede. Este fenómeno lo explica *Jamin* diciendo (*figura 107*) que los *filetes magnéticos no pueden quedar paralelos*, pues los polos, de los filetes,

de un mismo nombre, estando reunidos en un mismo extremo, *se repelen* y entonces los filetes se recurban como lo indica la figura, separándose los polos los unos de los otros.

**148.—Experimentos de Grove.**—Esta teoría parece confirmarse por los experimentos de *Grove*.

*1<sup>er</sup> Experimento.*—En un vaso cilíndrico con dos bases de vidrio, se introduce agua y *polvo de óxido magnético de hierro*.

Se rodea la vasija por un hilo de cobre en hélice, por el cual puede pasar una corriente eléctrica, la que

como veremos más adelante, produce un *campo magnético*.

Se mira á través de las caras de vidrio, una luz y enseguida se hace pasar la corriente.

Cuando esto sucede, *la luz se vé más intensa*, lo cual es debido á que las partículas de hierro se orientan, alineándose según filetes, que permiten mejor el paso de la luz.

2º *Experimento*.—Una barra que se imanta, *se alarga* y su espesor disminuye.

3º *Experimento*.—Cuando se imanta y desimanta sucesivamente una barra, se produce un *sonido* y cuando la fuerza magnética es poderosa, *se calienta* la barra como si se produjeran *frotamientos* en el interior de ella.

4º *Experimento*.—Un alambre de acero retorcido, *se endereza* cuando se imanta.

149.—**Fuerza coercitiva**.—Ya dijimos que el *hierro dulce* se imantaba más *fácilmente* que el *acero*, pero que también desaparecía su fuerza magnética en cuanto se sacaba el hierro dulce del campo magnético inductor.

Lo contrario sucede con el *acero*, pues si bien tarda más en imantarse, también, después que cesa la fuerza magnetizante, *conserva* sus propiedades magnéticas.

Este magnetismo que *persiste* en el *acero*, se llama *magnetismo remanente* y el que adquiere el hierro dulce, *magnetismo temporario*.

—La *causa*, por la cual estos cuerpos se imantan más ó menos fácilmente, se llama *fuerza coercitiva*.

Entonces diremos que en el *hierro dulce*, la *fuerza coercitiva* es muy *débil* y muy *grande* en el *acero*.

La *Teoría de Weber* explicaría esta fuerza coercitiva, por la mayor ó menor *facilidad* que tienen las moléculas para orientarse y porque las acciones mecánicas, como lo indicamos anteriormente tienen influencia so-

bre los fenómenos de imantación, pues el frotamiento, la torción, etc., facilitarían ó retardarían el movimiento de orientación de las moléculas.

**150.—Acción del calor.**—Si se toma una hélice de hierro se suspende y se enrojece, acercándole un imán, éste no la atrae (*fig. 108*). Si enseguida retiramos el foco calorífico, la hélice se enfría y cuando llega á una cierta temperatura, vuelve á ser atraída por el imán.

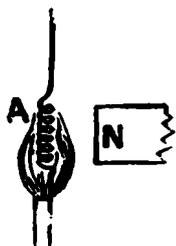


Fig. 108  
Experimento de  
Grove

La teoría de *Weber* explica este hecho, diciendo, que al calentarse las moléculas de hierro, se aumenta su movimiento vibratorio separa los imanes moleculares y aumenta su facilidad

de movimiento y por consiguiente ya no se orientan las moléculas ó no obedecen á la acción del imán.

## LIBRO TERCERO

---

### **ELECTRICIDAD DINÁMICA**

---

#### CAPÍTULO PRIMERO

---

#### **PILAS VOLTÁICAS**

---

**151.—Reseña histórica.**—Hacia *seis años* que el mundo científico estaba haciendo estudios para comprobar la existencia de la *electricidad animal* ó *fluido vital*.

*Galvani* profesor de la Universidad de *Boloña*, había notado que cuando se producía la chispa en una máquina eléctrica, una rana recién muerta que estaba cerca de la máquina, experimentaba sacudimientos.

Se puso á estudiar ese fenómeno con todos los animales á sangre fría y á sangre caliente, y en uno de sus experimentos (20 de Septiembre de 1786) se le ocurrió colgar de la reja de un balcón, por medio de un *hilo de cobre*, la mitad inferior de una rana, suspendiéndola por los nervios lumbares. Quería observar la acción de la electricidad de las nubes sobre la rana.

Con admiración, notó que con un cielo sereno, de cuando en cuando las patas de la rana se contraían, y enseguida verificó, que esto sucedía, *cada vez que los*

*músculos de las patas de la rana* tocaban los barrotes de *hierro* del balcón.

**152.—Teoría de Galvani.**—Modificó el experimento, usando una especie de excitador (*fig. 109*) compuesto de dos arcos metálicos de *zinc* y *cobre* y poniendo en contacto el metal *zinc* con los miembros lumbares. observó que

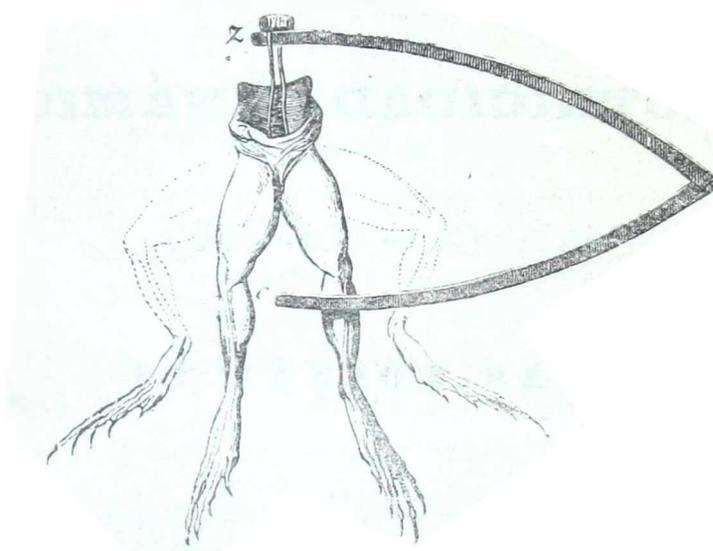


Fig. 109  
Experimento de Galvani

cada vez que el metal *cobre*, tocaba las patas de la rana se producían las contracciones.

*Galvani* atribuyó este fenómeno á la existencia del *fluido vital*, comparando la rana á una *botella de Leyde* en que los *músculos de las patas* y los *nervios crurales* eran las *armaduras*, y los arcos de metal eran el excitador.

**153.—Teoría de Volta.**—Este físico, profesor de la Universidad de *Pavia*, repitió los experimentos de *Galvani* y comprobó también con sorpresa, que los efectos eran *nullos*, si el excitador en vez de ser compuesto de *dos metales* diferentes era de *un sólo* metal y entonces atribu-

yó los movimientos de la rana á la *electricidad desarrollada por el contacto de los dos metales*.

—Enseguida *Galvani* repitió el experimento con *un sólo metal* y las conmociones se produjeron, aunque menos intensas.

Contestaron *Volta* y sus partidarios, que eso era debido á las *impurezas* que contenía el metal usado, que no era químicamente puro.

—Replicó *Galvani* usando como metal el *mercurio puro*, haciendo constar que cada vez que el mercurio tocaba los nervios crurales y los músculos lumbares se producía la contracción.

--A lo cual objetó *Volta*, que la electricidad era debida á las partículas de *agua* que había entre los nervios y músculos de la rana y la superficie del mercurio.

—Entonces *Galvani*, puso sobre una lámina de vidrio en contacto, los nervios y los músculos de la rana *sin interposición de metal* y las conmociones se producían.

—*Volta* contestó, que la electricidad desarrollada era debida á las partículas *metálicas* dejadas por el *cuchillo* que se había usado al cortar la rana.

—*Galvani* usó un *cuchillo de vidrio* y las conmociones se produjeron

154.—Parecía derrotado *Volta*, pero éste hizo una serie de experimentos que comprueban el desarrollo de la electricidad por el simple *contacto de dos metales diferentes*.

1º Al efecto tomó un electrómetro (fig. 110) á hojas de oro que estaba terminado superiormente por un platillo de *zinc*. Sobre él apoyó un disco de *cobre* y ligando estos dos platillos por un hilo de cobre

*aislado*, al separar el disco de *zinc*, notó que las hojas

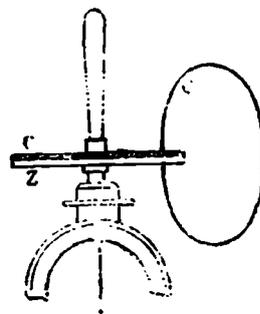


Fig. 110  
Experimento de Volta

de oro *divergían* y se comprobó que estaban *cargadas de electricidad negativa*.

2. Como podía objetarse que la electricidad había sido producida por el *frotamiento ó presión* de los dos discos hizo soldar uno al lado de otro (*fig. 111*) dos láminas de *cobre y zinc*. Tomó con la mano el *zinc* (*fig. 112*) y tocó el platillo inferior de un electrómetro condensador, tocando *con el dedo* al mismo tiempo el disco superior.



Fig. 111  
Experimento  
de Volta

Si se separa el disco superior, las hojas *divergen* y se vé que están cargadas de *electricidad negativa*.

*Volta* atribuía esto á que el contacto del *zinc y cobre* desarrollaba la electricidad, cargándose el *cobre* de *electricidad negativa* y el *zinc* de *electricidad positiva*.

La electricidad positiva del *zinc*, se iba á tierra por el cuerpo humano y la electricidad negativa del *cobre*, pasaba por conductibilidad al disco del electrómetro.

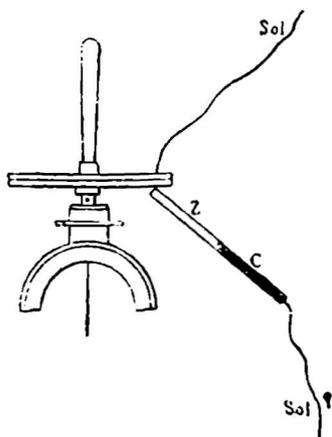


Fig. 112

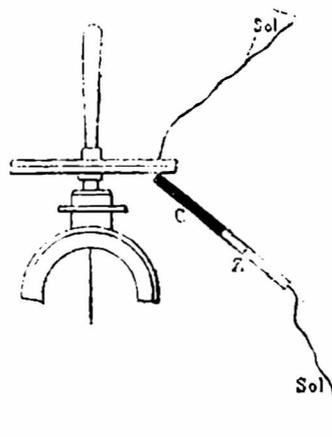


Fig. 113

Experimento de Volta

3. Si en vez de tener el *zinc* en la mano se tiene el *cobre* y se aplica (*fig. 113*) el *zinc* sobre el disco, el electrómetro *no acusa presencia de electricidad*, lo cual

explicaba Volta diciendo que había *dos* contactos, es decir, se desarrollaban dos fuerzas iguales y contrarias, luego el efecto era nulo.

**155.—Teoría de Fabroni.**—Según *Fabroni*, contemporáneo de Volta, *el líquido acidulado que impregna los tegidos orgánicos de la rana, en contacto con el metal producen una reacción química y es á esta reacción química entre el líquido y el metal, que es debida la separación de las dos electricidades.*

*Becquerel, Faraday, de la Rive* y otros físicos que habían abrazado la teoría de *Volta*, llegaron á admitir exclusivamente la teoría química.

**156.—Quién tiene razón.**—Las tres teorías son ingeniosas y las tres tenían razón, pues hoy se acepta en absoluto que el *simple contacto*, produce un desarrollo de electricidad sobre las dos superficies en contacto, cuyo potencial, se conserva constante, cualquiera que sea el estado general del circuito y esto lo comprueban perfectamente los experimentos de *Volta*.

**157.—**La existencia de la *electricidad animal*, independiente de toda acción *química* ó *física* exterior fué comprobada por los trabajos de *Humboldt, Nobili* y sobre todo por *Mateuci* y *Bois-Reymond*.

Este último hizo un experimento clásico y que constata perfectamente la existencia de la *electricidad animal*.

Al efecto toma dos pequeños vasos con agua salada y en los cuales introdujo *dos láminas de platino*, ligadas por un hilo ó un electrómetro sensible.

Enseguida apoya las dos manos sobre un barrote de madera *a b* (*fig. 113*) é introduce un dedo de cada mano dentro del líquido contenido en los vasos, y *si se contrae una mano*, como apretando el barrote, teniendo la precaución de no agitar el líquido, se verá que la aguja del

electrómetro acusa la existencia de una corriente que vá por el conductor exterior al electrómetro, dirigida de la mano *no contraída* á la mano que se contrajo.

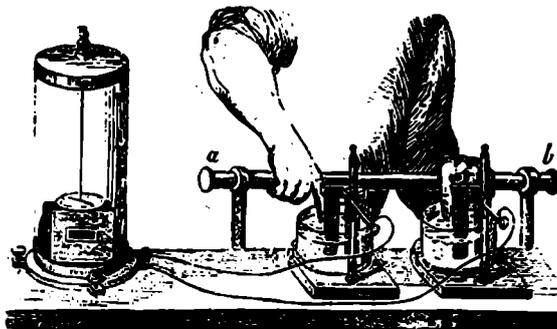


Fig. 114  
Experimento de Bois Reymond

Para probar que la electricidad se desarrollaba en el interior del cuerpo humano, *Bois-Reymond* aplicó las dos láminas de platino sobre los músculos de los brazos en los cuales había quitado la piel por medio de un cáustico y vió que la desviación de la aguja era muchísimo mayor, debido á que la electricidad era transmitida por un mejor conductor, pues la piel es sólo un mediano conductor.

Entonces, podría aceptarse que el cerebro produce una cantidad de electricidad ú otra corriente de energía, la cual á nuestra voluntad, puede ser lanzada á través del sistema nervioso en la dirección que se quiera, para producir los diferentes fenómenos de la vida orgánica como el latido del corazón, los movimientos de los pulmones, etc., y así se explicaría como una sobreexcitación del cerebro debido al miedo, cólera, etc., produciendo una mayor cantidad de electricidad, produce una *mayor agitación* en los movimientos.

De allí también el *sueño agitado* que experimentan los niños después de un susto ó disgusto y las personas mayores, después de una fatiga ó sobreexcitación durante el día.

Luego, queda perfectamente justificada la aplicación terapéutica de la electricidad, para cierta clase de enfermedades.

**158.**—Después que hayamos hecho el estudio de las *Pilas*, veremos que la teoría más sensata es la de *Fabroni* y que, á las reacciones químicas es debida las fuentes más poderosas de electricidad.

**159.**—**Leyes de la electricidad de contacto.**—Los estudios de *Volta*, lo condujeron á establecer el siguiente *Principio Fundamental* que podemos dividirlo en *tres Leyes*.

1º *Cuando dos metales ó cuerpos heterogéneos se ponen en contacto, se establece entre ellos una diferencia de potencial siempre que ambos estén á la misma temperatura.*

2º *Esta diferencia de potencial, sólo depende de la naturaleza de los cuerpos puestos en contacto, y es independiente de la forma y dimensiones de dichas superficies.*

3º *Esta diferencia de potencial es también independiente de los potenciales absolutos de los dos conductores.*

**160.**—*Ayrton y Perry* estudiaron las diferencias de potencial que se establece en el contacto entre dos metales y dieron la siguiente *série electromotriz*:

Zinc.....	}	. . . 0 210
Plomo.....		
Estaño.....		0.069
Hierro.....		0.313
Cobre.....		0.146
Platino.....		0.238
Carbón.....		0.113

estando expresadas estas fracciones en *unidades* de diferencia de potencial ó de fuerza electromotriz.

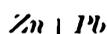
Se les ha dado el nombre de *conductores de primera clase* á aquellos que *no sufren* alteración química por el paso de la corriente, y toman el nombre de *conductores de segunda clase ó electrolitos*, á aquellos que sufren alteración química por el paso de las corrientes, como los *ácidos diluidos* y las *soluciones de sales metálicas*.

**161.**—Se ha convenido en que al cuerpo que toma el potencial más elevado se le dé el nombre de *positivo* y al que toma el potencial menor, se le dé el nombre de *negativo*.

En la serie anterior el cuerpo *más positivo* es decir que toma el potencial, más elevado es el *zinc* y el *más negativo* es el *carbón*.

La diferencia de potencial entre dos cuerpos se representa poniendo una línea vertical y á cada lado los dos cuerpos en contacto.

—Así, para indicar la diferencia de potencial entre el *zinc* y el *plomo* se escribiría:



y según la serie vemos que esa diferencia de potencial es:

$$\text{Zn} | \text{Pb} = 0,210$$

Esta diferencia—como en este caso—es positiva, cuando el cuerpo más positivo, se escribe primero.

—Si hubiéramos tenido



esta *diferencia sería negativa*, pero con el mismo valor absoluto, es decir, tendríamos

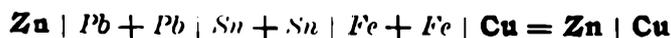
$$\text{Pb} | \text{Zn} = -0,210$$

**162.**—Si en vez de tener *sólo dos metales* en contacto se tuvieran *varios*, es decir, se formara una *cadena*, se tiene que:

*La diferencia de potencial entre los metales extremos es la misma que si los metales intermedios no existieran.*

Esta es la ley de los *Contactos Sucesivos*.

Es decir que si tuviéramos formada una cadena por *Zinc, Plomo, Estañó, Hierro y Cobre*, se tendría



y substituyendo los valores expresados en la serie sale

$$0,210 + 0,069 + 0,818 + 0,146 = 0,738$$

lo cual se comprueba experimentalmente, pues la diferencia de potencial entre *Zinc* y *Cobre* es 0.738.

**163.**—Cuando dos *electrólitos* se ponen en contacto, nace una diferencia de potencial y lo mismo sucede cuando se pone en contacto un *electrólito* con un *conductor de primera clase*.

Finalmente, si se forma la cadena, interponiendo electrólitos ya no sucede que la diferencia de potencial de los metales extremos sea igual á la diferencia de potencial que producian estos dos cuerpos extremos puestos en contacto directo.

Si los dos metales extremos son iguales, la diferencia de potencial ya no es cero.

Así, si hacemos una cadena (fig. 115) formada de Cobre, Zinc y Cobre la diferencia de potencial sería cero, pero si entre el zinc Z y el cobre C<sub>2</sub> colocamos un disco de paño empapado de agua acidulada y unimos los cobre C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub> por un alambre, se verá que la diferencia de potencial persiste, lo cual es debido á la reacción química del agua acidulada sobre el zinc.

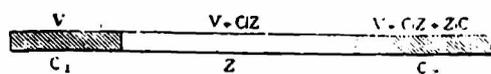


Fig. 115  
Cadena eléctrica

**164.— Pila de Volta.**—Basándose en esto, Volta construyó su célebre pila la que está constituida por un gran número de Pares ó elementos de Volta.

Estos elementos de Volta se forman con un disco de cobre, un disco de zinc y otro disco de paño empapado de agua acidulada con ácido sulfúrico.

Se superponen alternados una serie de estos discos apilándolos y se forma una columna (fig. 116), que es la primitiva Pila de Volta.

Las placas de cobre y zinc extremos, toman el nombre de *electrodos* y si se unen estos discos extremos por medio de un hilo metálico, se tendrá establecida una corriente por el hilo, del cobre

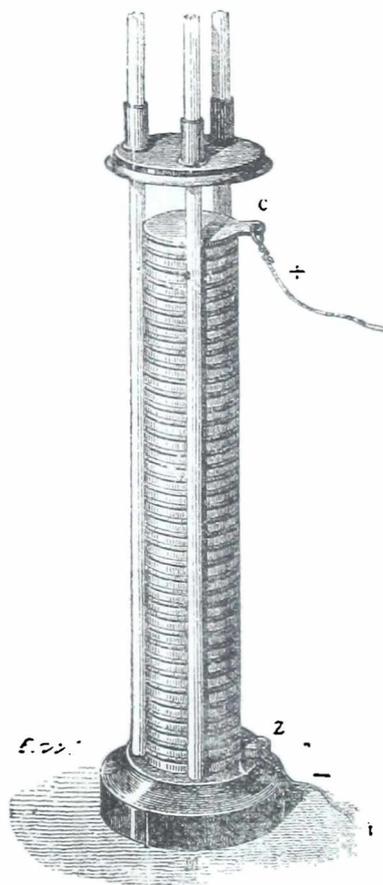


Fig. 116  
Pila de Volta

al *zinc* la que continuará por *el interior* de la pila del *zinc al cobre*.

El hilo conductor toma el nombre de *reoforo* y el punto de unión entre los reoforos y los electrodos toma el nombre de *polo*.

De modo que tendremos el *polo positivo* y *polo negativo*, según corresponda al extremo de la pila de mayor ó menor potencial. Observando lo que acabamos de decir y la figura anterior, vemos que el *cobre* que en la *série* era *negativo* con respecto al *zinc*, aquí en la pila se ha convertido en *positivo* con respecto al *zinc*.

165.—Para comprenderlo tengamos presente que según medidas precisas se ha encontrado que la fuerza electromotriz de la pila de Volta es

$$E = 0,85$$

y asemejando la pila de Volta á una cadena debemos tener

$$Cu | SO_4 H_2 + SO_4 H_2 | Zn + Zn | Cu = 0,85$$

pero sabemos que (163)

$$Zn | Cu = 0,738$$

luego sale

$$Cu | SO_4 H_2 + SO_4 H_2 | Zn + 0,738 = 0,85$$

luego

$$Cu | SO_4 H_2 + SO_4 H_2 | Zn = 0,85 - 0,738$$

y finalmente

$$Cu | SO_4 H_2 + SO_4 H_2 | Zn = 0,112$$

Vemos, pues, que interponiendo el ácido entre el zinc y el cobre. la diferencia de potencial se ha convertido en

$$+ 0,112$$

mientras que si los dos metales estuvieran directamente en contacto saldría

$$Cu | Zn = - 0,738$$

luego, la presencia del ácido tiene por efecto hacer que los potenciales del zinc y cobre, sean casi iguales y hacen que el cobre sea positivo con respecto al zinc.

**166.—Tensión de la Pila.**—La tensión ó fuerza electromotriz de una pila depende del número de elementos.

Para comprenderlo (*figura 117*) imaginemos que el cobre  $C_4$  tiene un potencial propio  $V$  y llamemos  $E$  la diferencia de potencial que constantemente desarrolla el elemento zinc-cobre, entonces el zinc  $Z_4$  tendrá un potencial

$$V + E$$

Este potencial  $V + E$  por conductibilidad se transmite al elemento  $C_3$   $Z_3$ , el cual dando origen á otra diferencia de potencial  $E$ , resultará que  $Z_3$  tendrá un potencial

$$V + E + E = V + 2E$$

y así sucesivamente, los potenciales sucesivos de la pila serán  $V + 3E$ ;  $V + 4E$ ;.....  $V + nE$ ; siendo  $n$  el número de elementos.

—Si se pone  $C_4$  en contacto con el suelo,  $V$  será igual á cero. luego, los potenciales en los polos de la pila serían 0 y  $nE$ .

Si se pusiera el otro polo en comunicación con la tierra, los potenciales serían 0 y  $-nE$ .

Finalmente, si se pone en contacto con la tierra el centro de la pila, los potenciales en los polos serían  $-\frac{nE}{2}$  y  $+\frac{nE}{2}$ .

En la figura anterior vemos que  $C_4$  y  $Z$  no sirven sino de conductores, luego, pueden suprimirse, (*fig. 118*) y el efecto será el mismo.

Es necesario no confundir la fuerza electromotriz de una pila, con la cantidad de electricidad, pues la fuerza electromotriz depende del número de elementos y la cantidad, depende de la extensión de la superficie.

La tensión de una pila es sumamente débil, mientras que es considerable en las máquinas eléctricas, como hemos visto anteriormente.

La energía de la pila, es debida á la reacción química.

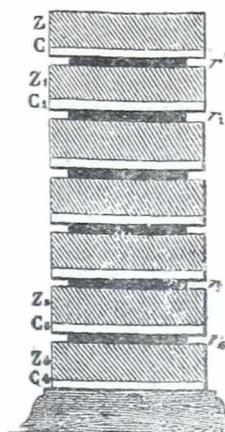


Fig. 117  
Pila de Volta

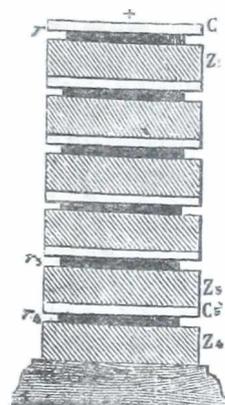


Fig. 118  
Pila de Volta

En esta pila, el ácido sulfúrico ataca al zinc formando sulfato de zinc y es debida á esta reacción química que se establece la corriente eléctrica.

**167.**—Si se observa la intensidad de la corriente durante un cierto tiempo, se observa que esta intensidad *disminuye poco á poco*.

Esto es debido á varias causas:

1º El ácido de los discos de paño vá disminuyendo paulatinamente, debido á la formación del sulfato de zinc.

2º Esta disminución del ácido, se verifica también debido al escurrimiento del agua acidulada por la superficie de la pila, escurrimiento que es aumentado por la compresión de los discos de paño por el peso de los superiores.

3º Se debilita también la corriente, debido á una *acción local*, es decir, dentro de la pila, á causa de las impurezas que contiene el zinc del comercio, pues si suponemos, por ejemplo, que en la superficie de la lámina de zinc, hubiera una partícula de hierro, este hierro y el zinc, constituyen un elemento de *Volta* que dá lugar á una corriente que perjudica á la corriente principal.

**168.**—**Modificaciones de la Pila de Volta.**—Este último inconveniente, se subsana usando *zinc amalgamado* en vez de zinc del comercio, pues si se pretendiera usar el zinc químicamente puro, sería sumamente caro.

Con el zinc amalgamado, se anula por completo la *acción local*.

—Para preparar el zinc amalgamado se sumerge la lámina de zinc en un baño de agua acidulada con ácido sulfúrico al 10 %, y enseguida se frota con un cepillo de alambre que se empapa en el mercurio.

Se nota que el zinc está amalgamado cuando toma un brillo de plata.

**169.**—Los dos primeros inconvenientes que hemos indicado para la *Pila de Volta*, se han subsanado por

medio de la pila de *Corona de tazas*, la pila de *Wollaston* y la pila á *Arteza*.

—La pila de *corona de tazas*, está formada por una série de elementos constituidos de la siguiente manera:

Una vasija de cristal (*fig. 119*) que contiene agua acidulada y dos láminas metálicas una de *zinc* y otra de *cobre*.

Si se unen estos dos electrodos por medio de un hilo metálico, se establecerá una corriente eléctrica que vá del *cobre* al *zinc*, por el hilo conductor y del zinc al cobre por el interior de la pila.

Si se unen entre sí (*fig. 120*) varios de estos elementos, tendremos constituida la pila de *corona de tazas*.

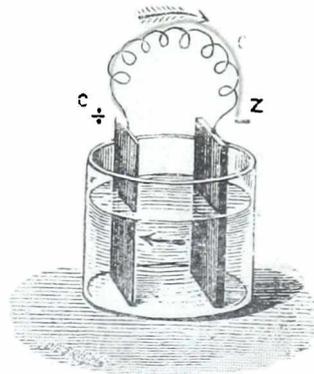


Fig. 119  
Elemento Voltáico

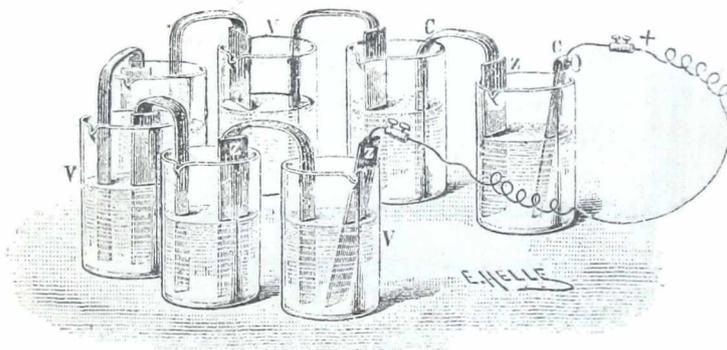


Fig. 120  
Pila de corona

—La *pila de Wollaston* está constituida (*fig. 121*) por una lámina *Z* de zinc que está envuelta por otra lámina de cobre *C* separada del zinc por medio de taquitos de madera.

Reuniendo varios elementos de esta naturaleza (*figura 122*), queda constituida la pila de *Wollaston*. Su-

biendo ó bajando el marco *K* se sube ó baja los elementos, que se introducen en las vasijas con agua acidulada.

—Finalmente, la *pila á arteza* (*fig. 123*), consiste en una caja rectangular que contiene agua acidulada con ácido sulfúrico, y que está dividida en toda su longitud por tabiques que no llegan hasta su fondo y formados por láminas de zinc y cobre soldadas.

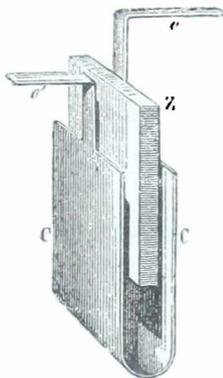


Fig. 121  
Elemento de Wollaston

**170.—Teoría química de la Pila.** —La teoría química de la pila, dá como causa principal del desarrollo de electricidad, á la *reacción química* que se desarrolla en la pila.

En el caso de un elemento de *Volta* (*fig. 119*), la reacción del ácido sulfúrico sobre el zinc, dá lugar á una fuerza electromotriz que carga al *zinc negativamente* y al *líquido,*

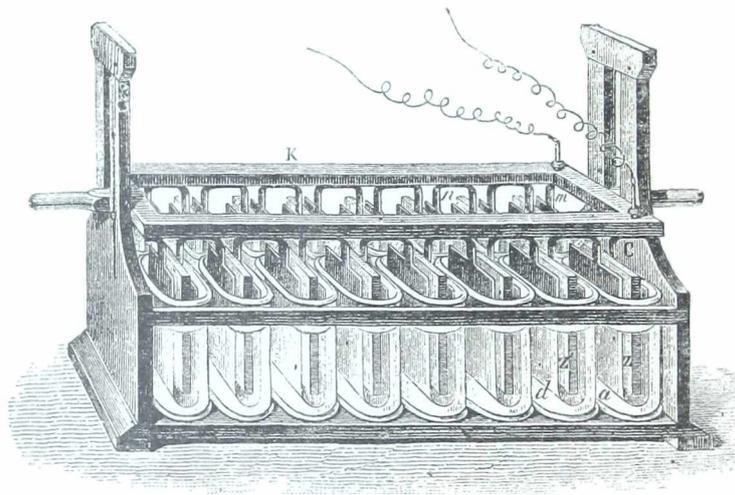


Fig. 122  
Pila de Wollaston

*positivamente.* El cobre recoge la electricidad positiva del líquido y no hace más papel que el de conductor.

Para todos los sistemas de pila, el electrodo que es atacado constituye el polo *negativo* y el *no atacado* constituye el polo *positivo*.

Si los dos metales fueran atacados, el *menos* atacado sería el polo *positivo* y el *más* atacado constituye el polo *negativo*.

Si el zinc y el cobre no están ligados exteriormente,

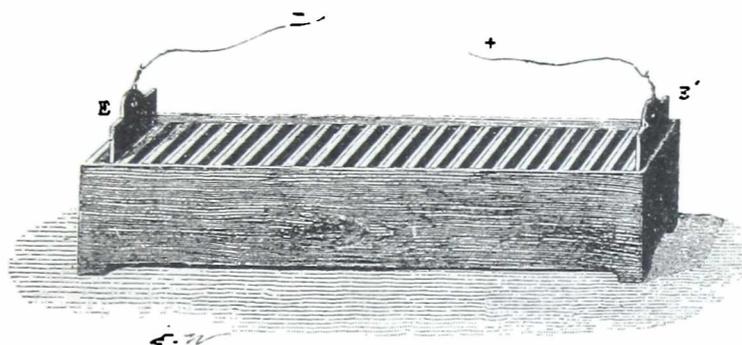


Fig. 123  
Pila de arteza

los dos electrodos se cargan de electricidad hasta que la diferencia de potencial haga equilibrio á la fuerza electromotriz de la pila, pero si se ligan los dos electrodos, las dos electricidades se recombinan y la acción química continúa constantemente.

Más adelante veremos que, *recíprocamente* las corrientes producen efectos *químicos*.

Si en vez de ser un sólo elemento, fueran varios, sabemos que en estas pilas la diferencia de potencial de la pila, es proporcional al número de elementos.

**171.—Inconvenientes de estas pilas.**—Veremos más adelante que cuando una corriente eléctrica atraviesa una disolución ácida ó salina, esta corriente *descompone* el ácido ó la sal, dirigiéndose los componentes á dos electrodos distintos.

Así en el caso de la pila de *Volta*, la corriente des-

compone el ácido sulfúrico  $SO^4 H^2$ , en  $SO^4$  que vá sobre el zinc y en  $H^2$  que va sobre el cobre.

Este cuerpo  $H^2$  sobre el *cobre* modifica su conductibilidad y á su vez por contacto con el cobre dá lugar á una corriente *secundaria*, inversa de la corriente principal, pudiendo llegar el caso de que anule por completo la fuerza electromotriz de la pila.

Llegado este caso, se dice que la pila está *polarizada*.

Entonces, si se quiere tener una corriente de intensidad constante, es necesario evitar esta *polarización*, es decir, este depósito del hidrógeno sobre el cobre.

En un capítulo posterior (*Pilas*) indicaremos como se consigue este resultado.

**172.—Pilas secas.**—Estas pilas son verdaderas pilas de *Volta*. La de *Zamboni* está constituida por una serie de 1.000 ó 2.000 elementos formados por disquitos de papel *estañado* de un lado y con una capa de *bioxido de munganeso* del otro.

Se superponen, se comprimen fuertemente, se les dá un baño exterior de goma laca y el extremo *estaño* constituirá el polo negativo y el extremo *bioxido de munganeso* será el polo positivo.



Fig. 124  
Electrómetro de Bohnenberger

Su acción es pequeña, pero será mayor ó menor según sea mayor ó menor el estado higrométrico y la temperatura del aire.

Una de estas pilas puede cargar una botella de *Leyde*, pero muy lentamente.

**173.—Electrómetro de Bohnenberger.**—Estas pilas secas duran casi indefinidamente, pues la reacción química que se produce por la oxidación del estaño es sumamente lenta.

---

Se aplican estas pilas al electrómetro á *hojas de oro* (fig. 124), de las que sólo *tiene una*.

A pequeña distancia de esta hoja de oro, se colocan dos pilas secas con sus polos contrarios como lo indica la figura, ligando entre sí los otros polos inferiores por medio de una lámina de cobre.

Este electrómetro es sumamente sensible, pues por pequeña que sea la cantidad de electricidad comunicada á la hoja de oro, ésta se verá *atraída* por una de las pilas, al mismo tiempo que es *rechazada* por la otra pila. Luego, combinándose los dos efectos, se aumenta la sensibilidad.

## CAPÍTULO II

---

### CONDUCTIBILIDAD

---

174.—**Enunciado de las Leyes de Pouillet.**— Si se toma una pila que suponemos *constante* y por medio de aparatos especiales que estudiaremos más adelante, determinamos la intensidad de la corriente producida por esa pila, variando la *longitud*, la *sección* y la *naturaleza* del hilo conductor, se notará que con la variación de esas condiciones, también variará la intensidad acusada por el aparato, *aunque siempre la pila haya quedado constante.*

*Pouillet* experimentalmente y *Ohm* analíticamente determinaron las leyes de la conductibilidad eléctrica.

175.—*Pouillet*, produjo las siguientes leyes:

1º *La resistencia  $r$  de un hilo metálico es proporcional á su longitud  $l$ .*

2º *Esa resistencia es inversamente proporcional á su sección  $s$ .*

3º *Es también proporcional al coeficiente de resistencia  $\rho$  de la sustancia.*

—Luego, estas leyes se pueden expresar por la fórmula

$$(1) r = \rho \frac{l}{s}$$

Este coeficiente  $\rho$ , se determina haciendo  $l=1$  y  $s=1$ , luego sale

$$r = \rho$$

lo que nos dice que el *coeficiente de resistencia* de un conductor, es la resistencia que ofrece un hilo de *un centímetro* de longitud y *un centímetro cuadrado* de sección, luego es la resistencia que presenta un *cubo de un centímetro* de lado.

Este coeficiente de resistencia, toma el nombre de *resistencia específica*.

**176.**—La *Unidad de Resistencia práctica*, se llama **Ohm** y es la resistencia que presenta una columna de mercurio de *106,3 centímetros* de longitud y *un milímetro cuadrado* de sección, cuando ese conductor, está recorrido por *una unidad* de intensidad.

—La *unidad de intensidad*, toma el nombre de **Ampere** y equivale al paso de *una unidad de cantidad* por *segundo*.

—La *unidad de fuerza electromotriz* se le llama **Volt** y es la fuerza electromotriz de una pila que produce *un Ampere* de intensidad, en un circuito de *un Ohm* de resistencia.

**177.**—La *tercera ley de Pouillet*, suele enunciarse de otra manera, á cuyo efecto, en vez de hacer intervenir el coeficiente de resistencia, se introduce el *coeficiente de conductibilidad*  $c$ , que es el *inverso* del coeficiente de resistencia.

Es decir que se tiene

$$\rho = \frac{1}{c}$$

y sustituyendo este valor en la fórmula (1) sale

$$(2) \quad r = \frac{l}{c \cdot s}$$

Entonces, la tercera ley de *Pouillet*, se expresa diciendo:

3º *La resistencia es inversamente proporcional al coeficiente de conductibilidad de la sustancia.*

**178 —Fórmula de Pouillet.**—Hemos visto que la fórmula que nos dá la resistencia de un conductor es:

$$r = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

Pero como los conductores que generalmente se usan son cilíndricos, esa fórmula puede escribirse:

$$r = \rho \frac{l}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

siendo  $d$  el diámetro del conductor.

—Transformando sale:

$$r = \frac{\rho l}{\pi d^2}$$

$$r = \frac{4 \rho l}{\pi d^2}$$

$$r = \frac{4 \rho l}{3.14 \times d^2}$$

$$r = 1,273 \rho \frac{l}{d^2} \quad (2)$$

**PROBLEMA 1º.**—Que resistencia opone al paso de una corriente, un conductor de hierro de 1 cm<sup>2</sup> de sección y 40 m de largo:

FÓRMULA

$$r = \rho \frac{l}{S}$$

SOLUCIÓN

$$r = \frac{0,11136 \times 40}{100 \text{ m}^2} = \frac{4,4544}{100}$$

$$\mathbf{R = 0,0445 \Omega}$$

Vemos que en la solución de este ejemplo  
*l* se expresa en *metros*.

*s* » » » *milímetros cd.*

*d* » » » *milímetros.*

$\rho$  es la *resistencia específica* del hierro á 0° que como vemos en la tabla siguiente es = 0,11136.

PROBLEMA 2°.—Cuál sería la resistencia de un conductor cilindrico de cobre ordinario si tiene 3 mm. de diámetro y 1280 metros de largo:

FÓRMULA

$$r = 1,273 \frac{\rho l}{d^2}$$

SOLUCIÓN

$$r = \frac{1,273 \times 0,01984 \times 1280}{32}$$

$$R = 32,328 \Omega$$

En este caso la tabla dá:

$$\rho = 0,01984$$

179. — **Fórmula Ricaldoni.**—Con las fórmulas anteriores se puede *hallar* la resistencia de un conductor á 0° de *temperatura*.

—Si la temperatura varía, varía también la resistencia en razón directa y si llamamos  $\mu$  el *coeficiente de temperatura*, es decir, *la variación de la resistencia por grado de temperatura* y llamamos  $\theta$  *la temperatura del conductor*, las fórmulas que nos darán inmediatamente la resistencia de dicho conductor, serán:

$$r = \rho \frac{l}{s} (1 \pm \mu \theta) \quad (3)$$

$$r = 1,273 \rho \frac{l}{d^2} (1 \pm \mu \theta) \quad (4)$$

Se usará el signo (+) cuando los coeficientes de temperatura *dados por la tabla* adjunta son positivos,

como en la *mayoría de los cuerpos* y se usará el signo (--) cuando los coeficientes son negativos como en el *carbón y las soluciones*.

**PROBLEMA 1º.**—Que resistencia opone al paso de una corriente un conductor de hierro de 1 cm<sup>2</sup> de sección y 40 metros de largo, cuando la temperatura es de 300º:

## FÓRMULA

$$r = \rho \frac{l}{s} (1 + \mu\theta)$$

## SOLUCIÓN

$$r = \frac{0,11136 \times 40}{100} (1 + 0,00480 \times 300)$$

$$r = 0,1086 \ \Omega$$

la tabla nos dió:

$$\mu = 0,00480$$

**PROBLEMA 2º.**—Cual es la resistencia de un conductor de cobre ordinario si tiene 3 mm. de diámetro y 1280 metros de largo, siendo su temperatura de 140º:

## FÓRMULA

$$r = 1,273 \rho \frac{l}{d^2} (1 + \mu\theta)$$

## SOLUCIÓN

$$r = \frac{1,273 \times 0,01984 \times 1280}{9} (1 + 0,00368 \times 140)$$

$$r = 48,983 \ \Omega$$

—Las mismas fórmulas (3) y (4) se pueden aplicar cuando se haga uso de las tablas de Mathiessen y otros calculadas á 15º.

En ese caso  $\theta$  representaría el exceso ó diferencia de la temperatura del problema sobre los *15 grados* de la tabla.

Se usará el signo (+) cuando la temperatura del problema es *mayor de 15* y el signo (—) cuando sea *menor de 15º*.

TABLA DE RICALDONI

CUERPOS	Resistencia específica á 0° $\rho$	Coefficiente de tem- peratura $\mu$
Acero .....	0.10800	—
Aluminio .....	0.02935	0.00355
Carbón de retorta .....	40 á 131	-0.0005 á -0.0015
Cobre puro .....	0.01606	0.00368
Cobre ordinario .....	<b>0.01984</b>	0.00368
Cobre mangánico .....	1.07000	—
Estaño .....	0.13100	0.00360
Hierro .....	<b>0.11136</b>	0.00480
Latón .....	0.07000	—
Maillechort .....	0.20760	0.00044
Manganin .....	0.47000	—
Mercurio .....	0.92731	0.00090
Nickel .....	0.12360	0.00630
Nickelin .....	0.41213	0.00030
Oro recocido .....	0.02041	0.00365
Oro crudo .....	0.02077	0.00365
Plata nativa .....	0.26878	0.00030
Plata recocida .....	0.01515	0.00353
Plata cruda .....	0.01610	0.00353
Platino .....	0.11523 á 0.14639	0.00370
Platino iridiado .....	0.21630	0.00133
Plomo .....	0.19270	0.00400
Zinc .....	0.05499	0.00345
SO <sup>4</sup> H <sup>2</sup> al 30 % .....	13.700	—
SO <sup>4</sup> H <sup>2</sup> al 15 % .....	18.550	—
NO <sup>3</sup> H al 60 % .....	19.640	—
NO <sup>3</sup> H al 80 % .....	37.700	—
SO <sup>4</sup> Cu al 15 % .....	242.000	—
Solución de sal de higuera al 17 % (SO <sup>4</sup> Mg) .....	208.400	—
Solución concentrada de cloruro de amonio .....	25.100	—
Sulfato de Zinc al 20 ° .....	218.000	—
Solución de Soda cáustica al 20 % .....	30.800	—
Solución de potasa cáustica al 25 % .....	18.800	—
Solución de cloruro de sodium .....	52.000	—
Selenium .....	400.000.000	—

180.—Representación de la fórmula de Ohm.—Este físico estudiando la distribución del potencial en un conductor, halló que llamando  $V_a$  y  $V_b$ , el potencial en cada extremo del conductor,  $l$  su longitud,  $s$  la sección y  $c$

su *coeficiente de conductibilidad*, se tenían las leyes expresadas por la fórmula

$$I = \frac{V_a - V_b}{\frac{l}{c s}}$$

pero como por lo que hemos visto antes se puede poner

$$\frac{V_a - V_b}{\frac{l}{c s}} = \mathbf{E}$$

$$\frac{l}{c s} = \rho$$

resulta que la *fórmula de Ohm* será

$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{E}}{\rho}$$

Esta fórmula nos dá las leyes de *Ohm* que reuniremos en una sola diciendo que:

*La intensidad de la corriente que circula en un hilo, es proporcional á la diferencia de potencial de sus extremidades y está en razón inversa de su resistencia eléctrica.*

181.—Se ha comprobado que esta fórmula puede generalizarse, sean cuales sean las resistencias *interpolares* y también teniendo en cuenta la resistencia *interior* de la pila al paso de la corriente.

Entonces si llamamos  $R$  la resistencia interior de la pila y  $r$  la ó las resistencias interpolares, se tiene que la fórmula generalizada será

$$I = \frac{E}{R + r}$$

luego, la ley de *Ohm* generalizada nos dice que:

*La intensidad es proporcional á la fuerza electro-*

*motriz de la pila é inversamente proporcional á la suma de las resistencias interiores y exteriores.*

**182.—Montaje de las Pilas.**—Esta fórmula de *Ohm*, tiene una gran aplicación para determinar cual es el montaje de las pilas más conveniente, para obtener un resultado dado.

El agrupamiento ó montaje de las pilas, puede hacerse de *cuatro maneras* distintas, que iremos indicando y estudiando sucesivamente.

**183.—Asociación en Série.**—Este agrupamiento, consiste (*fig. 125*) en ligar el polo *negativo* de un elemento con el polo *positivo* del elemento consecutivo.



Fig. 125  
Asociación en Série

Suele dársele también el nombre de *asociación en tensión*.

Si suponemos que haya  $n$  elementos, la fuerza electromotriz *total* de la pila sería  $nE$  y la resistencia interior será  $nR$ , luego la fórmula de *Ohm*, nos dá la intensidad

$$I = \frac{nE}{nR + r} \quad (3)$$

Al aplicar esta fórmula pueden presentarse dos casos:

1º Que la resistencia *exterior* sea muy grande con relación á la resistencia interior.

2º Que la resistencia *interior* sea más grande que la exterior.

**184.**—Si la resistencia *exterior* es muy grande, puede despreciarse el sumando  $nR$ , y entonces la fórmula (3) se convertirá en

$$I = \frac{nE}{r}$$

lo cual nos dice que *la intensidad es sensiblemente proporcional al número de elementos.*

—Si la resistencia *interior*  $R$  es grande, puede despreciarse en la (3) el sumando  $r$  y se tendrá

$$I = \frac{n E}{n R} = \frac{E}{R}$$

lo cual nos dice que: *la intensidad es la misma que si usáramos una sola pila.*

Luego, en este último caso, no hemos conseguido nada y por consiguiente sacamos que:

*Debe usarse el agrupamiento en serie ó tensión cuando la resistencia exterior es muy grande.*

**185.—Asociación en superficie ó en cantidad.**—Este agrupamiento se obtiene (*fig. 126*), uniendo entre sí todos los polos positivos y entre sí todos los polos negativos.

Luego *la fuerza electromotriz no varia*, queda siempre  $E$ , pues ese

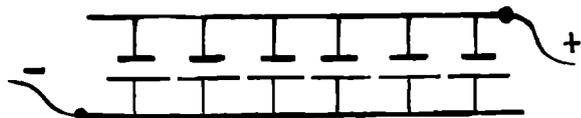


Fig. 126  
Asociación en cantidad

agrupamiento equivale á tener un sólo elemento de superficie  $n$  veces

*mayor* en la que la resistencia se ha hecho  $n$  veces menor por que se ha *aumentado la sección* del conductor, entonces la fórmula (3) para este caso, sería

$$I = \frac{E}{\frac{R}{n} + r}$$

ó bien multiplicando por  $n$  el segundo miembro

$$I = \frac{n E}{R + n r}$$

—Ahora, si la resistencia exterior  $r$  es muy grande podemos despreciar  $R$  en el denominador y sale

$$I = \frac{n E}{n r} = \frac{E}{r}$$

luego, en este caso nada se gana.

—Si al contrario  $r$  es muy pequeña, se puede despreciar  $nr$  y se tiene

$$I = \frac{n E}{R}$$

luego en este caso, la intensidad es proporcional al número de elementos.

Por consiguiente:

*El agrupamiento en superficie ó cantidad es útil cuando la resistencia exterior es pequeña.*

**186.—Asociación mixta.**—Puede presentarse el caso, en que la resistencia exterior es comparable á la interior de varios elementos de la pila, entonces hay conveniencia en agrupar los elementos en series y estas series en baterías.

—Así, si se tuvieran 6 elementos, estos se podrían agrupar en dos series (fig. 127) de tres elementos ó bien en tres series (fig. 128) de dos elementos cada uno.

La mejor disposición para obtener el *máximum*, es conseguir que la resistencia interior de la pila, sea igual á la resistencia exterior del conductor.

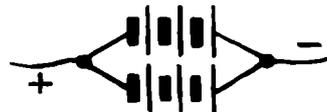


Fig. 127  
Asociación mixta

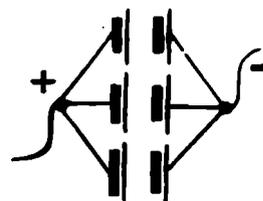


Fig. 128  
Asociación mixta

—Supongamos que tenemos  $n$  elementos y que los unimos de  $n_1$  en cantidad, luego se habrán formado  $\frac{n}{n_1}$  grandes elementos de fuerza electromotriz siempre  $E$ , pero cuya resistencia interior sería  $\frac{R}{n_1}$ .

Unamos ahora estos  $\frac{n}{n_1}$  grandes elementos en serie que nos darán una fuerza electro-motriz  $\frac{n}{n_1} E$  y cuya resistencia sería

$$\frac{n}{n_1} \times \frac{R}{n_1}$$

Luego si se unen los polos de la batería por medio de un alambre de resistencia  $r$ , la intensidad de la corriente, sería

$$I = \frac{\frac{n}{n_1} E}{r + \frac{n}{n_1} \times \frac{R}{n_1}} = \frac{\frac{n}{n_1} E}{r + \frac{n R}{n_1^2}}$$

que es la fórmula general, á la que se le puede dar otra forma despejando  $n$ .

Al efecto, transformando sale

$$I \left( r + \frac{n}{n_1^2} R \right) = \frac{n}{n_1} E$$

$$I r + \frac{I n R}{n_1^2} = \frac{n E}{n_1}$$

$$I r n_1^2 + I n n_1 R = n n_1^2 E$$

$$I r n_1^2 + I n R = n n_1 E$$

$$I n R - n n_1 E = -I r n_1^2$$

$$n n_1 E - I n R = I r n_1^2$$

$$n (n_1 E - I R) = I r n_1^2$$

$$n = \frac{I r n_1^2}{n_1 E - I R} \quad (1)$$

Para que sea positiva, esta fracción es necesario que  $n_1 E > I R$ , es decir

$$n_1 > \frac{I R}{E}$$

De esto se deduce que el número de elementos  $n$  sería un mínimo cuando

$$n_1 = \frac{2 I R}{E}$$

—La intensidad *máxima* se tendrá cuando la resistencia interior sea igual á la exterior, es decir cuando

$$r = \frac{n R}{n_1^2}$$

y despejando  $n_1$  sale

$$r n_1^2 = n R$$

$$n_1^2 = \frac{n R}{r}$$

$$n_1 = \sqrt{\frac{n R}{r}}$$

que sería la condición para tener el *mayor efecto*.



Fig. 129  
Asociación en oposición

**187.—Asociación en oposición.**—Para obtener esta asociación (*fig. 129*) se ligan *entre sí* los polos positivos de una pila y entre sí los polos negativos de otra.

En este caso, la intensidad será *nula*, si las fuerzas electromotrices de las pilas son iguales.

## CAPÍTULO III

PILAS

---

**188.** — **Pilas á corriente constante.** — Ya dijimos que una de las causas del debilitamiento de las pilas es el depósito de *hidrógeno*, que se verifica sobre el *eléctrodo positivo*.

Se evita la *polarización*, desembarazándose del hidrógeno á medida que se produce.

Esto se puede hacer por dos medios: *mecánicamente* ó *químicamente*.

Para conseguirlo mecánicamente nos bastará *agitar el líquido* en el polo positivo, ó *cepillando* el *eléctrodo positivo*, ó, finalmente, depositando sobre el *eléctrodo positivo* un depósito de platino, que lo recubre de asperezidades, sobre las cuales se rompen fácilmente las burbujas de hidrógeno.

**189.** — La despolarización química se obtiene *absorbiendo el hidrógeno*; á medida que se produce, por medio de reactivos *despolarizantes*, ricos en *oxígeno* ó *cloro*, tales como el *ácido nítrico*, *ácido crómico*, *peróxido de manganeso*, *sulfato de cobre*, *cloruro de plata*, etc.

Las disposiciones especiales que se han tomado son innumerables; pero nosotros sólo indicaremos las pilas de *Daniell*, *Grove*, *Bunsen*, á *Bicromato de potasa* ó de *Grenet*, y la de *Leclanche*, *Pacinotti*, *Meidinger* y *Latiner Clark*.

En todas estas pilas, el metal activo, ó que es atacado

mientras pasa la corriente, es el *zinc*, por cuyo motivo se llaman estas combinaciones *Elementos voltáicos* ó *galvánicos*.

**190.—Pila de Daniell.**—Ésta pila (*fig. 130*) consiste: 1º en un vaso de vidrio *V*, que contiene agua acidulada con *ácido sulfúrico*; 2º una lámina recurvada de *zinc amalgamado*; 3º un vaso de tierra porosa *D*, que contiene una solución concentrada de *sulfato de cobre*; 4º una *lámina de cobre*, recurvada *C*, sumergida en esta solución de sulfato de cobre.

—La lámina *zinc* es el *electrodo negativo*, y la lámina *cobre*, es el *electrodo positivo*.

—El cuerpo *despolari-zante* es el sulfato de cobre.

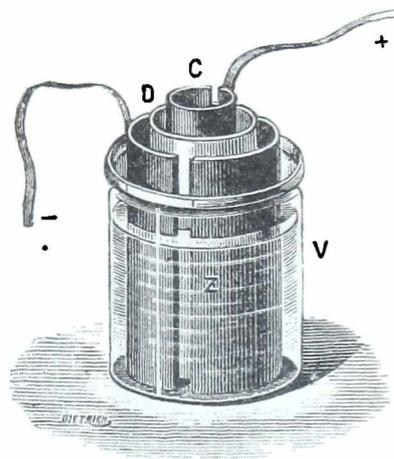
—Cuando el circuito está abierto, no hay reacción química.

—Si el circuito está cerrado, empieza la reacción química.

El hidrógeno, puesto en libertad por la acción del zinc sobre el agua acidulada, se dirige sobre el *cobre*; pero antes de llegar á él debe atravesar el vaso poroso, donde se encuentra con la solución del sulfato de cobre, al cual le quita el *oxígeno* para formar agua.

El *cobre*, puesto en libertad por esta reacción, se deposita sobre la lámina *cobre*, y el ácido sulfúrico pasa á través del vaso poroso para regenerar el agua acidulada.

Luego, el único debilitamiento sería producido por el consumo de sulfato de cobre; pero esto se evita introduciendo en el vaso poroso un saquito conteniendo cris-



**Fig. 130**  
Pila de Daniell

tales de sulfato de cobre, que se disuelve y mantiene la concentración de la solución.

**191.—Pila de Grove.**—Esta pila es análoga á la de *Daniell*, con la diferencia de que el líquido despolarizante es el *ácido nítrico* y que en vez de la lámina de cobre se pone una lámina de platino, encurvada en forma de S para darle mayor superficie.

**192.—Pila de Bunsen.**—Esta pila (*fig. 131*) consta, como la de *Daniell*, de una vasija de vidrio ó de barro vidriado *F*, una lámina *Z* de *zinc*, un vaso poroso *V* y un prisma *C* de *carbón* de retortas.

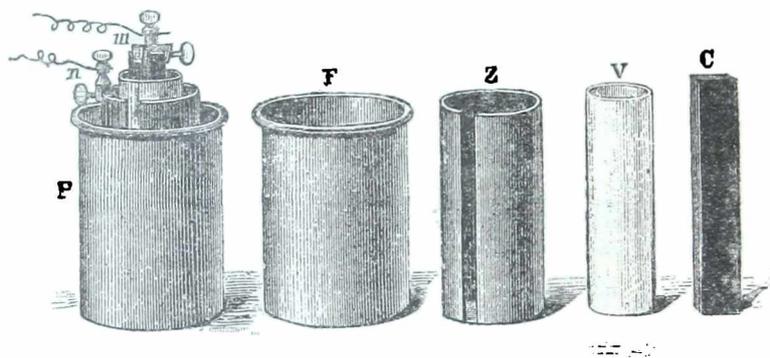


Fig. 153  
Pila de Bunsen

Como en la pila de *Daniell*, el primer vaso contiene agua acidulada con *ácido sulfúrico*, y el vaso poroso contiene *ácido nítrico* que es el líquido despolarizante.

El cobre está aquí substituido por el carbón de las retortas, el cual constituye el polo positivo.

En esta pila, y en la de *Grove*, el hidrógeno dejado en libertad, se dirige al electrodo positivo, pero en su camino se encuentra con el ácido nítrico, con el cual forma agua, desprendiendo gases de *ácido hiponítrico*.

**193.**—Las pilas de *Grove* y de *Bunsen*, son molestas por el desprendimiento del gas hilarante.

—De estas tres pilas, la más potente es la de *Grove*: cuya fuerza electromotriz es *1.90 volt*, pero es muy cara.

—La pila de *Daniell* es la *más constante*, y su fuerza electromotriz es de *1,08 volt*.

—La fuerza electromotriz de la pila de *Bunsen* es de *1.75 volt*.

La pila de *Daniell* y la de *Bunsen* son muy usadas en los telégrafos.

**194.—Pila á Bicromato.**—Esta pila (*fig. 132*) consta de una botella de vidrio que contiene una solución de *bicromato de potasa*, adicionada de *ácido sulfúrico*.

Se disuelven *12 gramos* de *bicromato de potasa* en *100 gramos* de agua y se le agregan *2.5 gramos* de ácido sulfúrico.

La botella está cerrada por un sombrerete de ebonita que sostiene dos láminas de carbón *C* y *C*, que constituyen el polo positivo; y una lámina de zinc *Z* que puede subir y bajar á frotamiento, según esté ó no en actividad la pila.

Como vemos, esta pila es á *un solo liquido*, es bastante constante, pero menos que las pilas á *dos líquidos*.

Su fuerza electromotriz es próximamente *2 volts*, pero disminuye rápidamente. Es muy cara.

**195.—Pila Leclanche.**—La pila *Leclanche* (*fig. 133*) es también á un sólo líquido.

Consta de un vaso *V* de vidrio, de una forma especial, en el cual hay una solución concentrada de *cloridrato de amoniaco*. Dentro de esta solución se sumerge un cilindro *Z* de zinc, en cuyo extremo superior se ha colocado un hilo de cobre. Este es el polo *negativo*.

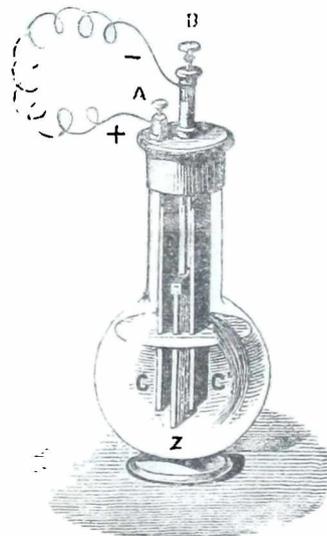


FIG. 132  
Pila de Grenet

El polo positivo está constituido por un prisma *C* de carbón contenido en el interior de un vaso poroso, que contiene una mezcla de fragmentos de coque y *bióxido de manganeso*, que es el cuerpo despolarizante.

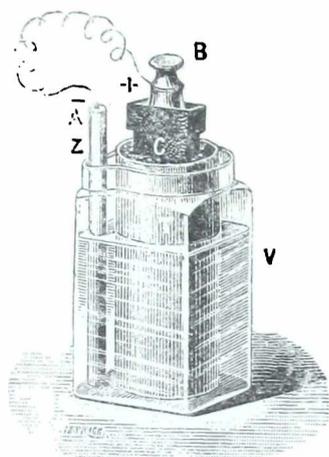


Fig. 133  
Pila de Leclanche

Cuando se cierra el circuito, el cloridrato de amoníaco ataca al zinc, formando *cloruro de zinc*, quedando el amoníaco disuelto en el agua.

El hidrógeno, puesto en libertad, se dirige al carbón, donde encuentra el bióxido de manganeso, el que se transforma en sesquióxido de manganeso ( $Mn^3 O^4$ ), dejando oxígeno en libertad, que con el hidrógeno, forma agua.

En esta pila no hay desprendimiento de gases.

Su fuerza electromotriz es de *1,48 volts*, y es útil cuando debe funcionar de una manera intermitente, como en las campanillas eléctricas.

**196.—Pila Italiana.**—Esta se usa en los telégrafos italianos y es una modificación de la pila de Daniell.

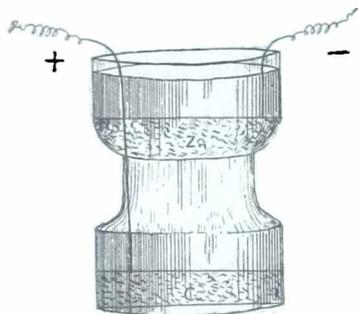


Fig. 134  
Pila Italiana

Como se ve en la (*figura 134*), el vaso tiene una forma especial. En el vaso inferior se coloca la disolución y los cristales de sulfato de cobre. La disolución llega hasta la garganta.

En la vasija inferior se colocará un cilindro de zinc, y sobre él, muy lentamente, se vierte el ácido sulfúrico muy diluido. Como este lí-

quido es menos denso que la solución de sulfato de cobre, los líquidos se superponen por orden de densidades y se van difundiendo lentamente.

Los electrodos están formados por una lámina de cobre ligada al zinc y este es el polo negativo.

El segundo electrodo es un alambre grueso de cobre, encajado en los cristales de sulfato de cobre.

Se debe tener la precaución de aislar el trozo de alambre que atraviesa el líquido superior.

Como vemos, *el vaso poroso ha sido suprimido.*

**197.— Pila Meidinger.**—Esta pila, utilizada en los telégrafos alemanes, es otra modificación de la pila de Daniell. Es una pila *á gravitación.*

En el balón superior (*figura 135*), están colocados los cristales de sulfato de cobre.

En el cilindro inferior se coloca un cilindro de cobre, y en el superior un cilindro de zinc.

El electrodo que está en comunicación con el cilindro de cobre debe ser aislado.

En la parte superior se coloca la solución de sulfato de cobre y encima la solución de sulfato de zinc.

**198.— Pila Callaud.**— Como se ve en la *fig. 136*, en esta modificación de la pila de Daniell el cobre forma la base del vaso y á él está ligado un alambre aislado que forma el electrodo positivo.

El zinc tiene la forma de un cilindro suspendido por ganchos al borde del vaso de vidrio.

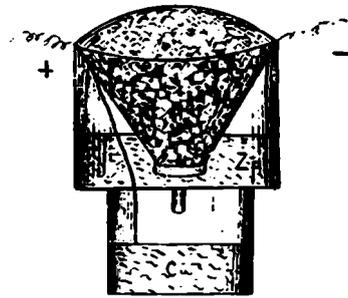


Fig. 135  
Pila Meidinger

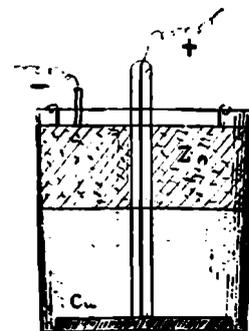


Fig. 136  
Pila Callaud

En la parte inferior se pone la solución del sulfato de cobre y arriba la solución del sulfato de zinc.

Es muy constante y es la pila que se usa en los telégrafos franceses.

**199.—Pila Latiner Clark.**—Esta pila es una pila *etalón*, para tener una medida de la *fuerza electromotriz*.

Es muy *constante*, pero á condición que su temperatura también lo sea.

La temperatura que se ha adoptado es la de 15°, en cuyo caso su fuerza motriz es 1.43 volts.

Consiste, como lo muestra la *figura 137*, en una vasija doble, en una de las cua-

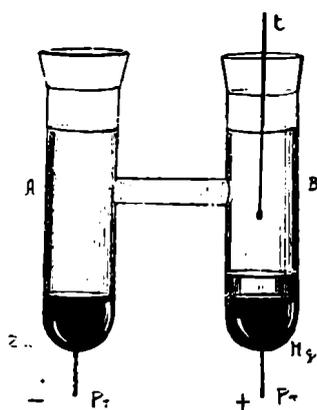


Fig. 137  
Pila Latiner Clark

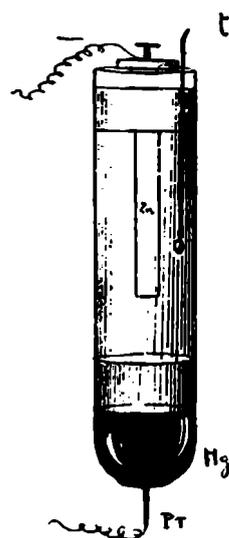


Fig. 138  
Pila Latiner Clark

les se le pone en el fondo zinc, y en el otro, mercurio, con un poco de sulfato mercurioso y el todo lleno de una solución de sulfato de zinc.

Se le puede dar la forma indicada en la figura 138.

Damos á continuación la *fuerza electromotriz* de las pilas más usadas hoy día:

Volta .....	0.85
Leclanche .....	1.48
Grenet .....	1.90
Daniell .....	0.96
Daniell con 80' H <sup>2</sup> 10 % .....	1.08
Grove .....	1.96
Bunsen .....	1.80
Latiner Clark .....	1.43
Menotti .....	1.00
Meidinger .....	0.95
Callaud .....	1.00

---

## CAPÍTULO IV

---

### EFFECTOS DE LAS CORRIENTES

---

**200.—Efectos Fisiológicos.**—Si tomamos con una mano, uno de los polos de una pila, y enseguida cerramos el circuito con la otra mano, se experimentará una conmoción tanto más fuerte, cuando mayor es el número de elementos dispuestos *en série*.

Esto se hará más sensible, mojando las manos con agua salada para disminuir la resistencia de la epidermis.

—Si se intercala el globo del ojo en un circuito, al abrirse ó al cerrarse la corriente, se experimenta la sensación de una luz viva, como si fuera un relámpago.

—*Gay-Lussac* quiso experimentar la sensación que le producía la corriente de 600 elementos de *Volta* de una *pila á artesa* y fué tan viva la conmoción que, por más de veinte y cuatro horas, sentía aún sus efectos.

—La medicina, aprovecha estos efectos fisiológicos de las corrientes para el tratamiento de ciertas enfermedades, sobre todo en la parálisis.

—*Albini* sometió una cabeza de buey recién cortada, á la acción de la corriente de una pila de *cien elementos Bunsen*, á cuyo efecto introdujo los dos electrodos de la pila en el interior de las orejas, mojadas de agua salada.

Pudo conseguir que los ojos giraran en sus órbitas, mover la lengua y las orejas, y que inflase las narices.

—La corriente producida por una pila de más de 100

elementos *Bunsen*, puede producir la muerte de un animal.

—Las corrientes industriales de 500 ó más volts que se utilizan en los establecimientos industriales, tramways, etc., son generalmente de efectos mortales.

--En el caso que por la rotura de un cable desnudo, éste se hubiera puesto en contacto con algún individuo, debe tratarse de interrumpir la corriente en otro punto ya sea moviendo un conmutador ó dando aviso á la oficina central.

Debe tenerse presente que es más peligroso separar el alambre después que el alambre ha producido el contacto, que recibir el primer choque.

En caso que hubiera combustión debe separarse el alambre, en cuyo caso el auxiliador puede valerse de dos botellas cruzadas para mover el cable.

**201.**—Uno de los efectos de la corriente es producir la parálisis de los nervios motores, destinados á regir la respiración, produciéndose, por consiguiente, la muerte por asfixia.

Puede hacerse volver en sí al fulminado apelando á la respiración artificial ó estimulando los movimientos de la caja torácica.

Al efecto, se recomienda colocar al fulminado acostado de espaldas, con la cabeza muy poco levantada y tres personas se encargan una de comprimir la caja torácica, haciéndola mover como si respirara; la segunda, toma la punta de la lengua con un pañuelo para que no resbale y se tira hacia afuera con el mismo ritmo; finalmente, la tercera persona, colocándose detrás de la cabeza, toma de las manos al enfermo y hecha los brazos hacia atrás y adelante con el objeto de dilatar y contraer la caja torácica.

Después de *dos horas* de esa tarea se ha conseguido salvar algunas personas.

Los médicos, basándose en los movimientos reflejos,

tienen procedimientos para hombres y mujeres, que son muy eficaces.

No es posible establecerlos en este texto que está destinado á jóvenes alumnos y alumnas.

**202.—Efectos Químicos.**—Cuando un *compuesto líquido*, es atravesado por una corriente, ese cuerpo se *descompone*.

Para obtener esto, es necesario que el cuerpo esté en el estado líquido, ó por lo menos, pastoso y además que sea conductor.

Estos cuerpos toman el nombre de *electrólitos* y el fenómeno de la descomposición toma el nombre de *electrólisis*.

Cuando se quiere operar, los reóforos de la pila, se terminan en dos láminas ó hilos metálicos que toman el nombre de *electrodos*.

El electrodo que corresponde al polo *positivo* toma el nombre de *Anodo* y el polo *negativo*, se llama *Catodo*.

Cada una de las partes en que se divide el electrólito, toma el nombre de *ion* y los aparatos en los que se hace

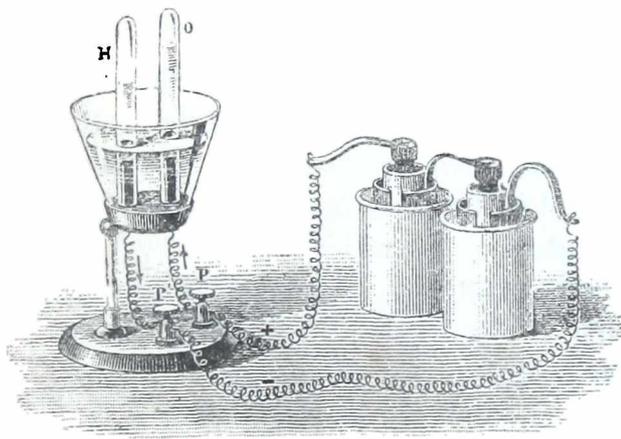


Fig 139  
Electrólisis del agua

la descomposición, se le llama *Voltámetro*.

**203.**—Este aparato, consiste generalmente en un vaso de vidrio, cuyo fondo está atravesado por dos *láminas de platino* que pueden ponerse (*fig. 139*) en comunica-

ción con los dos polos de una pila. Para efectuar la *Descomposición del agua*, introducimos en el vaso, ese electrólito, al cual agregamos un poco de ácido sulfúrico.

Enseguida, se llenan dos probetas con ese mismo líquido y se invierten sobre cada uno de los electrodos.

En cuanto pasa la corriente, se observa que las láminas de platino se recubren de burbujas de gas, el cual poco á poco va llenando las probetas.

Se constata que una de las probetas contiene *hidrógeno* y que la otra contiene *oxígeno*.

El *hidrógeno* se ha dirigido al *catodo* y el *oxígeno* ha ido al *anodo* ó polo positivo.

El volúmen de los gases recogidos es uno *doble* del otro, cosa fácil de comprender, dada la constitución del agua  $H^2 O$ .

**204.—Electrólisis.**—Ya digimos que se llamaba *electrólisis*, el fenómeno de la descomposición de un cuerpo por medio de la corriente.

—Si se obra con un *óxido metálico*, el metal vá al polo *negativo* ó *catodo* y el *oxígeno* al polo *positivo* ó *anodo*.

Si fuera un *compuesto binario*, como un *cloruro sulfuro*, etc., el metal va también al *catodo* y el *cloruro*, *azufre*, etc., va al *anodo*.

—Finalmente, si fuera una *sal*, el *metal* va siempre al *catodo* y en el *anodo* se tiene un desprendimiento de *oxígeno* y la presencia del ácido de la sal.

**205.**—Sentado esto, podemos enunciar las leyes de la *electrólisis* que son:

1º *La acción química es la misma en todos los puntos del circuito.*

2º *Si hay varios electrólitos diferentes en el circuito los pesos de los diferentes metales depositados en los catodos son equivalentes, bajo el punto de vista químico.*

3º Los pesos de los ions en los dos electrodos, tienen la misma relación, que la relación según la cual se combinan.

4º El peso del electrólito descompuesto durante un tiempo dado, es proporcional á la intensidad de la corriente.

5º El peso del zinc disuelto en la pila que alimenta la corriente electrolizante, es químicamente equivalente al peso de los metales puestos en libertad en todos los voltámetros del circuito.

**206.**—La electrólisis, se aplica para obtener cuerpos químicamente puros, para la reproducción de *clichés*, doradura, plateadura, etc., y en las pilas secundarias ó acumuladores.

**207.—Galvanoplastia.**—La *galvanoplastia*, es el arte de modelar los metales precipitándolos sobre la superficie de los cuerpos que se quiere *reproducir* exactamente, por medio de la acción de la corriente eléctrica sobre un compuesto de dicho metal.

La galvanoplastia, pues, está basada en la descomposición de las sales metálicas, por la acción de la corriente eléctrica.

—Para operar, nos bastará introducir la *medalla*, objeto de arte, *plancha grabada*, etc., en una vasija *V* (*fig. 140*) que contiene una solución concentrada de *sulfato de cobre*, acidulado por el ácido sulfúrico.

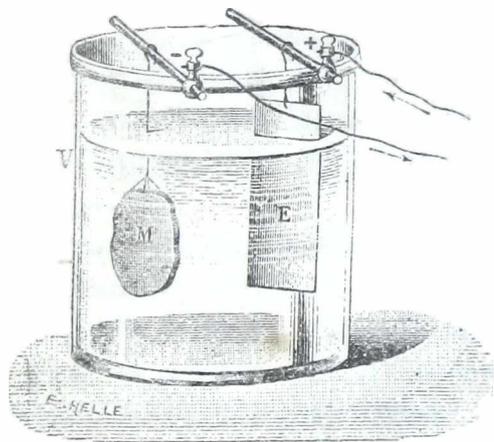


Fig. 140  
Galvanoplastia

suspendiendo ese molde *M* en una varilla metálica y

haciendo que este molde venga á constituir el *electrodo negativo ó catodo* é introduzcamos también en la vasija una *lámina de cobre E* que constituirá el *electrodo positivo ó anodo*.

Cuando pasa la corriente, el *electrólito* (sulfato de cobre) se descompone, pasando *el cobre al catodo*, donde se deposita lentamente, formando una capa compacta, pero *no adherente* y el *oxígeno* y el *ácido sulfúrico* se dirigirán al *anodo*, es decir, á la lámina de cobre con la cual volverán á formar *sulfato de cobre*, conservándose así la saturación del *electrólito*.

Se separa la capa de cobre que estaba adherida al molde y se tendrá así su reproducción perfecta.

**208** —Generalmente los moldes se hacen de *yeso, azufre, guta-percha, gelatina, estearina, etc.*, y para que puedan estos moldes constituir el *electrodo negativo*, es necesario *convertirlos en buenos conductores*, á cuyo efecto, por medio de un pincel se cubren de *plombagina* y se frota con un cepillo suave hasta que su superficie sea brillante.

—Obtenida la capa de cobre sobre el molde, se separa de éste y se refuerza vertiendo en él una aleación fusible.

**209.**—La galvanoplastia, tiene una importante aplicación en la reproducción de los grabados en maderas, para las impresiones.

El grabado de madera puede resistir un tiraje de 8 á 10 *mil* ejemplares, mientras que los *clichés*, que se obtienen por la galvanoplastia, pueden resistir un tiraje *10 veces mayor*.

Además, como un grabado puede darnos infinitos *clichés*, resulta que es infinito el número de ejemplares que se pueden tirar de un grabado cualquiera.

—El *cliché galvánico*, después de 48 horas, tiene un espesor de *medio* diezmilímetro (0<sup>m</sup>00005).

**210.—Doradura y Plateadura.**—Este procedimiento electro-químico, nos permite no sólo *reproducir* los moldes, sino también *recubrir* ó *depositar* sobre los moldes una capa adherente metálica.

Si se quisiere *dorar* ó *platear* un objeto cualquiera, se empieza por limpiar perfectamente el objeto ó quitarle todas las partículas extrañas de que puede estar recubierto, para lo cual se emplea el fuego, las soluciones ácidas, etc.

Este molde ú objeto se pone como antes en un electrolito, ocupando el puesto de *catodo*, y el *anodo* estaría formado de una lámina de *oro* ó *plata*, según se quiera *dorar* ó *platear*.

Si se quiere *platear* se usaría *cianuro de plata disuelto en cianuro de potasium*.

Si se quiere *niquelar*, el baño estará constituido por una solución de *sulfato doble de nickel* y de *amoníaco*.

Estos baños son pues *alcalinos*.

—La adherencia y solidez del depósito, dependen de la composición del baño, de la intensidad de la corriente y de su fuerza electromotriz.

**211.—Teoría de Grotthuss.**—Se observa que los elementos ó *ions* separados por la acción de la corriente, *aparecen solamente en contacto con los electrodos* y que en el líquido intermediario *no hay apariencia de descomposición*.

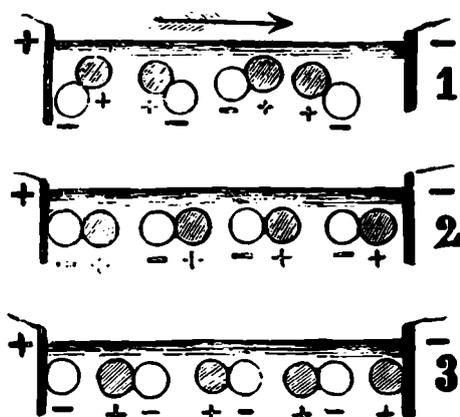
*Grotthuss* propuso una teoría, que después modificó *Clausius*, que es la siguiente:

Imaginemos que la corriente pasa por el *cloruro de estaño*. Cada molécula de este cuerpo, está compuesta de *un átomo de cloro* y *un átomo de estaño*.

El *cloro* se electriza *negativamente* y el *estaño positivamente* las moléculas están al estado neutro (*figura 141*), y orientadas al azar.

Cuando pasa la corriente, las moléculas se orientan

dirigiendo el *estaño* hacia el *catodo* y el *cloro* hacia el *anodo* (fig. 142).



Figs. 141, 142 y 143  
Teoría de Grotthuss

Al mismo tiempo las moléculas se disocian y la molécula cercana al anodo abandona su átomo de cloro que queda libre, mientras que su átomo de estaño se combina con el cloro de la segunda molécula (fig. 143) y así sucesivamente hasta que quedando libre el estaño de la

última molécula, éste se dirige hacia el *catodo*.

Estas moléculas que se han formado, vuelven á orientarse á su vez y á reproducir el fenómeno.

De estos cambios recíprocos, simultáneos y *renovados constantemente*, resulta que hay una *producción continua* de cloro que se dirige al anodo y una producción de estaño que vá al *catodo*.

—La teoría de *Clausius Arrhenius*, supone que el cuerpo disuelto en el agua, por ejemplo (*Cl Sn*) el cloruro de estaño, al disolverse es parcialmente descompuesto en sus dos componentes *Cl* y *Sn*, el primero cargado con electricidad negativa y el segundo con electricidad positiva.

El líquido no se manifiesta electrizado por que los dos iones están en igual número.

Además, cada uno de estos cuerpos no manifiesta sus propiedades naturales por que sus átomos están electrizados.

Estos iones se mueven en todas direcciones y al chocar con iones contrarios se combinan nuevamente, al mismo tiempo que otras moléculas se disocian.

Pero, si en ese instante se hace pasar una corriente los iones se orientan, el *Cl* (negativo) se dirige al polo *positivo* y el *Sn* (positivo) se dirige al polo *negativo*, donde pierden su carga eléctrica y se manifiestan con todas sus propiedades.

La corriente eléctrica estaría, pues, producida por la marcha de los iones con sus cargas eléctricas.

**212.—Acumuladores.**—Al hablar de la descomposición del agua hemos visto que el *hidrógeno* se dirigía hacia el catodo y el *oxígeno* hacia el anodo.

Ahora bien, supongamos que introducimos en el agua dos láminas de platino, y reunámoslas por medio de un hilo conductor. Como es natural *no habrá corriente eléctrica*, pues las dos láminas están al *mismo* potencial.

Pero, si antes de reunir las dos láminas, hacemos pasar por ellas una corriente de una pila, el *hidrógeno* del agua irá al polo *negativo*, y el *oxígeno* al polo *positivo*.

Luego, las dos láminas *han modificado su estado físico*, y por consiguiente estas láminas obrarán como si fueran dos cuerpos diferentes y entonces entre ellas se establecerá una fuerza electromotriz y se notará una corriente *inversa* á la corriente de la pila.

Esta corriente toma el nombre de *corriente secundaria* y se dicen que los electrodos están *polarizados*.

**213.—Acumulador Planté.**—Basándose en la existencia de estas corrientes secundarias, *Planté* ideó una *Pila secundaria*, cuyo efecto *aparente* es condensar ó *acumular* una gran cantidad de electricidad que será devuelta en el momento que se necesite.

La *pila secundaria de Planté* consiste en un simple *Voltámetro* con sus electrodos de *plomo*.

Está formado de dos láminas de plomo, que están enrolladas concéntricamente y que se mantienen

separadas una de otra por una lámina de caucho (fig. 144).

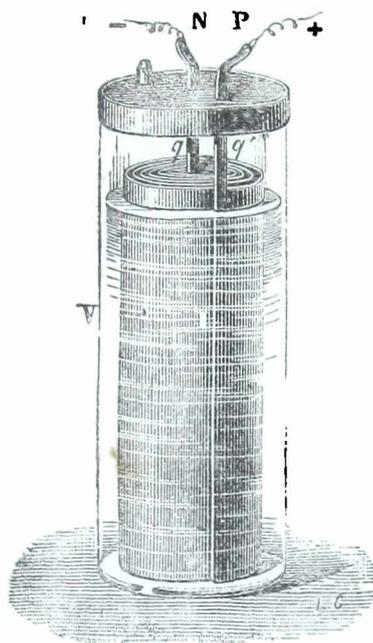


Fig. 144  
Acumulador Planté

Las dos láminas sumergidas en la vasija  $V$  que contiene agua acidulada están terminadas por dos bandas de plomo  $q$  y  $q'$  que constituyen los dos polos de la pila.

—Para *cargarlo*, basta poner los dos polos  $N$  y  $P$  de la pila en comunicación con los dos polos de dos elementos *Bunsen*, y el acumulador se irá cargando hasta que se produzca un desprendimiento de gas.

En ese caso, la lámina *positiva* se reviste de una capa de *peróxido de plomo*, hasta que se desprende el *oxígeno*

y la lámina *negativa*, que estaba oxidada por el aire, se pone brillante y se recubre de una capa de *hidrógeno*.

Separados los electrodos de la pila, el acumulador queda *cargado*.

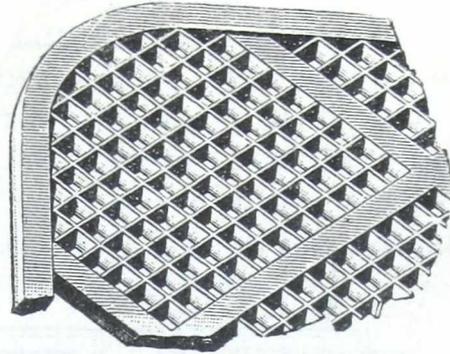
Para *descargarlo* ó hacer devolver la electricidad almacenada, bastará unir los electrodos y se tendrá una corriente secundaria inversa á la corriente de carga.

Estos acumuladores, se mejoran con el uso, pues por las cargas y descargas sucesivas, las láminas se hacen más porosas y permiten que las reacciones químicas se produzcan más profundamente.

Generalmente se *forma* el elemento, haciendo pasar alternativamente en sentido contrario la corriente de *dos elementos Bunsen*.

**214.— Modificaciones.** — Se han hecho una cantidad de tipos de acumuladores, los que varían sobre todo en el electrólito y en la disposición de las placas.

Sólo indicaremos la modificación de *Faure* por la cual se evita perder tiempo en la *formación* del elemento, pues consisten las láminas (*fig. 145*) en una especie de parrilla en cuyos alveolos se depositan pastillas de *minium* (*peróxido de plomo*), en vez de hacerlo depo-



**Fig. 145**  
Acumulador Faure



**Fig. 146**  
Par de planos de acumuladores

sitar por electrólisis. Estas pastillas se conservan en su lugar, recubriéndolas con una lámina de fieltro, con el objeto de que al caerse una de estas pastillas no establezca el contacto entre dos placas, lo que haría descargar el acumulador.

Para cargar estos acumuladores, basta hacer pasar la corriente una sola vez y entonces el *minium* de una de las láminas pasa á estado de bióxido y el minium de la otra lámina pasa al estado de plomo metálico.

Un cierto número de estos elementos constituyen un *acumulador*.

Para suprimir las soldaduras (*fig. 146*), se fabrican las placas de á pares, siendo una positiva y la otra la

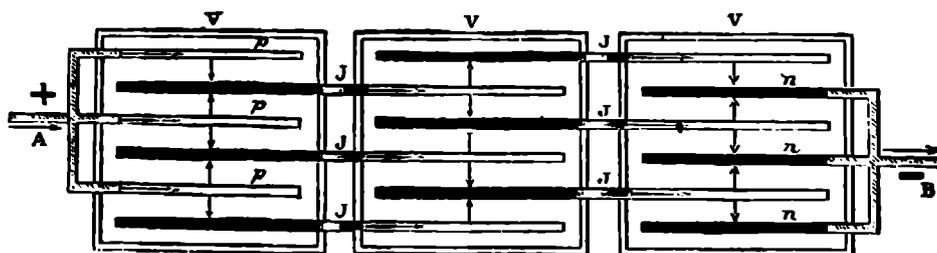


Fig. 147  
Batería de acumuladores

negativa y se disponen como lo indica la *figura 147*, colocando las láminas lo más próxima una de otra.

Hoy existen un infinito número de sistemas de acumuladores y el mercado industrial espera de una vez los renombrados acumuladores de Edison formados por Hierro-Nickel y Hierro-Cobalto.

**215.— Aplicaciones.**—Para que un acumulador dé resultado, es necesario:

1° Que almacene la mayor cantidad de electricidad, con un peso y volúmen mínimo.

2° Que tenga un buen rendimiento, es decir, que devuelva la mayor cantidad posible de corriente gastada en la carga.

3° Dar una corriente constante.

—La fuerza electromotriz de un acumulador de plomo es de 2,50 volts próximamente al empezar la descarga para quedar después constante en 1,90 y como los acumuladores se pueden acuplar como las pilas en

---

série ó en cantidad. resulta que si se carga un cierto número de acumuladores con *dos pilas Bunsen*, y después se unen en série, se puede obtener una fuerza electromotriz considerable.

**216.**—Las *aplicaciones* de los acumuladores son muy variadas.

Solo indicaremos:

1º Para la propulsión de tramways y buques y automóviles.

2º Para el alumbrado de los mismos.

3º Como reserva en las usinas en caso de un percance en el dinamo ó por un aumento repentino en el consumo.

4º Para aprovechar, en ciertos casos un exceso de fuerza motriz, etc.

---

## CAPÍTULO V

**ELECTRODINÁMICA**EFECTOS MECÁNICOS

---

**217.—Acciones mutuas de las corrientes.**—Al estudiar en el capítulo anterior algunos efectos de las corrientes, hemos observado ya algunos efectos mecánicos.

Sin embargo, las corrientes producen movimientos notables cuando se tienen *conductores móviles* atravesados por corrientes.

El estudio de esos fenómenos constituye una de las ramas de la Física, llamada *Electrodinámica*.

**218.**—Para estudiar las leyes de los movimientos producidos por las corrientes mutuamente, nos valdremos del aparato de *Ampere* (*fig. 148*) modificado por *Oberliane*.

Como vemos, el aparato consta de dos partes. Un marco *MN* al rededor del cual se envuelve varias veces un conductor aislado de cobre, constituyéndose así un *multiplicador* de la corriente y un conductor de cobre *BC* que es móvil alrededor de sus extremos terminados en punta y que están sumergidos en dos pocillos *a* y *c* llenos de mercurio.

El conductor *BC* y el marco *MN* están suspendidos por dos columnas metálicas *A* y *D*.

La corriente producida por 4 ó 5 elementos *Bunsen*, entra por la columna *A* sigue la marcha indicada por las flechas pasando por el conductor *BC*, pasa el pocillo *c* y

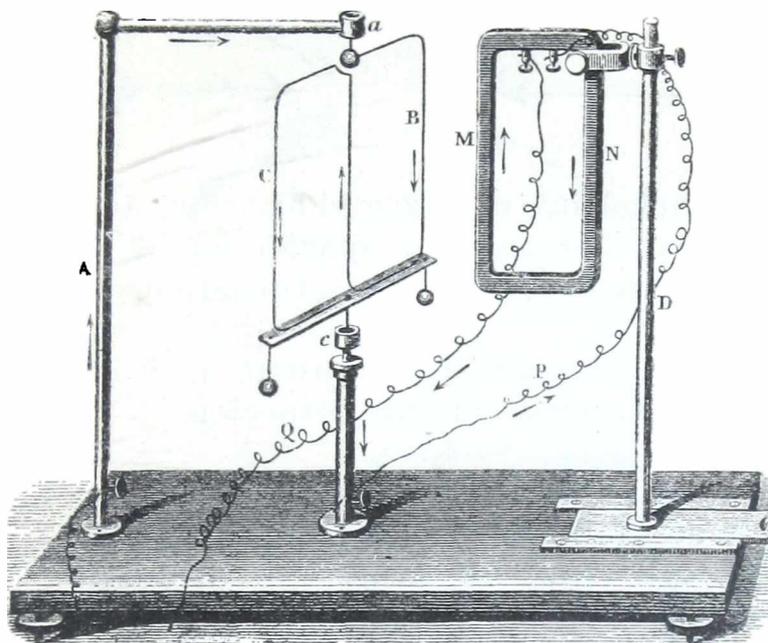


Fig. 148  
Aparato de Ampere

por el conductor *P* pasa al multiplicador *MN* donde dá varias vueltas hasta que se dirige al otro polo de la pila.

**219.**—De las múltiples acciones mútuas de las corrientes sólo estudiaremos las acciones de las *corrientes paralelas*, *corrientes angulares* y *corrientes sinuosas*.

**220.**—**Leyes de las corrientes paralelas.**—Las leyes son las siguientes:

1º *Dos corrientes paralelas del mismo sentido se atraen.*

2º *Dos corrientes paralelas de sentido contrario se repelen.*

Estas leyes podemos representarlas gráficamente así:



Para comprobarlo nos bastará hacer pasar la corriente según está dispuesto el aparato en la *fig. 148* y veremos que el conductor *B* es rechazado por el conductor *M*.

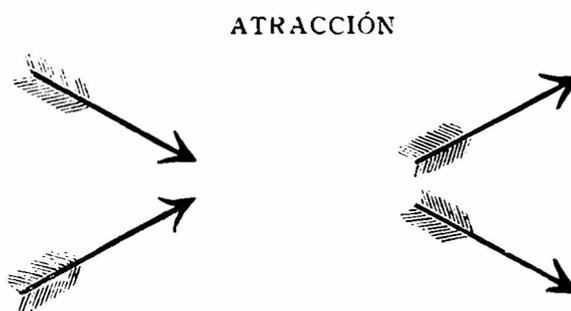
Si ponemos el conductor *N* frente al *B* ó invertimos la corriente, veremos que hay atracción.

**221.—Leyes de las corrientes angulares.**—Estas leyes se enuncian de la siguiente manera:

1<sup>ª</sup> *Dos corrientes no paralelas se atraen, si las dos concurren ó las dos se alejan de su punto de cruzamiento.*

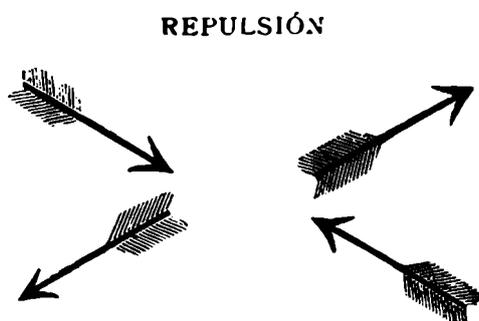
2<sup>ª</sup> *Dos corrientes no paralelas se repelen, si mientras una se aleja de su punto de cruzamiento la otra se acerca.*

Se puede representar de una manera gráfica así:



Se comprueba por medio del mismo aparato de la *fig. 148*, con la diferencia de que el conductor *CB* se le dá la forma indicada en la *fig. 149*.

En el caso de la figura, como una corriente se acerca



y la otra se aleja de su punto de cruzamiento, resulta que habrá repulsión.

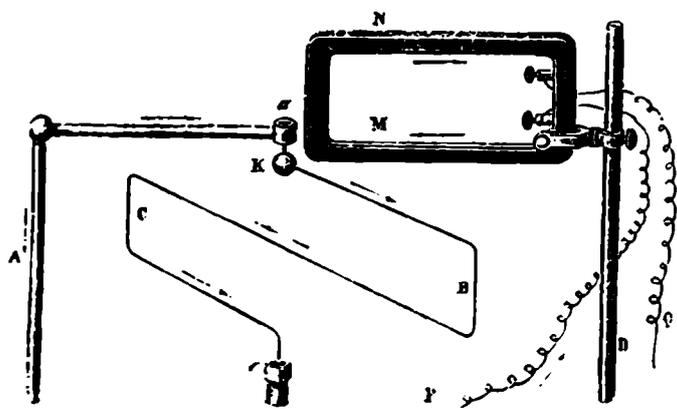


Fig. 149  
Corrientes angulares

**222.—Ley de las corrientes sinuosas.—1°** *Dos corrientes iguales y de sentidos contrarios producen acciones iguales y de sentido contrario.*

*2° Una corriente sinuosa produce el mismo efecto que una corriente rectilínea de misma intensidad y de mismo sentido, con tal que tenga las mismas extremidades y que se separe poco.*

Si á un conductor móvil presentamos el conductor *AOB* (fig. 150) plegado de manera que las ramas *AO*

y  $OB$  estén cercanas, no se producirá efecto alguno, por que sus acciones son iguales y contrarias.

Análogamente, si presentamos al conductor móvil el conductor  $AOB$  (fig. 151) plegado sobre sí mismo, pero de manera que la rama  $OB$  sea sinuosa, el efecto también será nulo, luego, la corriente sinuosa *ha producido sí mismo efecto* que la rectilínea.

**223.—Conmutador.**—Para verificar los experimentos anteriores y otros que indicaremos más adelante es necesario poder invertir la dirección de la corriente, á cuyo efecto basta interponer en el circuito, un *conmutador* (fig. 152), á cuyo efecto la corriente llega por  $P$  pasa á la chapita metálica al eje  $O$ , á la lengüeta  $u$ , á la lámina  $r$  y por  $B$  vá al aparato.

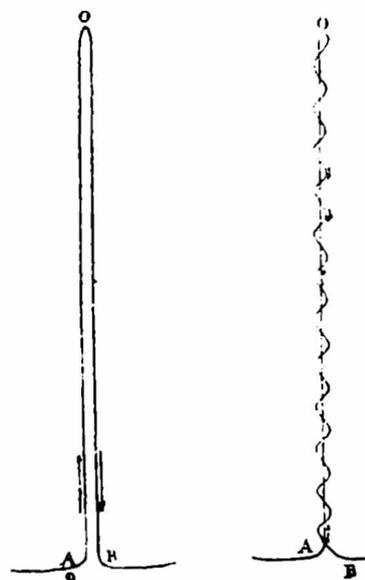


Fig. 150

Fig. 151

Corrientes sinuosas

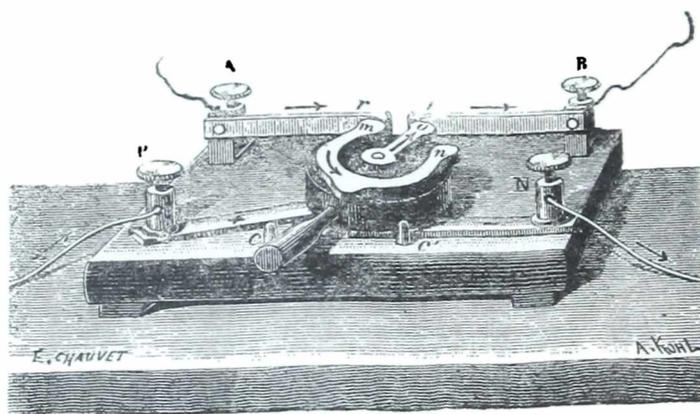


Fig. 162

Conmutador

Vuelve por  $A, r, m$ , chapita—, tornillo  $N$  y de allí á la pila.

La manija  $c$  y el disco del conmutador son de ebonita (aislador); el eje  $O$  es metálico, está en contacto con la chapita  $p$  y la lira  $mn$  está en contacto por frotamiento con la chapita—.

Si movemos la lira por medio del manubrio  $c$  de manera que la lengüeta  $u$  esté en contacto con  $r$  y el extremo  $n$  con  $r'$  la corriente seguirá la marcha;  $P$ , chapa  $+$ ,  $O$ ,  $u$ ,  $r$ ,  $A$ , aparato,  $B$ ,  $r'$ ,  $n$ , chapa  $-$ ,  $N$  y pila.

Luego, en el primer caso la corriente iba de  $B$  á  $A$  pasando por el aparato y en este último caso, vá de  $A$  á  $B$  pasando también por el aparato.

Colocando la lengüeta  $u$  entre las dos chapas  $r$  y  $r'$  se interrumpe la corriente.

**224. --Acción de la tierra sobre las corrientes.**—Se comprueba que la tierra ejerce acción sobre las corrientes y su acción es análoga á la ejercida *por una corriente indefinida, perpendicular al meridiano magnético y dirigida del Este al Oeste magnéticos.*

Las leyes son las siguientes:

1<sup>ª</sup> *Toda corriente vertical móvil, se sitúa bajo la acción de la tierra, en un plano perpendicular al meridiano magnético y se sitúa después de algunas oscilaciones al Este de su eje de rotación, si la corriente es descendente y al Oeste si la corriente es ascendente.*

2<sup>ª</sup> *La acción de la tierra sobre una corriente horizontal móvil, es imprimirle un movimiento de rotación del Este al Oeste pasando por el Norte, cuando la corriente horizontal se aleja del eje de rotación y del Oeste al Este cuando la corriente se acerca al eje.*

3<sup>ª</sup> *Si el circuito es cerrado y móvil alrededor de un eje vertical, la acción de la tierra es orientarla y colocarla en una dirección perpendicular al meridiano magnético; de manera que la corriente sea descendente al Este de su eje, para un observador que mira al Norte, y ascendente al Oeste.*

No entramos á verificar experimentalmente estas leyes, porque se haría demasiado extenso este capítulo.

**225.—Corrientes Astáticas.** — Conocida esta acción directriz de la tierra sobre las corrientes, es necesario, para hacer los experimentos de electrodinámica, sustraer las corrientes á esta acción terrestre, lo cual se obtiene dando al conductor una forma simétrica con respecto al eje de suspensión. como se ha hecho en los aparatos indicados en las *figuras 148 y 149*.

En este caso, la acción de la tierra sobre las dos partes del circuito siendo iguales y contrarias, se anulan.

---

## CAPÍTULO VI

## ELECTROMAGNETISMO

## ACCIÓN DE LAS CORRIENTES SOBRE LOS IMANES

**226.—Experimento de Ørsted.**— La acción de las corrientes sobre los imanes, es de *orientación*, de *rotación* y de *atracción ó repulsión*.

Nosotros sólo estudiaremos aquí la primera de las acciones.

Esto se verifica por el experimento de *Ørsted*, que consiste (*fig. 153*) en suspender una aguja *a b* sobre un eje vertical y colocar sobre ella un hilo conductor *N S*.

Se mueve el aparato hasta colocar el conductor en la dirección del meridiano magnético, es decir, hasta que el hilo y la aguja sean paralelas.

Si enseguida se hace pasar la corriente, se observará que la aguja se desvía, tanto más, cuanto más intensa es la corriente y si la corriente es muy intensa, la aguja se colocará *perpendicularmente* á la dirección de la corriente.

Conocido este efecto de las corrientes sobre los ima-

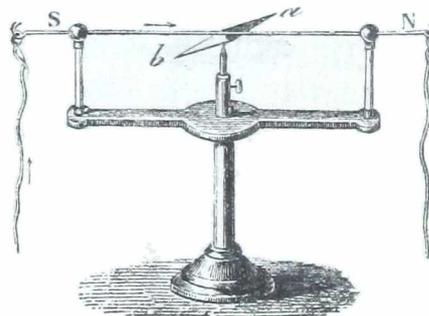


Fig. 153  
Experimento de Ørsted

nes, podría explicarse la orientación de los imanes por la tierra, por la acción de una corriente eléctrica terrestre que recorriese el ecuador magnético ó las paralelas.

Esta acción de las corrientes y los imanes es *mútua*, es decir, que si se tiene una corriente móvil y se le presenta un imán, la corriente se colocará perpendicularmente al imán.

**227.—Regla de Ampere.**—En cuanto al sentido de la desviación, *Ampere* dió una regla diciendo que:

*El polo norte de la aguja imantada es desviado siempre á la izquierda de la corriente.*

La izquierda de la corriente (*fig. 154*), es la izquierda de un observador acostado sobre la corriente de ma-

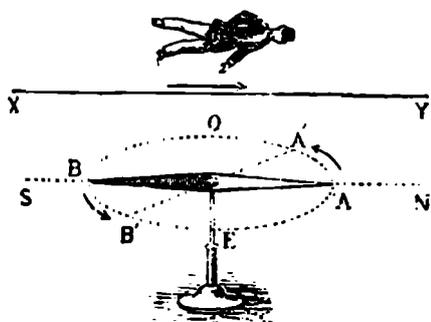


Fig. 154

Regla de Ampere

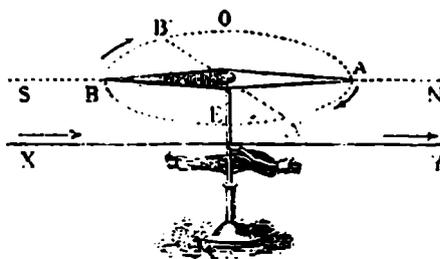


Fig. 155

nera, que la corriente entre por los piés y salga por la cabeza estando el observador mirando á la aguja. De modo que la aguja *AB* tomaría la posición *A'B'*.

En la *fig. 155* se nota que la desviación se hace en otro sentido, pero siempre hacia la izquierda de la corriente.

**228.—Solenoides.**—Se dá el nombre de *Solenoides* á un conjunto de corrientes *circulares, iguales*, muy cercanas una de otra, equidistantes, *paralelas*, que tienen sus centros colocados sobre una misma línea recta ó

curva á la cual son perpendiculares y que están recorridas por corrientes de igual intensidad y sentido.

En la práctica, este aparato sería irrealizable, es *ideal*, como lo es el *péndulo simple*.

Sin embargo, se construye un aparato llamado *cilindro electrodinámico* ó *solenoides*, que goza sensiblemente de las mismas propiedades que el solenoide ideal.

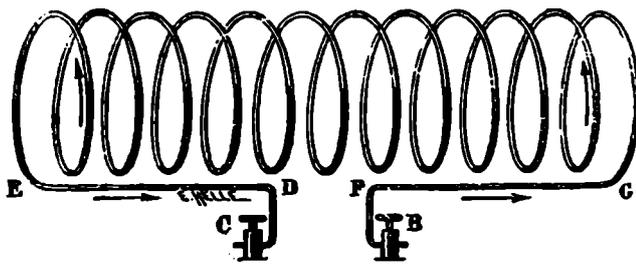


Fig. 156  
Solenoides

Generalmente, consiste en un conductor (*figura 156*) arrollado en espiral y cuyos extremos libres se re-

pliegan sobre sí mismos para que se anule la acción de la corriente rectilínea

**229.—Acción de la tierra sobre los solenoides.**—Si suspendemos un solenoide por su centro de gravedad, se observará:

1º Que el eje del solenoide, después de algunas oscilaciones, se coloca en la dirección del meridiano magnético como si fuera una aguja imantada.

2º Que siempre el mismo extremo del solenoide es el que se dirige hacia el norte.

3º Que si se invierte la corriente, el aparato gira de 180º.

Luego, la tierra obra sobre un solenoide, como si este fuera un imán.

—Este fenómeno de la orientación de un solenoide, se comprende fácilmente, recordando lo que digimos respecto á la orientación de un circuito cerrado por la tierra, que se colocaba perpendicularmente á la dirección del meridiano magnético y como aquí tenemos una serie de circuitos circulares, éstos se colocarán perpen-

dicularmente al meridiano, luego, su eje, se colocará en la dirección del meridiano magnético.

—Vemos también que el solenoide tiene dos polos, Norte y Sud.

Se reconoce el polo *Sud* por ser aquél en que mirando el solenoide de frente, la corriente marcha en el sentido que se mueven las agujas de un reloj.

**230.—Acción de la corriente sobre los solenoides**—Si se coloca un conductor sobre un solenoide, paralelamente á su eje, se verá que el solenoide se desvía y se coloca perpendicularmente á la corriente, lo mismo que sucedía cuando se trataba de un imán.

Si en vez de hacer pasar la corriente paralelamente al eje del solenoide, se hace pasar verticalmente por un costado, se obtendrá una atracción ó una repulsión según que las dos corrientes sean de un mismo sentido ó de sentido contrario.

**231.—Acciones reciprocas de un imán y un solenoide.**—Si frente á un solenoide móvil se le acerca un imán, se

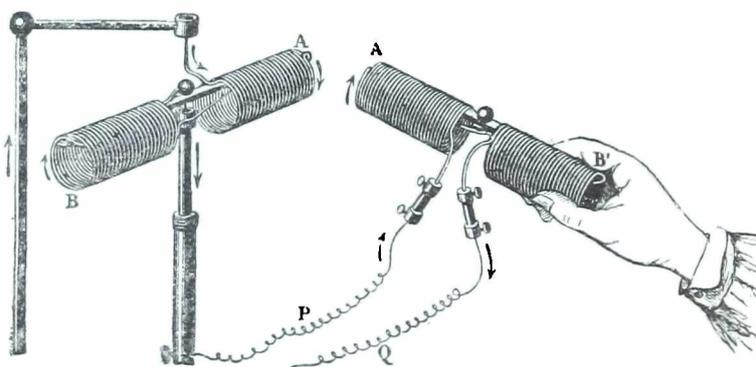


Fig. 157

Acción de un solenoide sobre un solenoide

verá que el solenoide es atraído ó rechazado según que los polos del imán y solenoide sean diferentes ó semejantes.

Siguen la misma ley que si se tratara de dos imanes, es decir:

*Los polos del mismo nombre se rechazan y los de nombre contrario se atraen.*

**232.—Acciones mútuas de dos solenoides.**—Si se tiene en la mano un solenoide (*fig. 157*) y se pone uno de sus extremos frente al extremo de otro solenoide móvil, se obtendrá una atracción ó una repulsión según estén frente á frente dos polos diferentes ó dos polos semejantes.

Este resultado era fácil preveerlo, debido á la dirección de las corrientes en los extremos puestos en presencia.

**233.—Teoría del Magnetismo de Ampere.**—Esta serie de experimentos que acabamos de hacer con los solenoides, nos hacen notar la absoluta semejanza que nos presentan los solenoides y los imanes.

*Ampere* asimila un imán á un haz de solenoides.

Supone que existen corrientes eléctricas que giran alrededor de las moléculas de una sustancia magnética.

Estas corrientes están dirigidas al azar en todos sentidos y no ejercen acción exterior.

Cuando la barra magnética está sometida á la acción de una influencia magnética, las corrientes moleculares son orientadas y se ven obligadas á circular todas en el mismo sentido y en planos paralelos, entonces se forman en el interior de la barra una serie de solenoides ó de filetes magnéticos, que tienen sus polos del mismo nombre dirigidos en el mismo sentido.

—Estos filetes magnéticos no son paralelos en toda su longitud, pues en los extremos los polos del mismo nombre se repelen, los filetes magnéticos se encurvan, se separan del eje magnético y entonces el punto de aplicación de la resultante de las fuerzas magnéticas, ya no está en el extremo de barra sinó en un punto más cercano de la sección mediana.

Esta es la *diferencia* más notable entre los imanes y los solenoides *cuyos polos están en el mismo extremo*.

—La teoría de *Ampere* permite también explicar porque *en el hierro dulce no persiste la imantación* y en el acero persiste durante un tiempo más ó menos largo, diciendo, que en el hierro dulce, las corrientes moleculares toman inmediatamente su posición primitiva, mientras que en el acero la orientación se conserva durante un cierto tiempo.

---

## CAPÍTULO VII

## IMANTACIÓN POR LAS CORRIENTES

**234.—Procedimiento de imantación.**—Puesto que una corriente eléctrica dá lugar á un *campo magnético*, resulta que también debe dar lugar á fenómenos de *inducción magnética*.

Efectivamente, si introducimos un conductor de hierro dulce en la limadura de hierro y hacemos pasar por el conductor una corriente, veremos que la limadura queda adherida al conductor, *mientras pasa la corriente*, y cae inmediatamente que cesa de pasar la corriente.

Análogamente, si colocamos una aguja de *hierro dulce*, en cruz con una corriente, la aguja se convertirá en un imán, pero cesará de serlo cuando cesa la corriente.

Si la aguja fuese de *acero*, se convertirá en imán más lentamente, pero después que cesa la corriente, persistirá la imantación.

Finalmente, puede imantarse una barra de hierro ó acero introduciéndolo en el interior de un tubo de vidrio y arrollando sobre éste, (fig. 158) un conductor eléctrico. En cuanto pasa la co-

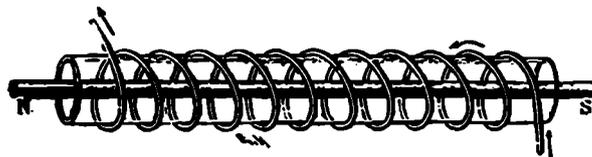


Fig 158  
Imantación por la corriente

rriente, la barra se convierte en un imán que es persistente si es de *acero*, y si es de *hierro dulce* desaparece toda imantación una vez que cesa de pasar la corriente.

El enrollamiento del conductor puede hacerse de dos maneras. De izquierda á derecha pasando por arriba, como indica la figura y entonces se tiene una *hélice destrorsum* ó de izquierda á derecha pasando por debajo, en cuyo caso se tiene la *hélice sinistrorsum*.

En el primer caso, el polo *Norte* de la aguja corresponde al extremo por donde entra la corriente y en el segundo corresponde al extremo por el cual sale la corriente.

**235. —Electroimanes.**—La propiedad que posee el hierro dulce de adquirir *temporariamente* la imantación, se aplica á la construcción de los *electroimanes*.

Se construyen, introduciendo la barra de *hierro dulce*, llamada *núcleo*, dentro de un cilindro de madera, vidrio ó ebonita y arrollando un hilo conductor aislado en hélice destrorsum y sinistrorsum, sucesivamente, con lo cual se aumenta su poder, pues las acciones de las hélices se suman.

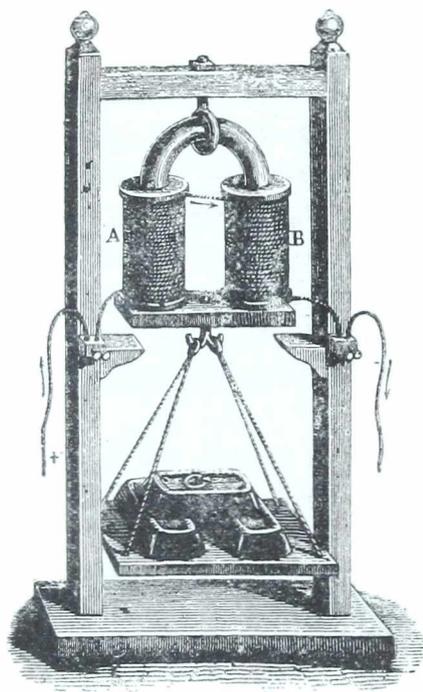


Fig. 159  
Electroimán

Se construyen, introduciendo la barra de *hierro dulce*, llamada *núcleo*, dentro de un cilindro de madera, vidrio ó ebonita y arrollando un hilo conductor aislado en hélice destrorsum y sinistrorsum, sucesivamente, con lo cual se aumenta su poder, pues las acciones de las hélices se suman.

—Otras veces se construyen (*fig. 159*) electroimanes en forma de herradura y el arrollamiento se hace en las dos ramas en sentido inverso, de tal manera que si se supusiera enderezada la barra, el arrollamiento fuera todo en el mismo sentido.

Generalmente se unen los dos polos del electroimán por una chapa de hierro dulce que sirve para suspender de ella los pesos.

—Otras veces, por comodidad, se construyen los electroimanes, colocando dos núcleos de hierro fijados á una chapa que se llama *culata* y arrollando en cada núcleo dos conductores formando hélices destrorsum y sinistrorsum.

**236. —Magnetismo remanente.**—Se llama *magnetismo remanente* á una débil imantación que conserva el electroimán después de haber cesado la corriente.

Esto es debido á que el hierro no es perfectamente puro, y si se usa el hierro perfectamente puro, se notará también el magnetismo remanente, siempre que la armadura se haya puesto en contacto directo con el núcleo.

La causa de esto es que la armadura estando imantada por influencia, en el momento de la ruptura del contacto, los dos polos de la armadura reaccionan sobre el electroimán para conservar los dos polos de nombre contrario.

En ciertos casos, como cuando se necesita que los electroimanes funcionen *intermitentemente*, el magnetismo remanente es nocivo y este inconveniente se evita interponiendo entre el electroimán y la armadura una lámina de papel ó una chapita de cobre, para evitar el contacto directo.

**237. —Sonidos y movimientos producidos por la imantación.**—Se ha observado que cuando una barra de hierro dulce se imanta por la acción de la corriente; se percibe un sonido neto, que se produce al abrirse ó cerrarse el circuito.

*Wertheim*, ha encontrado que los hilos de hierro después de varias imantaciones y desimantaciones *pierden su elasticidad*, y *Joule* ha constatado que el diámetro de los hilos de hierro disminuye, pero aumentan de longitud. Se enderezan espirales de hierro que se imantan.

Esto vendría á confirmar la hipótesis de *De la Rive* que lo atribuye á un *movimiento molecular* en los hi-

los de hierro en el momento de su imantación y su desimantación.

**238.—Potencia de los Electroimanes.**—Las leyes sobre los Electroimanes obtenidas por *Lenz* y *Jacobi* no son más que aproximadas y son las siguientes:

*1ª La intensidad del campo magnético de un electroimán, es proporcional á la intensidad de la corriente.*

Esta ley es cierta para las corrientes débiles, pues si la intensidad de la corriente vá aumentando más y más, llega un momento en que por más que se aumente, no se aumenta la intensidad del campo magnético. En ese caso el electroimán *está saturado*.

*2ª Para una corriente de intensidad determinada, la intensidad del campo magnético es proporcional al número de espiras de la hélice magnetizante.*

Esta ley es cierta, mientras no pase de un cierto número de espiras, pues á medida que aumentan éstas, la acción disminuye por efecto de la mayor distancia al núcleo.

*3ª La intensidad del campo magnético, es proporcional á la raíz cuadrada del diámetro de la barra.*

Esta ley es cierta para las corrientes débiles, pues si la corriente es muy intensa, la corriente del electroimán crece más ligero que lo que indica la ley.

Finalmente: el cálculo y la experimentación demuestran que:

—*El maximum de potencia de un electroimán, se obtiene haciendo que la resistencia de la bobina sea igual á la suma de las resistencias exteriores.*

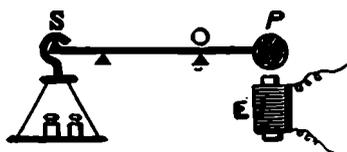


Fig. 160  
Potencia de un electroimán

**239.**—Para determinar la potencia de un electroimán, podemos aplicar el siguiente procedimiento (*fig. 160*): Se toma una barra *S P* que puede girar alrededor

del punto  $O$ . Frente al punto  $P$  se coloca el electroimán cuya potencia se quiere determinar y se hace pasar la corriente.

El disco  $P$  de hierro es atraído, y entonces en el platillo  $S$  se colocan pesos hasta que el disco  $P$  se separe del electroimán.

Por consiguiente, como conocemos las distancias  $OP$ ,  $OS$  y el peso que llamaremos  $Q$ , se tendrá la relación

$$F \times OP = Q \times OS$$

de donde

$$F = \frac{Q \times OS}{OP}$$

luego tendremos determinada la potencia  $F$  del electroimán, en función de cantidades conocidas.

**240.—Sustancias diamagnéticas y paramagnéticas.**—Se llaman sustancias *diamagnéticas* aquellas que son *rechazadas* por un imán y *paramagnéticas* ó *magnéticas* las que son *atraídas*.

Entre las primeras sustancias están el *bismuto*, *plomo*, *antimonio*, *zinc*, *cobre*, *crystal de roca*, *vidrio*, *sal marina*, *carbón*, *azufre* y las sustancias orgánicas como el *carbón*, *azúcar*, *madera*, *resina*, *cuero*, etc.

Sustancias *paramagnéticas* son el *hierro*, *nickel*, *cobre*, *romo* y la mayor parte de los metales.

Las propiedades de las sustancias diamagnéticas son muy débiles, por cuyo motivo es muy difícil ponerlos en evidencia.

El cuerpo más diamagnético es el *bismuto*.

En general, puede aceptarse que todos los cuerpos, pueden ser influenciados por un imán poderoso.

**241.—Timbres eléctricos.**—Estos aparatos de un uso tan generalizado están basados en la propiedad de los elec-

troimanes de convertirse en imanes cuando pasa la corriente por el hilo de los carretes ó bobinas, y desimantarse cuando cesa la corriente.

Consiste este aparato en dos bobinas *BB* fijas á una escuadra de hierro *MM*.

Frente á los polos de las bobinas hay una armadura *A* sostenida por un resorte *R* que la mantiene alejada del electroimán.

El extremo de la armadura termina en un martillo *d* que debe golpear sobre la campana *c* cuando la armadura *A* es atraída por el electroimán.

La corriente de la pila entra por el tope *T* y sigue la marcha *T H B B C R A S T*.

En *S* hay una punta donde viene á dar el hilo *T*.

En la posición indicada en la *figura 161* el circuito está cerrado y pasando la corriente por las bobinas, su núcleo se convierte en imán luego la armadura *A* es atraída hácia *B*. Por consiguiente el contacto en *S* se ha interrumpido y no pasando corriente el imán cesa, el elástico *R* obliga á la armadura *A* á volver á su primitiva posición donde vuelve á cerrarse el circuito, etc.

Dos elementos de pila y un botón para cerrar el circuito complementan el sistema.

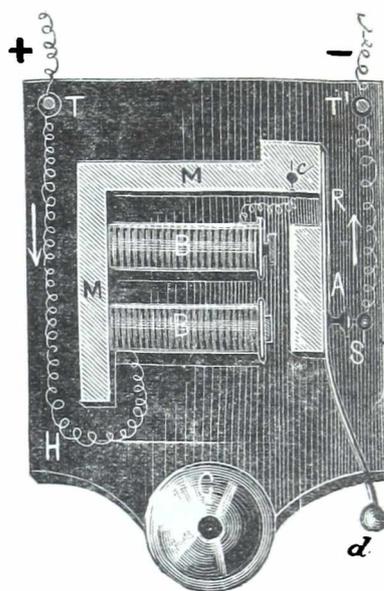


Fig. 161  
Timbre eléctrico

## CAPÍTULO VIII

MEDIDA DE LA INTENSIDAD DE LAS  
CORRIENTES

**242.** — Para *medir la intensidad* de una corriente, aplicaremos algunos de los efectos que la corriente puede producir.

— Así, la *acción* de las corrientes sobre los *imanes* nos permite utilizar para dicha medida los *galvanómetros* y la *Brújula de las tangentes*.

— Las *acciones químicas* nos permiten utilizar los *Voltímetros*.

— Las *acciones mutuas* de las *corrientes* nos dan los *Electrodinómetros*.

— Las *acciones caloríficas* nos permiten construir los aparatos destinados á medir la intensidad de las corrientes alternativas.

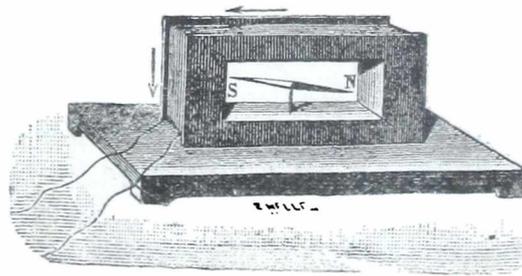


Fig 162  
Galvanómetro de Schweigger

**243.** — **Galvanómetro ordinario.** — La acción de una corriente sobre una aguja imantada puede ser

virnos para revelar la *presencia* de una corriente, determinar el *sentido* y *medir la intensidad*.

El galvanómetro ordinario, ó de *Schweigger*, (*figura 162*), llamado también *multiplicador*, consiste en una

aguja imantada, suspendida en un eje vertical que pasa por el centro de un cuadro de madera. Alrededor de este cuadro se envuelve el conductor por el cual pasa la corriente cuya intensidad se quiere determinar, y entonces el efecto de la corriente se multiplica, pues aplicando la regla de *Ampere*, todos los lados del cuadro tenderán á desviar el polo Norte de la aguja hacia un mismo lado.

Generalmente se dan varias vueltas del conductor alrededor del cuadro, y entonces puede apreciarse el efecto de las más débiles corrientes, pues las acciones de las espiras se suman, luego queda *multiplicada* la acción de la corriente.

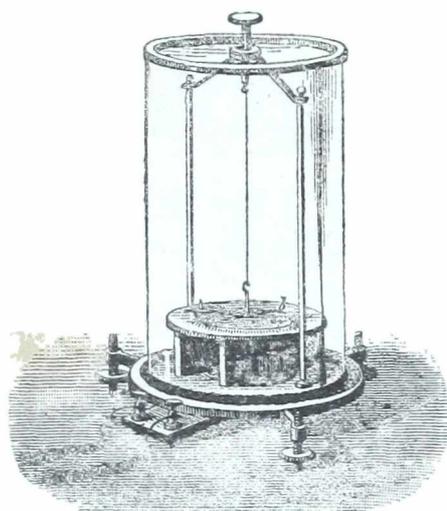


Fig. 163  
Galvanómetro de Nóbili

**244. — Galvanómetro de Nóbili.**—Este galvanómetro es *más sensible* que el anterior.

Para obtener esta sensibilidad, en vez de una sola aguja se usa un *sistema astático* (*fig. 163*), con lo cual la corriente

no tiene que vencer la acción directriz de la tierra, y además se hace que una de las agujas esté en el interior del multiplicador y la otra afuera. Estas agujas pueden girar recorriendo un círculo graduado que se conserva horizontal por medio de tres tornillos.

Conviene que el sistema *no sea completamente astático*, para que la tierra pueda orientarlo.

**245** —Para hacer que el aparato acuse hasta la más mínima desviación, se coloca en el hilo de suspensión (*fig. 164*) un espejito *m*, sobre el cual se hace caer

un rayo de luz, el que, reflejándose, hace caer la imagen del punto luminoso en una escala colocada á una cierta distancia.

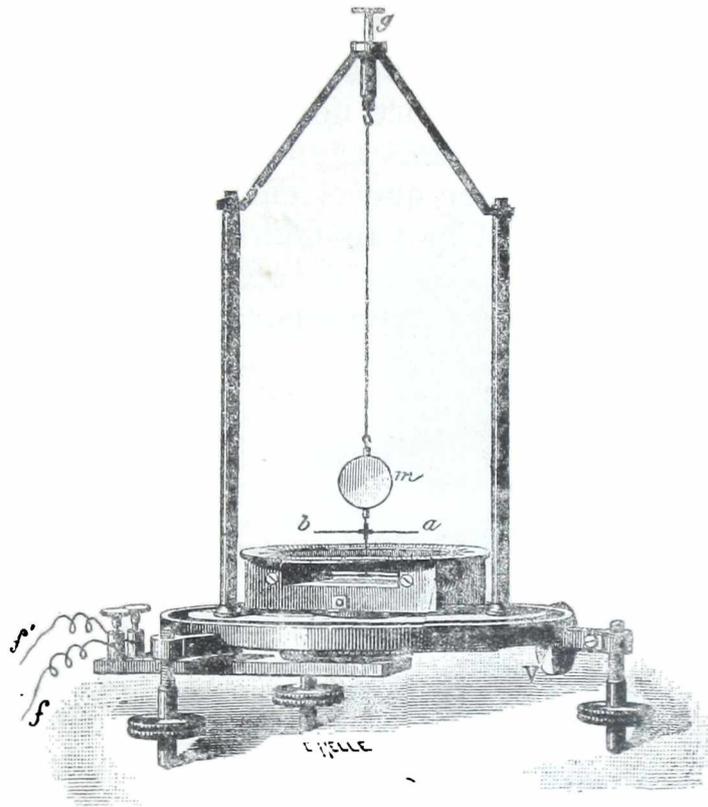


Fig. 164  
Galvanómetro de Nóbili

Cada desviación que experimenta la aguja por el paso de una corriente, produce la desviación del espejito, y esa desviación es amplificada por la reflexión del punto luminoso.

Es el sistema *lámpara-espejo-escala*.

**246. — Galvanómetro de Thompson.** — Este galvanómetro es uno de los más sensibles de los actualmente conocidos.

Para obtener esa sensibilidad (*fig. 165*), la aguja as-tática está formada por dos haces de pequeñas agujas, cada uno de cuyos haces está encerrado en un mul-

tiplicador, cuyos hilos están enrollados en sentido inverso.

Las agujas de este galvanómetro tienen 8 milímetros de largo y son sumamente livianas.

El espejo *M* se coloca entre las dos agujas, como se vé en la figura, ó bien (*fig. 166*) se coloca sobre una de las dos agujas.

Para evitar el tener que orientar el aparato, como en el galvanómetro de Nóbili, se obliga á la aguja á colocarse en la posición conveniente por me-

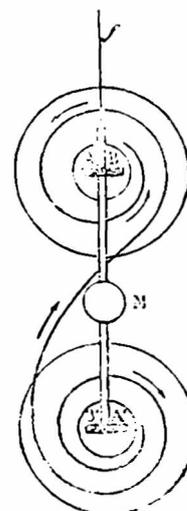


Fig. 165  
Galvanómetro de  
Thompson

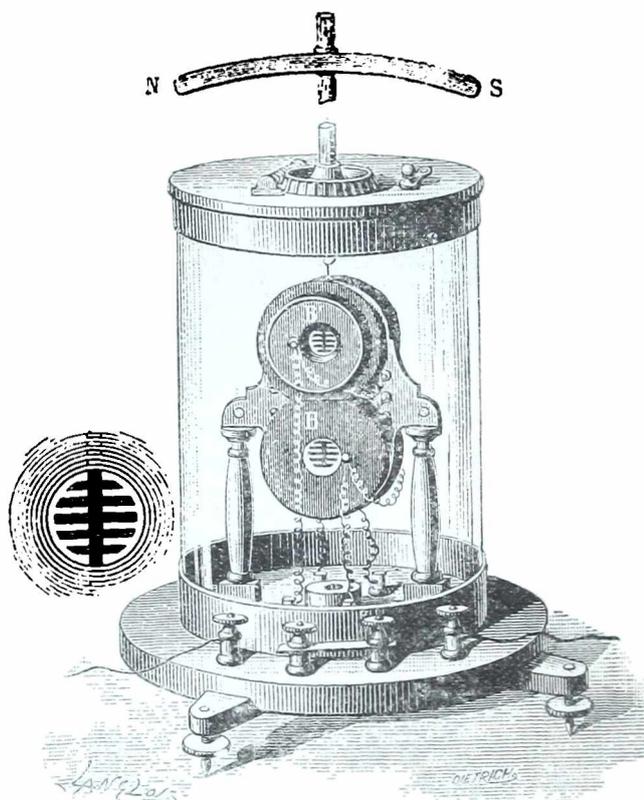


Fig. 166  
Galvanómetro de Thompson

dio de un *imán corrector NS*, que es móvil á lo largo y alrededor de un eje vertical.

El todo está sostenido por tres tornillos para horizontalizar el aparato, y se recubre con una campana de cristal para defenderlo de la intemperie.

La resistencia del aparato es considerabilísima, pues puede pasar de 10,000 *Ohms*.

Usando el espejo y la escala, puede apreciarse una corriente de un *milésimo de micro-ampere* con una desviación de 50 milímetros, si la escala está á un metro del aparato.

**247.—Caja de Resistencias.**—Ya dijimos que la *unidad práctica* de resistencia era el *Ohm*, que equivalía á la resistencia que presenta una columna de mercurio á 0°, de 106 centímetros de longitud y 1 milímetro cuadrado de sección.

Como estas columnas contenidas en tubos son muy frágiles, se forman bobinas con hilo de *maillechort*, de resistencias de 1, 10, 100 *Ohms* y de sus submúltiplos  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{100}$  de *Ohms*.

Todas estas bobinas (*fig. 167*) están dispuestas dentro de una caja con tapa de ebonita sobre la cual hay una chapa de cobre cuya resistencia al paso de la corriente puede considerarse como *nulo*.

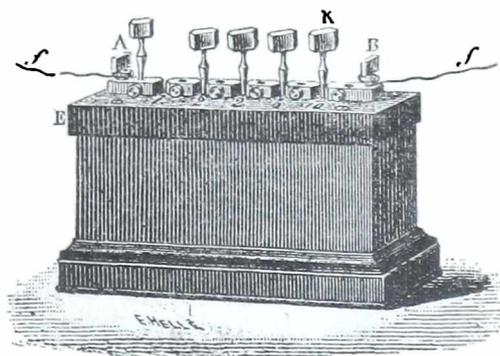


Fig. 167  
Caja de resistencia

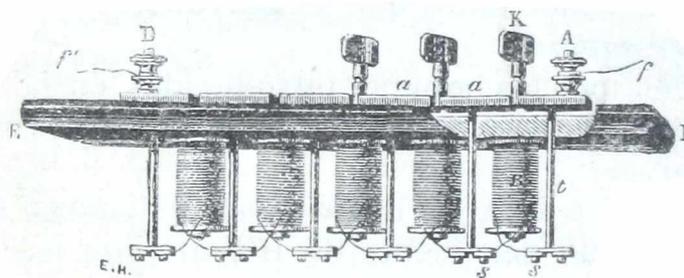


Fig. 168  
Caja de resistencia

Esta chapa de cobre *a a a.....* no es continúa sino que está dividida en varias zonas (*fig. 168*), que pueden reunirse en una sola por medio de las clavijas de cobre *K*.

En el interior de la caja se nota que la extremidad de cada dos bobinas está unida por medio de la varilla  $t$  á los blocs de cobre.

Imaginemos que todas las clavijas están en su lugar; entonces la corriente que entra por  $A$  y sale por  $D$  lo hace por la chapa de cobre que no presenta resistencia.

Si se saca la clavija  $K$ , la corriente baja por la varilla  $t$ , *recorre toda la bobina  $B$* , sube por la segunda varilla y sigue hasta  $D$  por la chapa de cobre.

Entonces al sacar la clavija  $K$  *hemos intercalado la resistencia de la bobina  $B$* .

Si sacáramos dos clavijas, intercalaríamos la resistencia de dos bobinas y así sucesivamente.

**248.**—Veamos ahora como podemos *determinar la resistencia de un conductor*, aplicando la caja de resistencia.

Para ello *se intercala el conductor* en un circuito que comprende *una pila constante* y un galvanómetro.

Se observa la desviación de la aguja.

Enseguida se saca el conductor en cuestión y se le sustituye por la *caja de resistencias*, en la cual se sacan clavijas hasta tanto que el galvanómetro acuse la *misma desviación*.

Entonces, por las bobinas introducidas en el circuito se tendrá el número de *Ohms* que corresponden á ese conductor.

Cuando se tratan de operaciones delicadas, se hace uso del método del puente de *Wheatstone*.

**249.**—**Brújula de las Tangentes.**—Este instrumento (*fig. 169*) consiste en una aguja imantada suspendida en un habitáculo sostenido por un pié vertical.

Alrededor del habitáculo hay un aro de cobre por el cual se hará pasar la corriente cuya intensidad se quiere medir.

La aguja imantada está en el centro del aro y es *muy pequeña*.

La fórmula que se aplica es

$$I = A \operatorname{tg} \alpha$$

siendo:

$I$  intensidad á medir,  $\alpha$  el ángulo de que se desvía la aguja y que se mide sobre el círculo horizontal.

$A$  la constante del aparato ó el factor de reducción.

—Para determinarlo se vé que

$$A = \frac{I}{\operatorname{tg} \alpha}$$

y si llegáramos á hacer  $\operatorname{tg} \alpha = 1$  resultaría

$$A = I$$

es decir:

La constante del aparato es igual á la intensidad que es capaz de desviar la aguja de un ángulo  $\alpha = 45^\circ$ , pues sólo así

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 45^\circ = 1$$

—Imaginemos que para un determinado aparato se haya obtenido

$$A = 4,50$$

Entonces, si al medir una corriente cualquiera se hallase que el ángulo es de  $20^\circ$  resultaría la intensidad

$$I = A \operatorname{tg} \alpha = 4,50 \times \operatorname{tg} 20^\circ$$

es decir:

$$I = 4,50 \times 0,3640 = 1,638 \text{ Amperes}$$

**250.**—Otro procedimiento para determinar la constante ó factor de reducción, consiste en medir la intensidad de la corriente por medio de un voltámetro y enseguida comparar el resultado del voltámetro con la desviación de la brújula de las tangentes.

—Supongamos que con un voltámetro se tiene

$$I = 3,54 \text{ Amperes}$$



Fig. 169  
Brújula de las Tangentes

y que esa misma corriente produce en la brújula una desviación de  $38^\circ$ , se tendrá

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 38^\circ = 0,7813$$

luego la fórmula

$$A = \frac{I}{\operatorname{tg} \alpha}$$

nos dá

$$A = \frac{3,54}{0,7813} = 4,53$$

**251 — Voltímetros.**— Los *voltímetros* son aparatos destinados también á medir la intensidad de la corriente, basándose en la *acción química* de la corriente, por la cual se descompone un cuerpo compuesto en sus dos *iones*.

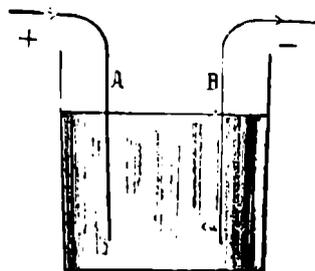


Fig. 170  
Voltímetro á cobre

El *voltímetro á cobre* (figura 170) consiste en una vasija que contiene *sulfato de cobre* disuelto y dos láminas *A* y *B* también de cobre.

Se pesa la lámina *B*. Se hace pasar la corriente y el sulfato de cobre se descompondrá depositándose sobre *B* una capa de cobre.

El peso de esta capa será proporcional á la intensidad de la corriente.

—Se sabe que *1 Ampere* en *1 minuto* deposita **0,0197** gr. de cobre.

Supongamos que la placa *B* pesa 184,22 gr. y que después de *20 minutos* de pasar la corriente se vuelve á pesar y se halla 185,07 gr.

Luego el cobre depositado en *20 minutos* será

$$185,07 - 184,22 = 0,85 \text{ gr.}$$

luego en un *minuto* sería

$$\frac{0,85}{20} = 0,0425$$

Luegò la intensidad de la corriente seria

$$I = \frac{0,0425}{0,0197} = 2,15 \text{ Amperes}$$

—El voltámetro á Plata (fig. 171) es análogo al anterior, con la diferencia de que el cuerpo que se descompone es el *nitrate de plata* y que se sabe que *1 Ampere* en un minuto deposita 0,0671 gr. de plata.

—Finalmente indicaremos el Voltámetro á gas detonante ó voltámetro de *Kohlrausch* (figura 172) en que *1 Ampere* en un minuto electroliza 0,005589 gr. de agua ó bien que:

*1 Ampere* en un minuto produce 10,43 cm<sup>3</sup> de gas detonante, ó sea de mezcla de dos partes de hidrógeno por una de oxígeno.

—Se comprende que cuanto mayor es la intensidad de la corriente, tanto mayor será la cantidad de agua descompuesta y por consiguiente de gas recogido.

El aparato de *Kohlrausch* consiste en un tubo graduado *B* que posee un termómetro *T* y dos láminas de platino ligadas á dos varillas *M* y *N* que se ponen en comunicación con la fuente de electricidad.

Se prepara una solución de ácido sulfúrico inglés de 3 volúmenes por 22 de agua y se llena de ese liquido la vasija *A* y el tubo *B*, el cual después se introduce en la vasija *A* como se ve en la figura.

Se saca el taponcito *P* para que el liquido soporte la presión atmosférica y el aparato está listo para funcionar.

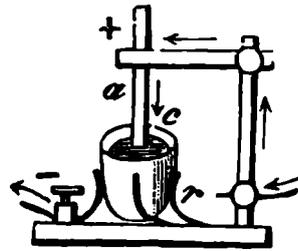


Fig. 171  
Voltámetro á plata

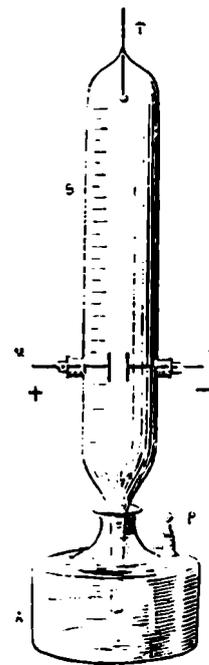


Fig. 172  
Voltámetro de  
Kohlrausch

Unanse las varillas  $M$  y  $N$  á la fuente de electricidad cuya *intensidad* se quiere medir; mídase la *temperatura*  $t$ , la *presión* barométrica  $P$ , el *tiempo* en minutos, la *altura del agua* que queda en el tubo, la *tensión máxima*  $f$  del vapor de agua á la temperatura  $t$  y el *volúmen*  $V$  del gas formado.

—Supongamos que en un experimento se tiene en *10 minutos* formado un volumen

$$V = 75 \text{ cm}^3$$

$$t = 20$$

$$P = 745 \text{ mm}$$

$$a = 125 \text{ mm de altura del agua}$$

ó sea 
$$= \frac{125 \text{ mm}}{13,56} = 9,2 \text{ mm de mercurio}$$

$$f = 17,4 \text{ mm, tensión del vapor de agua}$$

en el interior del tubo á  $20^\circ$  dado por las tablas.

—Luego la presión  $H$  que soporta el gas formado será

$$H = 745 - (17,4 + 9,2) = 718,4 \text{ mm}$$

y reduciéndole á  $0^\circ$  sale

$$H_0 = \frac{718,4}{1 + 0,0018018 \times 20} = 715,8 \text{ mm}$$

luego el volúmen del gas reducido á  $0^\circ$  y al nivel del mar sería

$$V_0 = \frac{P_0 V}{760(1 + \alpha t)} = \frac{715,8 \times 75}{760(1 + 0,0036 \times 20)} = 65,8 \text{ cm}^3$$

luego

$$I = \frac{65,8}{10 \times 10,43} = \frac{65,8}{104,3} = 0,63 \text{ A}$$

—Más adelante indicaremos otro procedimiento para determinar también con gran exactitud la intensidad de una corriente.

## CAPÍTULO IX

## APARATOS DE MEDIDAS ELÉCTRICAS

**252.—Corrientes Derivadas.**—Si tenemos un caño  $A B$  (fig. 173-1) por el cual pasa una corriente de agua y hacemos que entre  $A$  y  $B$  se bifurque el caño en dos ramas  $D$  y  $C$ , el gasto total del caño se aumenta, pues ha disminuído su resistencia.

Análoga cosa sucede si tenemos un conductor  $A B$  (fig. 173-2) é introducimos una derivación  $C$ , la intensidad total de la corriente habrá aumentado por haber disminuído la resistencia.

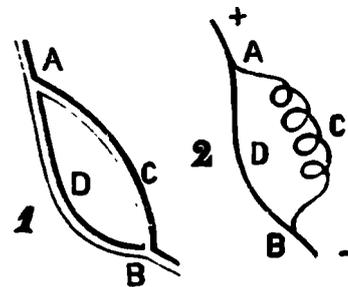


Fig. 173  
Corrientes derivadas

Si llamamos  $i$  é  $i'$  la intensidad de las derivaciones é  $I$  la intensidad del circuito principal se tiene:

$$I = i + i'$$

es decir, que la suma de las intensidades de las derivaciones es igual á la intensidad del circuito principal.

Si indicamos con  $r$  y  $r'$  las resistencias de las derivaciones, se tendrá la ley de las corrientes derivadas, representadas por la expresión:

$$\frac{i}{i'} = \frac{r'}{r}$$

es decir, que las intensidades de las derivaciones son inversamente proporcionales á su resistencia.

Esta propiedad se aplica en la construcción de los *Shunts* ó *Derivaciones*, destinadas á hacer que un galvanómetro pueda medir la intensidad de cualquier corriente por fuerte que sea.

**253.—Shunts.**--Si en un galvanómetro sensible lanzamos una corriente demasiado intensa, puede inutilizarse, pues el hilo del multiplicador se calienta, la imantación de la aguja varía y sus oscilaciones serían tan bruscas que sería imposible medirla.

Por medio del *Shunt* ó *Derivaciones*, se puede reducir la corriente á  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{100}$ ,  $\frac{1}{1000}$ , etc., intercalando entre el galvanómetro y la pila una bobina cuya resistencia sea  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{99}$ ,  $\frac{1}{999}$ , etc., de la resistencia del galvanómetro.

El aparato (*fig. 174*) análogo á una caja de resistencia, consiste en una caja cilíndrica en cuya tapa superior

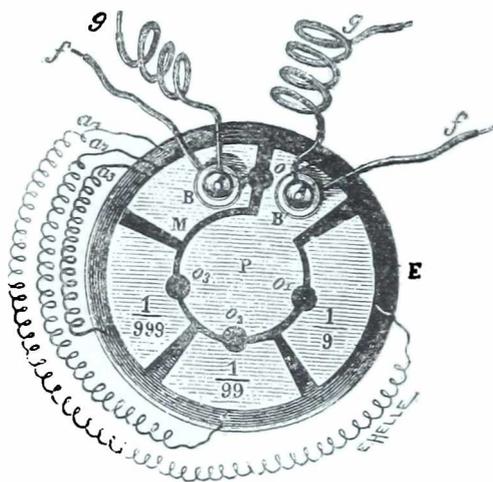


Fig. 174  
Shunt

tiene 5 chapas de cobre. En las chapas *P* y *M* hay dos terminales *B* y *B'*, donde vienen á unirse los electrodos *f/f* de la pila y de donde salen los conductores *g, g*, que van al galvanómetro.

Si ponemos una clavija en *O* la corriente de la pila pasará directamente de la chapa *P* á la

*M*, sin pasar al galvanómetro, pues la chapa de cobre no presenta resistencia sensible.

En cambio, pongamos la clavija en *O*<sub>1</sub>, entonces la corriente que llega á *P* para pasar á *M* puede seguir dos caminos (derivaciones) uno por el galvanómetro y el otro por el hilo *a*, pero como en este caso la resistencia

es mucho menor que en el galvanómetro, pues es solo de  $\frac{1}{10}$ , resultará que, por el galvanómetro pasará una corriente de  $\frac{1}{10}$  de intensidad, pues ya sabemos que la intensidad en las derivaciones, está *en razón inversa* de su resistencia.

Poniendo la clavija en  $O_2$  ú  $O_3$  se reduciría la intensidad que va al galvanómetro á  $\frac{1}{100}$ ,  $\frac{1}{1000}$ , de la corriente principal.

#### 254.—Medida de la Resistencia por el Puente de Wheatstone.

—Indiquemos previamente el principio en que se funda.

Consideremos una corriente  $a$  *(fig. 175)*. Establezcamos entre  $a$  y  $c$  una bifurcación  $abc$  y  $adc$  y llamemos  $i$  é  $i'$  las intensidades de la corriente en las derivaciones.

Llamemos  $a, b, c, d$ , los *potenciales* en los puntos marcados con la misma letra y llamemos también  $A, B, C, X$  las *resistencias* de cada uno de esos trozos.

El potencial en las derivaciones, disminuye de  $a$  á  $c$ , pasando por todos los puntos intermedios, entonces, siempre podremos tener dos puntos  $b$  y  $d$ , tales que *tengan el mismo potencial*.

—Ahora bien, por la *ley de Ohm*, nosotros sabemos que en el trozo  $ab$ , se tiene

$$(1) \quad i = \frac{a-b}{A}$$

—Análogamente, en el trozo  $ad$  se tiene

$$i' = \frac{a-d}{B}$$

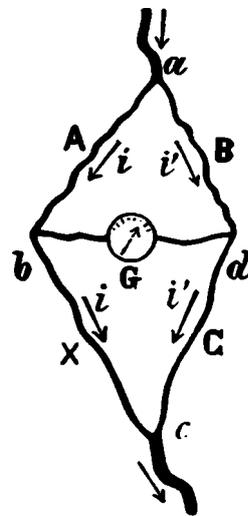


Fig. 175  
Puente de Wheatstone

pero, como supusimos que

$$d = b$$

sale

$$(2) \quad i' = \frac{a-b}{B}$$

Comparando la (1) y la (2) se tiene

$$i : i' :: \frac{a-b}{A} : \frac{a-b}{B}$$

ó bien

$$\frac{i}{i'} = \frac{(a-b)B}{(a-b)A}$$

ó sea

$$\frac{i}{i'} = \frac{B}{A} \quad (\mathbf{m})$$

--Pero según la ley de las corrientes derivadas, sale

$$\frac{i}{i'} = \frac{B+C}{A+X}$$

y comparando esta proporción y la (m) resulta

$$\frac{B}{A} = \frac{B+C}{A+X}$$

y quitando denominadores

$$A B + B X = A B + A C$$

y simplificando resulta

$$B X = A C$$

luego el puente está constituido cuando el producto de dos lados opuestos del cuadrilátero, es igual al producto de los otros dos.

—Se verifica experimentalmente que el puente está constituido cuando uniendo los puntos *b* y *d* con un conductor, que lleva intercalado un galvanómetro, éste *no acusa* paso de corriente alguna.

255.—Supongamos que queremos determinar la resistencia *X* (fig. 176).

En el costado *a b* se intercala una resistencia cualquiera, por ejemplo 100 *Ohms* en el costado *a d*, otra resistencia de 10 *Ohms* por ejemplo; se intercala el conductor *X* y finalmente en el lado *d c* se van intercalando resistencias hasta que los puntos *b* y *d* estén al mismo potencial, lo que se verificaría apretando las clavijas *K* y *K'* y notando si la aguja del galvanómetro *G* queda inmóvil.

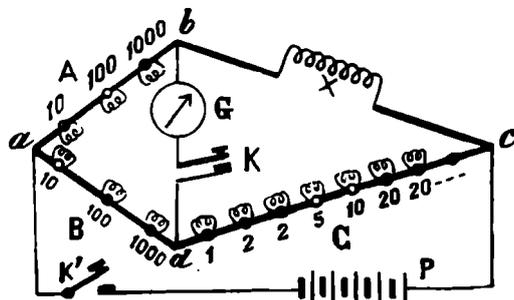


Fig. 176  
Puente de Wheatstone

En el caso actual, la fórmula

$$B \times X = A \times C$$

nos dá

$$10 \times X = 100 \times (10 + 5)$$

ó sea

$$10 X = 1500$$

de donde sale

$$X = \frac{1500}{10} = 150 \text{ Ohms}$$

**256.—Amperómetros.**—El amperómetro es un *galvanómetro industrial*, el cual está dividido de manera que cada división de la aguja, corresponda á un cierto número de *Amperes*.

Como es justo, este aparato no sirve para operaciones de gabinete ó de precisión.

—El de Siemens y Halske consiste en un galvanómetro munido de un *Schunt* para poderlo adaptar á todas las corrientes.

Se gradua comparando sus indicaciones con la medida de un voltámetro á plata.

**257.—Voltómetros.**—Son aparatos industriales destinados á medir la *diferencia de potencial* en un conductor.

El de Siemens y Halske consiste en un galvanómetro al que están unidas resistencias conocidas.

El fundamento del aparato es este:

*Se conoce* la resistencia.

*Se determina* la intensidad y se calcula  $E$  por la fórmula

$$E = \frac{I}{R}$$

Este cálculo está generalmente ya hecho y la simple lectura nos dá la fuerza electromotriz.

**258.—Galvanómetro de torsión de Siemens y Halske.**—En este aparato está reunido el *amperómetro* y el *voltómetro*.

---

## CAPÍTULO X

**EFFECTOS CALORÍFICOS Y LUMINOSOS DE LA CORRIENTE**

**259.—Distribución del calor de un circuito.**—El calor desarrollado en un circuito es tanto mayor, cuanto mayor es la resistencia de la parte del circuito considerada.

Así, si en un circuito se intercalan dos conductores de la misma longitud y mismo diámetro, pero uno de *plata* y el otro de *hierro*, el conductor de hierro se calentará más que el de plata, *porque el de hierro tiene más resistencia específica que la plata.*

Si los polos de una pila se reúnen por un conductor de cobre grueso y corto, la pila se calentará más que el cobre, porque presenta más resistencia.

*Joule* determinó las leyes del desarrollo del calor en un conductor atravesado por una corriente y halló que:

*La cantidad de calor desarrollada es:*

*1° Proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente.*

*2° Proporcional á la resistencia de la porción considerada.*

*3° Proporcional al tiempo durante el cual la corriente pasa.*

La fórmula que contiene estas leyes sería

$$Q = A I^2 R t$$

donde *A* es una constante.

**260.—Arco Voltáico.**—Cuando se *cierra el circuito* de una pila poderosa, se nota una pequeña chispa, pero

es necesario que la corriente sea muy intensa. Con 100 elementos Daniell la chispa es apenas visible.

Cuando *se corta* el circuito, el efecto es más notable bastando pocos elementos para que el efecto se produzca.

Si la corriente es poderosa, la chispa persiste (*fig. 177*) y produce una luz continua, siempre que los extremos de los conductores se mantengan á una distancia pequeña.

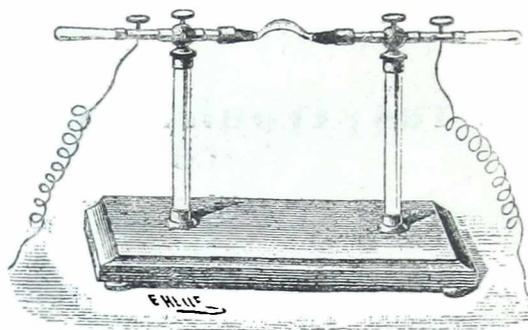


Fig. 177  
Arco voltaico

**261.**— Esta propiedad se aprovecha para la formación del *arco voltaico*.

En el circuito de una pila que produzca unas 50 Volts de fuerza electromotriz, se intercalan dos varillas de carbón de las retortas. Si están en contacto, los extremos de las varillas de carbón, *se ponen incandescentes* á causa de la gran resistencia que presenta el contacto imperfecto de los dos carbones y si entonces *se separan* los carbones, se produce entre ellos una llama violácea generalmente en forma de *arco*. Al mismo tiempo los extremos de los carbones se calientan hasta el blanco y dan una luz intensísima.

Para explicar este fenómeno es necesario recordar lo que dijimos respecto á la distribución del calor en un circuito.

El punto ó superficie *de contacto* de los dos carbones, presentando más resistencia, se calienta considerablemente y calienta el aire que lo rodea, el cual por esta circunstancia se hace mejor conductor y entonces, si separamos algo los carbones la corriente seguirá pa-

sando por el conductor. aire caliente. Pero las partículas de carbón que arrastra la corriente se volatilizan y constituyen un conductor que presenta mucha resistencia, luego también él, se pone incandescente y forma el arco voltáico.

Cuando los carbones se separan demasiado, cesa de pasar la corriente y el arco se apaga. Para que vuelva á funcionar, es necesario volver á ponerlos en contacto y separarlos nuevamente.

Cuando se usa el arco voltáico para la iluminación, los carbones se ponen en unos aparatos llamados *reguladores*; los cuales, automáticamente, ponen en contacto los carbones, si el arco se hubiera apagado.

—Es posible *apagar* el arco voltáico *soplando*, pero para eso, se necesita una fuerte corriente de aire, que arrastre el carbón volatilizado y *enfríe* el aire.

—En el aire, los carbones se queman y se usan y si los dos carbones tienen el mismo diámetro, el carbón *positivo*, se quema *dos veces más ligero* que el negativo.

—En el vacío, el carbón no se quema, pero también se usa (*fig. 178*), por el transporte de materia, del carbón del polo positivo al carbón negativo y entonces el carbón positivo se consume formando un *crater* mientras que el negativo se aguza en forma de cono.

Para que el consumo sea menor, se coloca el carbón positivo arriba y el negativo abajo.

La temperatura del arco voltáico es elevadísima, llega hasta 3500°.

Por eso se suele utilizar para la *fusión* de las sustancias más refractarias.

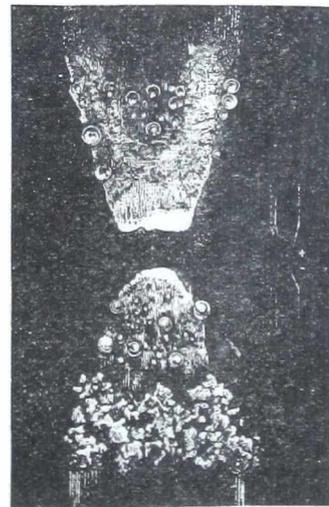


Fig. 178  
Arco voltáico

**262.—Bujía de Jablochkoff.**—Este aparato permite conservar el arco voltáico, sin necesidad de reguladores.

Consiste en dos lápices de carbón de las retortas de 3 á 4 milímetros de diámetro (*fig. 179*), y de 25 centímetros de longitud, que se colocan paralelamente, separados por una materia aisladora

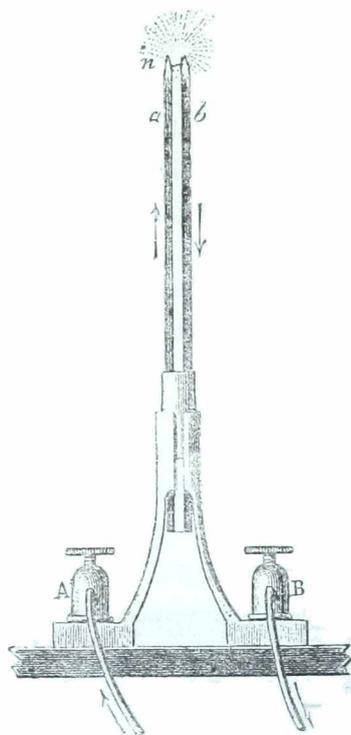


Fig. 179  
Bujía de Jablochkoff

(mezcla de sulfato de cal y sulfato de barita).

La corriente entra por *A* sigue por el lápiz *a*, baja por el lápiz *b* y sale por *B*.

En el extremo *n*, se coloca una mina ó un hilo fino que se pone incandescente y hace empezar el funcionamiento del arco.

Al pasar la corriente, el extremo entra en incandescencia y á medida que los lápices se van consumiendo, se vá fundiendo la materia aisladora.

Como el carbón positivo se consumiría el doble del carbón negativo, se usan para estas bujías las corrientes

*alternativas*, es decir, corrientes que entran alternativamente por *A* y por *B*.

Tiene el inconveniente de que el punto luminoso vá bajándose gradualmente, lo cual no tiene importancia para el alumbrado público, pero sí la tiene para usarlo en los faros y en los experimentos de física en que se necesite un *punto* luminoso *fijo*.

**263 —Lámparas de incandescencia con combustión.**—Estas lámparas se forman haciendo pasar una corriente por

un carbón *c* (*fig. 180*), que tiene un contacto imperfecto *j* con un conductor *B*.

La corriente entra por *l*, pasa por *j* y sale por *B*. En *j* el contacto es imperfecto y por consiguiente presentaría una gran resistencia, luego en ese punto *j* el carbón se pondrá incandescente.

En la práctica el contacto fijo *B* está reemplazado por un contacto giratorio, que arrastra las cenizas á medida que se producen.

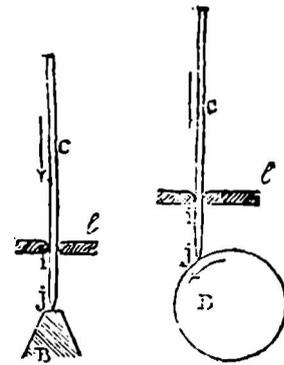


Fig. 180

Lámpara con combustión.

**264.—Lámparas de incandescencia sin combustión.**—Estas lámparas están basadas en hacer pasar una corriente por un conductor *delgado* y muy *resistente*, para que pueda ponerse incandescente, muy *rígido* para que no pueda ser quebrado ni doblado por la dilatación y muy *refractario* para que no sea ni fundido ni volatizado. Ese conductor se introduce en un vaso de vidrio sin aire, para evitar la combustión.

Al principio se hicieron con hilos de platino, pero hoy se hacen con filamentos de carbón.

**265.—Lámparas Edison.**—La lámpara *Edison* (*fig. 181*), consiste en un ampolleta del vidrio en forma de pera en la cual se ha hecho el vacío y que tiene en su interior un filamento de *bambou* carbonizado, que será el conductor que se pondrá incandescente.

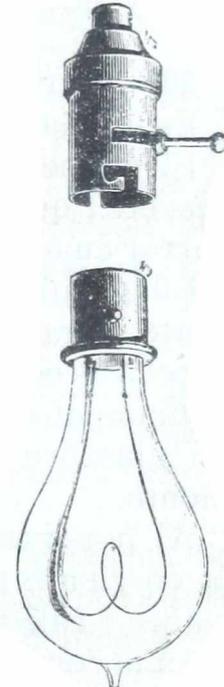


Fig. 181

Lámpara Edison

La corriente pasará por los extremos de ese hilo de

carbon, por intermedio de una armadura especial, que cierra la ampolleta.

—Después de un cierto tiempo de uso, los carbones se quiebran. Una lámpara bien construída, puede durar 1000 horas.

**266.—Otros sistemas de lámparas.**—Además de las lámparas anteriores, hoy se usan otras que indicaremos someramente.

—Indicaremos primeramente la lámpara á *arco voltaico en vaso cerrado*.

Tiene la ventaja de que casi no hay consumo de los carbones por combustión, pues éstos en vez de estar incandescentes al aire libre, están encerrados en vasos herméticamente cerrados, es decir, metidos en una atmósfera de *anhidrido carbónico* que retarda el consumo del carbón.

Hay que cambiar los carbones cada 15 ó 20 días.

**267.—Otra lámpara muy en uso es la de *Nernst*.**

Es una lámpara á incandescencia.

El filamento está formado por óxidos de *torio*, *circonio*, etc., que tiene la propiedad curiosa de hacerse conductor cuando se calienta.

Luego, para que ese filamento puede ponerse incandescente, es necesario que pase la corriente y para que esto suceda es necesario que se caliente, para lo cual se rodea el filamento por un calentador que está constituído por un alambre de platino muy fino, que rodea al filamento.

Al ponerse en funcionamiento ó al abrirse la llave, la corriente pasa por el hilo de platino, el cual se enrojece, calienta el filamento, éste se hace conductor, pasa la corriente por él, también se pone incandescente y en ese instante, *automáticamente*, se interrumpe la corriente que pasaba por el hilo de platino.

**268.**—Finalmente indicaremos la lámpara de *Cooper-Hewitt* que consiste en un tubo muy largo por donde debe pasar la corriente á través de vapores de mercurio que se obtiene por la incandescencia de un hilo en un depósito de mercurio.

La luz que se obtiene con esta lámpara, es muy rica en rayos azules y violados, por lo cual se le usa poco en tiendas y fiestas sociales, pues hace variar notablemente el tinte de los colores.

**269.**—La *luz eléctrica*, está destinada á desalojar los demás sistemas de iluminación.

Es la más útil, para los faros y la telegrafía óptica. Es la mejor para las tiendas, pues su luz asemejándose á la del sol, permite juzgar de los colores de los tejidos.

No vicia el aire con los productos de la combustión y á igualdad de luz, produce en el aire 20 veces *menos calor* que el gas del alumbrado.

Es cierto que este sistema de iluminación no excluye los peligros de incendio y que causa víctimas, pero debemos declarar que más peligroso es el gas del alumbrado y del petróleo, pudiéndose, por otra parte, con una buena reglamentación municipal, disminuir los peligros que apuntamos.

**270.**—**Efecto Peltier.**—Este efecto es que «cuando una corriente pasa por un conductor formado por dos cuerpos soldados se produce una variación de temperatura en la soldadura.»

—Si se toma por ejemplo *antimonio* y *bismuto*. Si la corriente pasa del primero al segundo cuerpo la soldadura *se calienta*. Si se pasa en sentido contrario se enfría.

**271.**—**Corrientes termo-eléctricas.**—Esto lo pondremos de manifiesto por medio del experimento de *Seebeck*.



Fig. 182  
Experimento de Seebeck

Al efecto, se toma una lámina de *antimonio*  $AA'$  (fig. 182) y se le suelda una de *bismuto*  $BB'$ , replegada de manera de formar un rectángulo  $AA'BB'$ , en cuyo centro se coloca una aguja imantada sostenida por un eje vertical. Se orienta ese marco, de manera que esté en el meridiado magnético y enseguida se calienta ligeramente la soldadura  $A$ .

Inmediatamente se observará una desviación de la aguja, que acusará la presencia de una corriente que vá del *bismuto* al *antimonio*, pasando por la soldadura caliente.

Si en vez de calentar la soldadura  $A$  la hubiéramos enfriado, se habría también producido una corriente, pero en sentido inverso, es decir, del antimonio al bismuto por la soldadura fría.

Luego, vemos que para que se origine la corriente basta que se tenga una *diferencia de temperatura* en las dos soldaduras.

Lo mismo sucedería, si en vez de ser antimonio y bismuto, fueran otros dos cuerpos cualesquiera. El sentido de la corriente depende de la naturaleza de los cuerpos acoplados.

Damos á continuación una *série termo-eléctrica*, en la que acuplando dos de ellos, *la corriente pasa por la soldadura caliente, pasando del metal que precede al que le sigue*:

Bismuto .....	Plata .....	Cobre
Nickel .....	Zinc .....	Oro
Platino .....	Estañó .....	Hierro
Palladium .....	Plomo .....	Arsénico
Cobalto .....	Rhodium .....	Antimonio
Manganeso .....	Latón .....	Selenio

**272.** — *Becquerel* determinó las leyes de producción de las corrientes termo-eléctricas, que son:

1º En una cupla termo-eléctrica, la corriente es constante siempre que la diferencia de temperatura entre las dos soldaduras sea la misma.

2º Su intensidad aumenta con la diferencia de temperatura entre las soldaduras y si una de ellas está á cero, la intensidad es proporcional hasta los 45° á la temperatura.

3º La intensidad de la corriente, es proporcional al número de cuplas.

**273. --Termo-multiplicador de Melloni.**—Al estudiar el Calor Radiante, hemos hecho varias veces uso del termo-multiplicador de *Melloni*, que como vimos es un termómetro sumamente sensible.

Está basado en la formación de las corrientes termo-eléctricas.

Para construirlo, se forma una serie de cuplas de bismuto y antimonio, soldadas las unas á las otras, de manera que todas las soldaduras de lugar *par* estén de un lado y las de lugar *impar* del otro.

Estos elementos (*fig 183*), están montados en una armadura *P* y de manera que la armadura y cada elemento, estén aislados por la interposición de un papel barnizado.

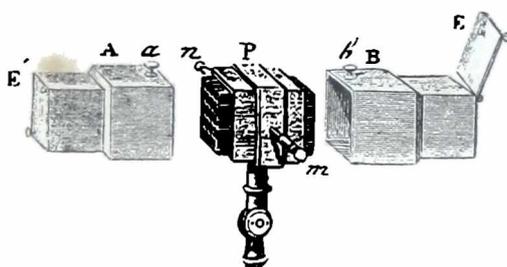


Fig. 183  
Termo-multiplicador de Melloni

barnizado.

Dos estuches *A* y *B*, que se fijan por medio de los tornillos *a* y *b*, defienden las soldaduras de calor exterior.

Cuando se quiere hacer funcionar esta pila termo eléctrica se levanta la pantalla *E* y *E'* y entonces se exponen las soldaduras de uno y otro costado á la acción de los focos caloríficos cuya diferencia de temperatura se quiere determinar y como la intensidad de la corriente es proporcional á la temperatura,

resulta que si por las clavijas  $m$  y  $n$ , que están unidas con el primer antimonio y con el último bismuto, lanzamos la corriente á través de un galvanómetro, éste nos acusará la intensidad de la corriente y por consiguiente la diferencia de temperatura entre las dos soldaduras.

---

## CAPÍTULO XI

## INDUCCIÓN ELECTRO-DINÁMICA

**274.— Inducción Voltaica.**—Al estudiar la Electricidad Estática, hemos visto que era posible electrizar un cuerpo por la acción á distancia, de otro cuerpo previamente electrizado. Este fenómeno se llama *Influencia* electroestática.

La *Electricidad dinámica* da lugar á fenómenos análogos, fenómenos que se llaman de *Inducción*.

Siempre que *un circuito conductor cerrado*, está situado cerca de una corriente ó de un imán, *si se modifica la intensidad* de la corriente ó del imán, ese circuito cerrado es recorrido por una *corriente temporaria*, cuya duración *es igual á la de la variación de la intensidad* de la corriente ó del imán.

Esa corriente primitiva ó el imán toma el nombre de *inductor*; el circuito cerrado, es el *inducido* y la corriente temporaria que se forma, *toma el nombre de corriente inducida* ó corriente de inducción.

**275.**—La inducción voltáica se puede producir de tres maneras.

1º Cuando la corriente inductora *empieza* ó *acaba*.

2º Cuando la corriente inductora *crece* ó *decrece*.

3º Cuando la *distancia* del circuito inductor *aumenta* ó *disminuye*.

—Para comprobar esto, nos valdremos del aparato de *Faraday*, que consiste:

1º En una bobina *B* (fig. 184) formada de un hilo de cobre grueso y corto que es recorrido por una corriente producida por una pila *P*.

2º De una bobina *A* formada de un hilo largo y fino, cuyos extremos están ligados con un galvanómetro *G*.

La bobina *B* es la inductora y la *A* es la inducida.

Para comprobar la inducción voltáica, introduzcamos

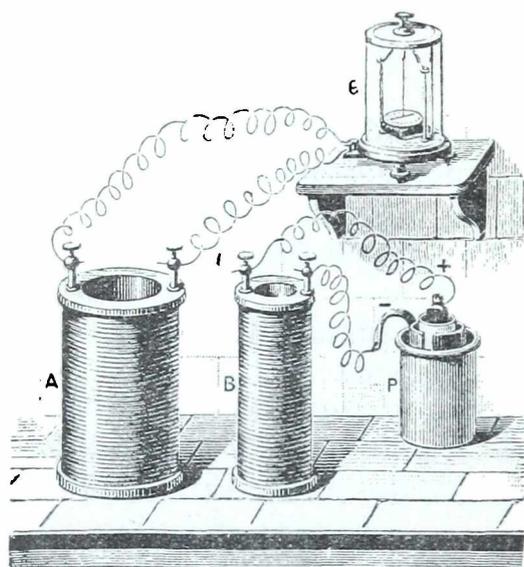


Fig. 184  
Inducción voltáica

la bobina *B* dentro de la bobina hueca *A*, sin hacer pasar la corriente, entonces el galvanómetro marcará el cero.

Ciérrese el circuito y hágase pasar la corriente en la bobina *B*, é inmediatamente notaremos una desviación de la aguja del galvanómetro, lo cual prueba que el hilo de

la bobina *A* ha sido recorrida por un corriente y se comprueba que la dirección de la corriente ha sido de sentido contrario á la corriente inductora.

Además, se observa que la aguja hace algunas oscilaciones hasta que vuelve al cero, á pesar de que la corriente inductora siga pasando, lo cual prueba que la corriente inducida tiene muy corta duración.

276.—Después, que en esas condiciones la aguja se conserva en el cero, si interrumpimos la corriente inductora se producirá en la bobina inducida *A* una corriente, en sentido contrario de la anterior, es decir, directa

con respecto á la corriente inductora y también *su duración será instantánea.*

—De aquí sacamos la ley siguiente:

*Toda corriente que empieza desarrolla una corriente inducida de sentido contrario y toda corriente que acaba origina una corriente inducida del mismo sentido que la corriente inductora.*

**277.**—Pasemos ahora al segundo caso, es decir, á comprobar que también se producen corrientes de inducción cuando la intensidad de la corriente aumenta ó disminuye.

Al efecto, se introduce la bobina inductora dentro de la inducida, y en seguida se *disminuye ó aumenta* la resistencia del conductor con lo cual se aumentará ó disminuirá la intensidad de la corriente.

Se comprueba que el inducido será recorrido por corrientes *inversas ó directas*, según aumente ó disminuya la intensidad de la corriente inductora.

—La ley es la siguiente:

*Toda corriente que aumenta de intensidad produce una corriente inducida inversa, toda corriente que disminuye de intensidad produce una corriente directa.*

**278.**—Finalmente, comprobemos que también se producen corrientes de inducción cuando el circuito inductor *se acerca ó se aleja.*

Al efecto, (*fig. 185*) coloquemos la bobina *B* sobre la bobina hueca *A* é *introduzcámosla* bruscamente y se verá producirse una corriente inducida.

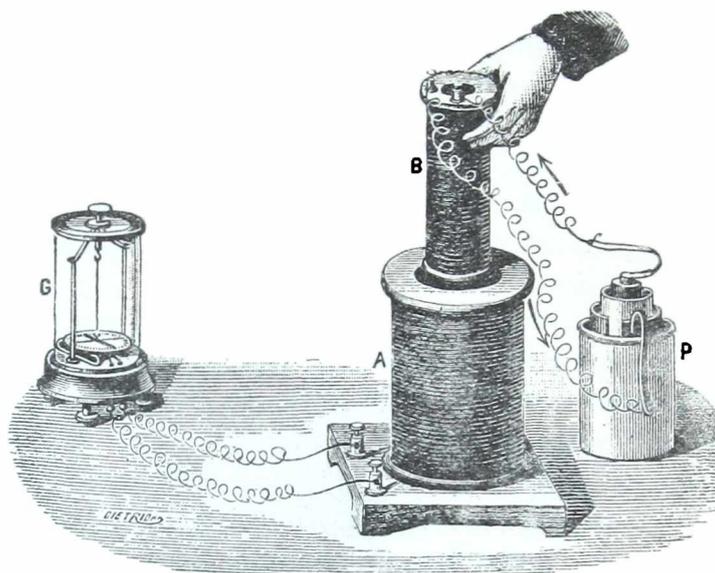
*Saquémosla* bruscamente y se notará el mismo fenómeno, pero la dirección de la corriente será contraria de la primera.

—La ley es la siguiente:

*Toda corriente que se acerca produce una corriente inversa, toda corriente que se aleja produce una corriente directa.*

**279.**—En resumen, podemos decir que:

*Toda corriente que empieza, aumenta de intensidad ó se acerca, produce una corriente inducida inversa, y*



**Fig. 185**  
Inducción voltáica

*toda corriente que acaba, disminuye de intensidad ó se aleja, produce una corriente directa.*

**280.**—**Inducción Electro-magnética.**—Hemos visto que con las corrientes se podían producir imanes, y recíprocamente también con los imanes pueden producirse corrientes eléctricas.

Para verificarlo experimentalmente, tomemos una bobina hueca á un solo hilo, ligado á un galvanómetro (*fig. 186*) é introduzcamos bruscamente una barra imantada, con la cual se producirá una corriente *inversa*, es decir, una corriente contraria á la de un solenoide equivalente al imán.

Si retiramos bruscamente el imán, se producirá otra corriente, pero *directa*.

—Luego tenemos la primera ley:  
*Cuando un imán se acerca á un circuito cerrado se*

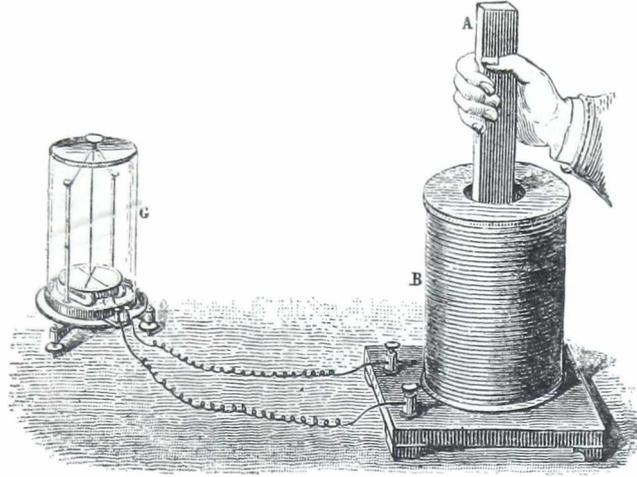


Fig. 186  
 Inducción electro-magnética

*produce una corriente inversa y cuando se aleja se produce una corriente directa.*

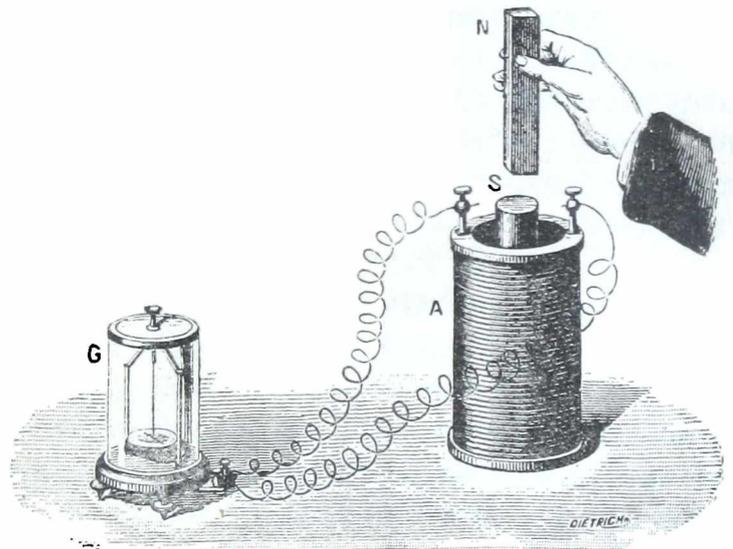


Fig. 187  
 Inducción electro-magnética

281.—Ahora, introduzcamos dentro de la bobina, una barra *S* de *hierro dulce* ( *fig. 187* ), y el galvanómetro

*no dará manifestaciones de corriente, pero si acercamos un imán N hasta ponerlo en contacto con la barra S inmediatamente se producirá una corriente inversa y si se separa la barra N de la S, se producirá una corriente directa.*

Ahora bien, al ponerse en contacto la barra N con la S, ésta se convierte por influencia en un imán y cuando separamos la barra N, la S se desimanta, luego la Segunda ley es:

*Todo imán que empieza, desarrolla una corriente inducida inversa y todo imán que acaba, produce una corriente directa.*

**282.**—Finalmente, se obtienen corrientes inducidas en el hilo de un *electroimán*, haciendo que una barra imantada gire rápidamente delante de los polos del electroimán de manera de producir en este, *imantaciones crecientes y decrecientes.*

—La ley es:

*Todo imán que aumenta de intensidad produce una corriente inversa y todo imán que disminuye produce corrientes directas.*

Vemos, pues, que con los imanes pueden producirse corrientes de inducción de una manera análoga á la inducción Voltáica.

**283.**—**Ley de Lenz.**—Todas las leyes de la inducción pueden reducirse á la de *Lenz*, que dice:

*Cuando un conductor cerrado se mueve en las proximidades de una corriente ó de un imán, nace en ese conductor una corriente inducida tal, que tiende á imprimir al hilo un movimiento contrario.*

En otros términos puede decirse que:

*El sentido de la corriente inducida es tal que se opone al movimiento que lo hace nacer.*

De aquí resulta, que cuando se produce el movimiento de un circuito cerrado en un campo magnético, el

trabajo consumido no se emplea todo en vencer las resistencias pasivas, sino que una parte de ese trabajo se emplea en vencer la resistencia que se presenta al nacer las corrientes de inducción.

Por consiguiente el *trabajo mecánico*, así gastado, se transforma en *energía eléctrica*, la que se encuentra en el circuito, bajo forma de *calor, luz, energía química, ó trabajo mecánico*.

**284.—Extra-corrientes.**—Estas inducciones de las corrientes, no solo se producen en los circuitos cerrados vecinos, sino que se producen también *sobre el mismo conductor de la corriente*.

Este fenómeno toma el nombre de *Self-inducción* y se hace mucho más sensible, si en el circuito hay alguna bobina.

Cuando empieza la corriente cada espira de la bobina, crea alrededor de ella, un campo magnético en la que se encuentran sumergidas las espiras vecinas y de allí resulta sobre esas espiras al *cerrarse* el circuito una corriente inducida *inversa* á la principal, que trata de disminuir la *intensidad* de la corriente principal, luego la corriente principal *tarda* un cierto tiempo en tomar su *régimen regular*.

Esa corriente inversa inducida, toma el nombre de *extra-corriente de cierre*.

—Si se *abre* el circuito, el campo magnético que rodea las espiras es bruscamente anulado y entonces resulta una corriente inducida *directa*, que tiene por efecto *aumentar* la intensidad de la corriente principal, en ese instante.

Esta es la *extra-corriente de apertura* y que como vemos tiene por efecto *aumentar la corriente principal*.

Cuando el circuito es rectilíneo, también se producen las extra-corrientes, pero son más débiles.

Si dentro de la bobina se coloca un haz de varillas

de hierro dulce, éstas, imantándose al cerrar el circuito, y desimantándose al abrirlo, producen variaciones más fuertes del campo magnético, y por consiguiente aumentan la fuerza de las extra-corrientes.

Estas extra-corrientes se producen también al *variar* la intensidad de la corriente principal.

**285.—Propiedades de las corrientes inducidas.**—A pesar de ser instantáneas, las corrientes inducidas producen los mismos efectos que las corrientes de las pilas y siguen las mismas leyes.

Producen los mismos efectos fisiológicos, químicos, caloríficos y luminosos: dan á su vez lugar á corrientes inducidas, desvían la aguja de un galvanómetro é imantan las barras de acero.

—*Las dos corrientes, directa é inversa, son iguales en cantidad y desiguales en tensión.*

En los efectos de las corrientes inducidas, se observa que las acciones enérgicas son debidas á las corrientes *directas*, produciendo las inversas, el mismo fenómeno pero menos intenso. Esto se comprende fácilmente, debido á que la corriente directa, es auxiliada por la extra-corriente de ruptura.

Dijimos que las corrientes inducidas producían á su vez, fenómenos de inducción, dando lugar á corrientes inducidas de *diferente orden*, siendo su intensidad *decreciente*, á medida que aumenta el orden.

—*La intensidad media de las corrientes inducidas es inversamente proporcional á la duración del desplazamiento del inducido, con relación al inductor.*

Luego, *para dar más ó menos intensidad* á una corriente inducida, nos bastará dar una *duración* lo más pequeña posible al desplazamiento, ó sea, interrumpir la corriente lo más amenudo posible.

—*La fuerza electromotriz será proporcional al número de espiras del inductor y á la intensidad de la corriente inductora*, luego, conviene que el circuito in-

---

ducido sea formado por un hilo largo y delgado y el de la corriente inductora grueso y corto.

—Si el circuito inducido está atravesado por una corriente, la corriente inducida se agregará ó sustraerá de la primitiva.

Estos principios tienen aplicación en la construcción de las máquinas *dinamo y magneto-eléctricas*.

---

## CAPÍTULO XII

## BOBINA DE RUHKORFF

**286.—Bobina de inducción.**—La bobina de inducción, llamada también bobina de *Ruhmkorff*, produce corrientes inducidas de *alto potencial*, por las variaciones rápidas de la intensidad de un campo magnético de un electroimán.

El electroimán (*fig. 188*) está formado de un núcleo *N* de hierro dulce, el cual como tiene que imantarse y desimantarse rápidamente, se forma de *un haz* de hilos de

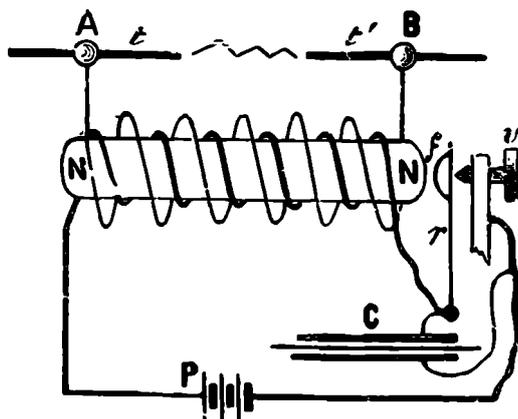


Fig. 188  
Bobina de Ruhmkorff

hierro, recubiertos de un barniz.

—Este núcleo *N*, está envuelto por una hélice de un *hilo de cobre grueso*, aislado, formándose así el *circuito primario*.

Sobre este hilo grueso, se envuelve otro hilo muy fino y muy largo,

para formar varias capas. Este es el *circuito secundario*.

El hilo del primer circuito se liga á los polos de una pila y el hilo del circuito secundario, termina en dos terminales *A* y *B*, que son los *polos de la bobina*.

Cada vez que se abre ó cierra el circuito primario, se establece por inducción una corriente *alternativa* en el circuito secundario.

En las bobinas de *Ruhmkorff* de 60 centímetros, el circuito primario está formado de un hilo de  $2\frac{1}{2}$  milímetros y el secundario de un hilo de 120 kilómetros de largo y de  $\frac{1}{5}$  de milímetro de espesor.

—Colocando dos varillas en los terminales *A* y *B* se produce entre sus extremos chispas que pueden tener hasta 120 centímetros de longitud.

Las dos bobinas primaria y secundaria están perfectamente aisladas, así como cada una de las espiras.

**287.—Interruptores.**—Para obtener la interrupción de la corriente se hace uso de los *interruptores*.

En la figura anterior tenemos *un interruptor*, basado en el mismo principio de los timbres eléctricos.

La corriente de la pila *P* pasa á un tornillo *v*, de donde sigue por una varilla elástica *fr* al primario.

Al pasar la corriente, el núcleo *N* se imanta, atrae al martillo *f*, se interrumpe la corriente y el núcleo se desimanta desprendiéndose el martillo por la elasticidad de la varilla *r f*. Vuelve á pasar la corriente y vuelven á repetirse los mismos fenómenos.

—Además de éste, se tiene el *interruptor á martillo* (*fig. 189*) que como vemos consiste, en hacer llegar la corriente por la pieza metálica *E*, llamado *yunque*, de donde pasa al *martillo m*.

á la lámina *O* y de allí al circuito primario.

Cuando pasa la corriente el núcleo *F* se convierte en

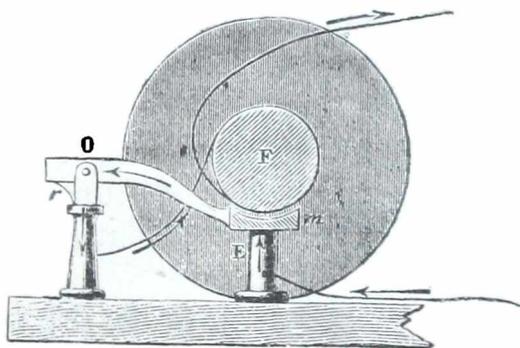


Fig. 189  
Interruptor de martillo

un imán atrae al martillo y *cesa de pasar* la corriente. Se desimanta el núcleo y el resorte  $r$  hace caer el martillo, vuelve á pasar la corriente y se repiten los fenómenos.

**288.**—Muy usado es el *interruptor á mercurio* (figura 190) por el cual se obtiene mayor rapidez en las interrupciones.

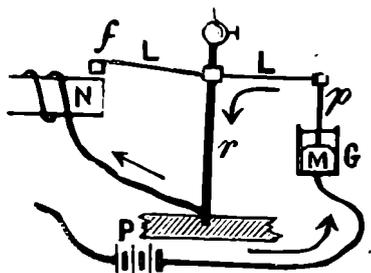


Fig. 190  
Interruptor de Mercurio

La corriente de la pila llega al vaso de vidrio  $G$  que contiene mercurio, sigue por la punta de platino  $p$ , por la palanca  $L$ , el resorte  $r$  y de allí al primario. Obtenido eso, se imanta el núcleo  $N$ , la masa  $f$  de hierro es atraída por el núcleo, la palanca  $L$  se inclina, la punta del

platino  $p$ , sale del mercurio la corriente se interrumpe, cesa la imantación y por elasticidad, el resorte  $r$  vuelve á hacer penetrar la punta  $p$  en el mercurio.

Así se tiene una serie de cierres y aperturas del circuito, que puede hacerse más ó menos rápidas, bajando ó subiendo el *contrapeso* superior del resorte  $r$ .

Al producirse las interrupciones, entre la punta  $p$  y el mercurio salen chispas que calientan el platino y lo oxidan.

Este inconveniente se aminora, poniendo sobre el mercurio una capa de un líquido aislador como el alcohol, esencia de trementina, etc.

**289.**—El interruptor de *Max-Koll* es también de mercurio, pero las interrupciones se efectúan por la introducción de un hilo de platino que se introduce en un vaso de Mercurio. El hilo de platino está dotado de un rapidísimo movimiento alternativo, por el movimiento de un *motorcito eléctrico*.

**290.**—El *de Edison* es notable por su sencillez.

Es una rueda dentada, que por medio de un motor está animada de un rápido movimiento de rotación.

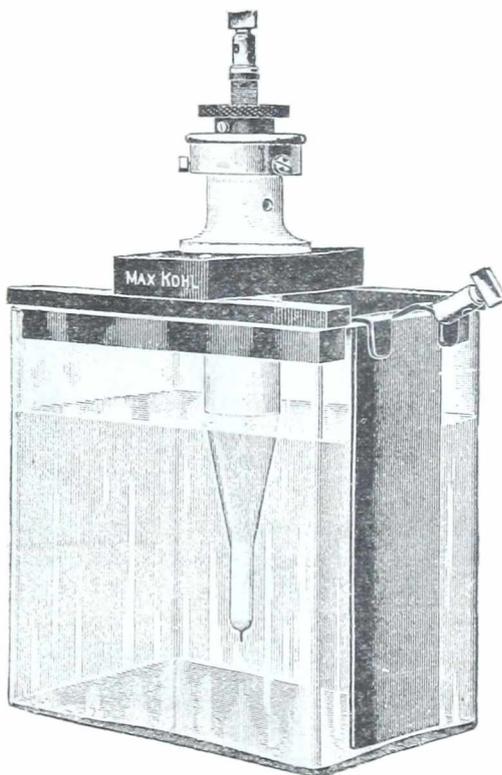
Cada vez que un diente se pone en contacto con una chapa de cobre, se cierra el circuito.

Tiene el inconveniente de que se producen chispas cada vez que se cierra ó abre el circuito, pero para disminuir el efecto del calor en los puntos de contacto se hace caer en esos puntos un chorro continuo de aire comprimido.

**291.**—**Interruptor electrolítico.**—Este interruptor llamado también de *Whenelt*, consiste (*fig. 191*) en una lámina de plomo, frente á la cual se coloca una punta de platino.

Lámina y punta de platino están sumergidas en un baño de agua acidulada.

Se produce la electrólisis del agua y el desprendimiento de los gases en la punta y lámina, interrumpe la corriente y produce un número notabilísimo de interrupciones.



**Fig. 191**  
Interruptor de *Whenelt*

**292.**—**Interruptor Ricaldoni.**—El interruptor de *Whenelt* requiere un altísimo amperaje para su buen funcionamiento (de 6 á 10 amperes), luego no puede aplicarse sino para grandes bobinas.

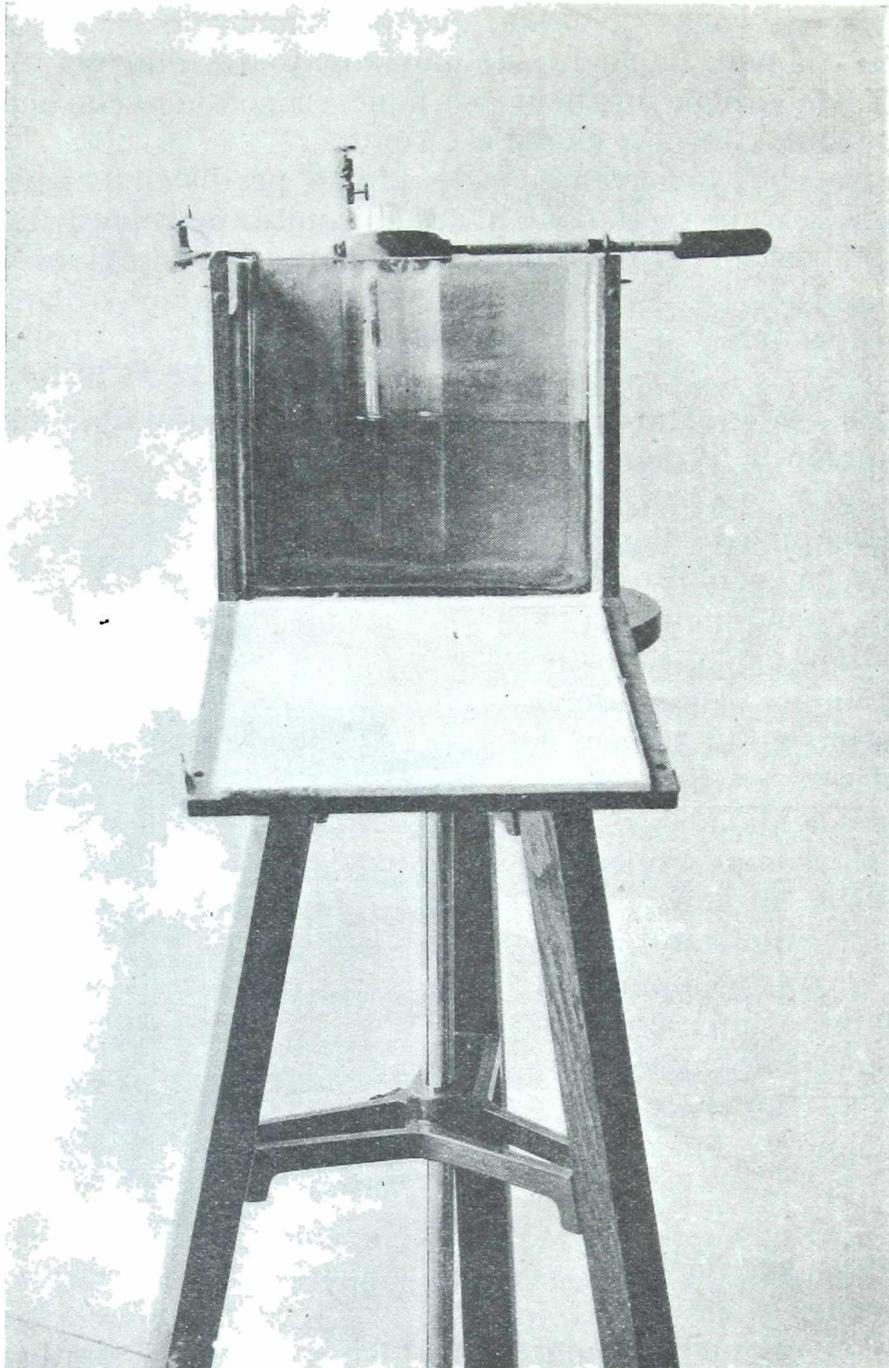


Fig. 192  
Interruptor de Ricaldoni

Además, si se quiere aplicar á la obtención de rayos de Röntgen, destruye inmediatamente los tubos.

Con la modificación introducida por mí, el año 1899, se subsana ese inconveniente, y es posible regular perfectamente el interruptor.

Funciona con menos de dos amperes y es muy constante y económico. Lo he podido constatar en mis experimentos sobre Telegrafía sin hilos.

En una vasija de vidrio (*fig. 192*) se coloca agua acidulada.

Una de las paredes de la vasija está recubierta por una lámina de plomo que constituye el polo negativo.

El otro polo está constituido por otra lámina de plomo, introducida en una probeta que tiene un agujero pequeño en su pared.

La probeta puede alejarse y acercarse á la pared de la vasija y por consiguiente es posible regular el funcionamiento del interruptor según el trabajo que se le exija.

**293.—Condensador.**—Dentro de la caja que forma la base de la bobina hay un *Condensador*, formado de una hojuelas de *estaño* y papel embebido de parafina, cuyo objeto es evitar el inconveniente que presentan las chispas que producen los interruptores y la extra corriente de apertura que prolongando la acción del imán retarda su desimantación, lo cual como sabemos es perjudicial.

Usando el interruptor Whenelt ó Ricaldoni no se necesita el condensador.

**294.**—La bobina de *Ruhmkorff*, es una verdadera y poderosa máquina eléctrica (*fig. 193*).

Es un *transformador*, pues convierte una corriente de gran *cantidad*, pero de pequeña diferencia de potencial, en una corriente de pequeña cantidad, pero de *diferencia de potencial* muy grande.

Podríamos asimilarla á los *lentes convergentes* en el *calor* y la *luz*.

Se puede hacer la transformación inversa, es decir, convertir una corriente de alto potencial y pequeña cantidad, en otra de *gran cantidad* y poca tensión.

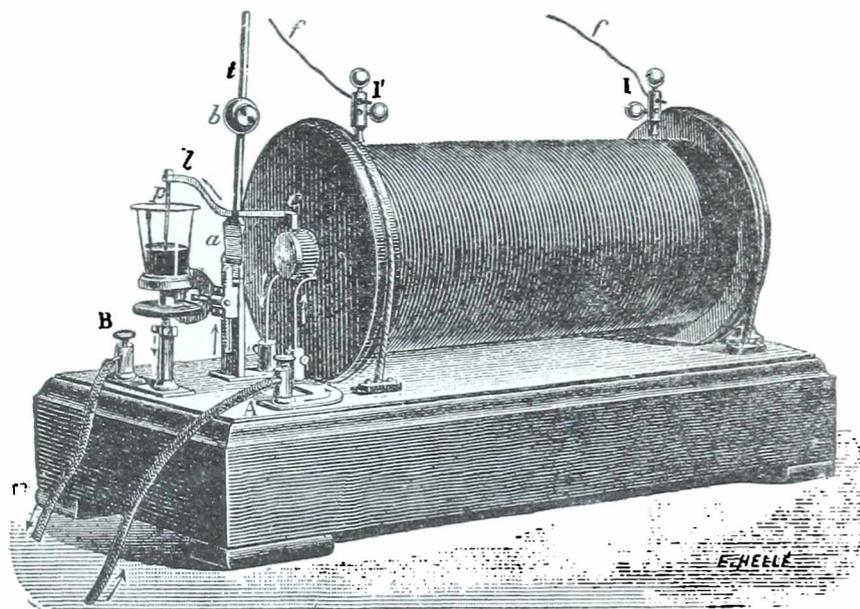


Fig. 193

Bobina de Ruhmkorff con interruptor de mercurio

Para eso, bastaría dirigir la corriente al *circuito secundario* y recoger la que se forma en el primario.

—Los efectos de la bobina de *Ruhmkorff* son los mismos que los de la máquina de *Holtz*, *Toepler*, etc., pero muy aumentados.

**295.—Efluvio Eléctrico.**—Toma el nombre de efluvio eléctrico, el *paso silencioso* y sin calor aparente, de la electricidad á través de un medio gaseoso.

Cuando estudiamos la máquina de *Holtz*, vimos que en las puntas por donde se escapaba la electricidad se presentaban *aureolas* luminosas, generalmente de un color *violado*. Esta *aureola* es el *efluvio eléctrico*.

Para estudiarlo, se hace uso del huevo eléctrico, (*fig. 194*), que consiste en un recipiente de vidrio de la forma de un huevo, con un pié que se puede atornillar en la máquina neumática para enrarecer el aire y cuyos extremos están atravesados por dos varillas metálicas terminadas por esferas, pudiéndose la superior subir ó bajar á frotamiento.

Si antes de hacer el vacío en el *huevo eléctrico* le introducimos un gas ó vapor y enseguida enrarecemos ese gas, la aureola se presenta (*figura 195*) bajo la forma de *estratos*, es decir, compuesto de capas oscuras y luminosas que parecen ani-

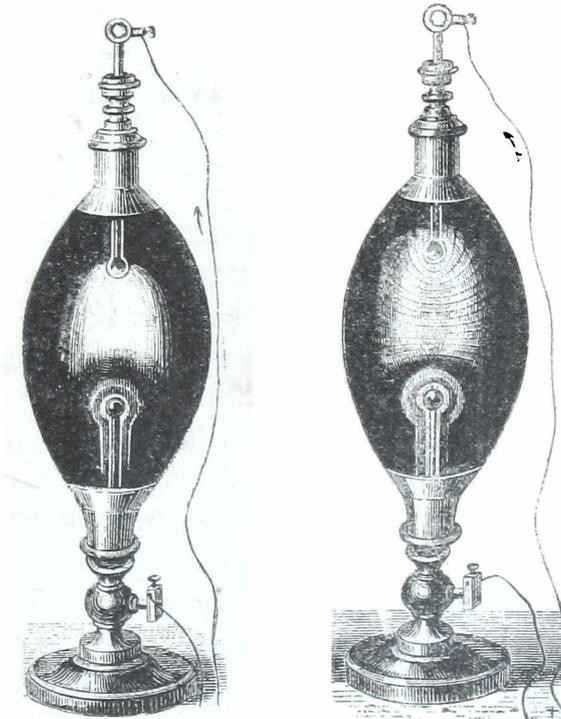


Fig. 194

Fig. 195

Huevo eléctrico

madas de un movimiento ondulatorio y giratorio rápido.

Según *Quet* este movimiento giratorio es una ilusión óptica.

## CAPÍTULO XIII

RAYOS RÖNTGEN

---

A fines del siglo pasado (1896) el mundo científico fué sorprendido por la noticia de que un sábio alemán, el *Dr. Röntgen*, profesor de física de la Universidad de Würzburg, había conseguido fotografiar el interior del cuerpo humano.

Sino del todo cierta la noticia, así lanzada, mucho de verdad había en ella, y después de recibirse los primeros datos, todos los hombres estudiosos que tenían un gabinete de física á su disposición, han tratado de *estudiar, explicar y aplicar* este descubrimiento.

Dado el interés que los experimentos de Röntgen han despertado en el mundo, hemos creído conveniente extractar los resultados obtenidos hasta hoy, poniéndolo al alcance de las personas estudiosas sin preparación especial y emitir algunas *ideas* sobre las *causas* de este notable fenómeno.

**296.—Energía.**—Sabemos que la energía única de la naturaleza, es la *causa* de los fenómenos *acústicos, caloríficos, luminosos, etc.*

Los que aceptamos la teoría *dinámica* de la *causa* de estos fenómenos, creemos que todos ellos son producidos por *vibraciones* de las moléculas de los cuerpos, vibraciones que según su *mayor ó menor rapidez* ó su *mayor ó menor longitud de onda* dan lugar á manifestaciones de *sonido, de calor, de luz, de electricidad, etc.*

Nosotros creemos, que cada vez que se produce un *trabajo*, si la *potencia* de la energía empleada es grande, también *se producirán simultáneamente todas esas manifestaciones*, acústicas, caloríficas, luminosas, etc.

Podríamos tomar el ejemplo del lanzamiento de un proyectil sobre una coraza.

Si el observador está colocado cerca de la coraza, *oír*á el sonido producido por el choque, *notar*á el calor desarrollado, *ver*á la luz que se produce, pues la bala se pondrá incandescente, y si se tuvieran aparatos apropiados, se notaría desarrollo de *electricidad*, y producción de *rayos de Röntgen*.

**297.—Transparencia y opacidad.**—En óptica, se define la *transparencia*, diciendo que es la propiedad que tienen algunos cuerpos, de dejar pasar la luz, y que se llaman *opacos*, los cuerpos que *impiden el paso* de los rayos luminosos, llamándose finalmente, *traslucidos*, aquellos cuerpos que dejan pasar *solo parte* de los rayos de luz.

Esta *opacidad* y *transparencia* de los cuerpos, para los rayos luminosos, la tienen otros cuerpos para los *caloríficos* y para los rayos ú ondas ó flujo *eléctrico*.

Así, cuando nos referimos al calor, llamamos cuerpos *diatérmanos* á los que *dejan pasar* el calor y *atérmanos* los que impiden su paso.

Cuando nos referimos á la electricidad, llamamos *cuerpos buenos conductores* á los que *dejan pasar* la corriente y *malos conductores* á los que impiden su paso.

—Se nota además, que algunos cuerpos que son *transparentes* para la luz, son *opacos* para el calor y la electricidad, y *vice-versa*. Así, el alumbre y el sulfato de cobre que son *transparentes* para la luz, son *opacos* para el calor; y al contrario, la *sal gemma* recubierta de una capa de *negro de humo*, que la hace *opaca* para la luz, es *diatérmana*, es decir, *transparente* para el calor, pues *deja pasar* la mayor parte de los *rayos caloríficos*.

**298.—¿Cuál es la causa de la opacidad y transparencia?**—Aceptando que los fenómenos *acústicos*, *ópticos* y *caloríficos* dependen de la *mayor ó menor rapidez* de las vibraciones ó de la *amplitud* de las ondas, es fácil aceptar que la opacidad y transparencia, *son debidas á la distribución que tienen las moléculas* de los cuerpos, pues se ha comprobado que *no hay proporcionalidad perfecta*, entre la densidad y la opacidad ó transparencia de los cuerpos.

**299.—Espectro solar.**—Sabemos que además del espectro luminoso, existen otros dos espectros *invisibles*, pero que se manifiestan por sus propiedades *químicas* el uno y *caloríficas* el otro.

Además, sabemos que el número de vibraciones que corresponde á cada color, *varia entre 450 trillones por segundo próximamente*, que corresponde al *rojo* y *780 trillones*, que corresponde al *violado*, luego, de aquí deducimos que del sol nos llegan rayos cuyas vibraciones son *menos rápidas* que las que producen la *luz roja* y también *más rápidas* que las que producen la *luz violeta*.

Cuando el número de vibraciones *es menor* que 450 trillones de vibraciones y mayor que 780 trillones, *nuestra retina no recibe la impresión de esas vibraciones.*

**300.—Fosforescencia.**—Sabemos también que se llama *fosforescencia*, la propiedad que tienen algunos cuerpos de *emitir luz durante algún tiempo*, después de haber sido expuesto á la acción de un foco luminoso.

El *fósforo de Bologna*, el *sulfuro de barium*, etc., poseen esa propiedad.

Se ha comprobado que los rayos *azules, violados y sobre todo, los ultra violados*, son los rayos que mejor *excitan* este fenómeno.

**301.—Fluorescencia.**—Hemos dado este nombre á la propiedad que tienen algunos cuerpos de *emitir luz, mientras están* iluminados.

El *color* de la luz emitida, *es diferente* de la luz de la fuente luminosa y según *Stokes*, los rayos emitidos por los cuerpos *fluorescentes iluminados por rayos simples*, son siempre de una *refrangibilidad menor* que los del foco luminoso.

—Si sobre un vaso de vidrio que contiene *sulfato de quinina*, hacemos caer un haz de rayos luminosos solares ó eléctricos, que se hacen converger por medio de un lente, se observará en el interior del liquido, un *cono luminoso* de un color *azul celeste*, siendo decreciente la intensidad de la luz, á medida que nos acercamos al vértice del cono.

—Si en vez de la solución de sulfato de quinina hubiéramos usado una *solución de clorofila en éter*, el cono luminoso sería *rojo*.

**302.—Explicación de la fosforescencia y la fluorescencia.**—La teoría de las ondulaciones ó dinámica, nos permite explicar este fenómeno, pues ella acepta que estos fenómenos, son debidos á una *modificación ó transformación del movimiento* del éter.

Así, cuando un haz luminoso cae sobre un cuerpo, parte de él se refleja y el resto *trasmite su movimiento á las moléculas del cuerpo* y por consiguiente, la rapidez de esas vibraciones ha disminuido y *es por ese motivo* que los rayos *ultra violetas* cuyas vibraciones *pasan de 780 trillones por segundo*, una vez que excitan las moléculas del cuerpo *fluorescente*, nos permite ver la *fluorescencia*, pues las vibraciones se han *reducido á menos de 780 trillones* por segundo.

En los cuerpos *fluorescentes*, *cesa la excitación*, de la molécula *una vez que ha cesado* la acción directa de la luz, y en cambio, las sustancias *fosforescentes conservan esa excitación* durante un tiempo más ó menos largo.

—Una cosa análoga se nota cuando los rayos solares caen sobre una *capa de negro de humo*. Los rayos luminosos *se convierten en rayos de menor refrangibilidad*, es decir, en rayos oscuros, ó mejor dicho, en *caloríficos*.

**303.—Tubos de Geissler.**—Ya dijimos que además de las *fuentes naturales de luz* y de las artificiales, como la combustión, etc., teníamos la luz producida por la *electricidad*.

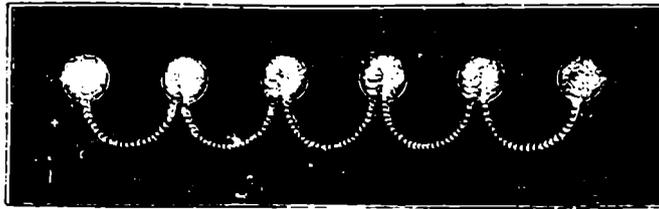


Fig. 196  
Tubo de Geissler

*Geissler* construyó unos tubos de vidrio munidos en sus dos extremos de dos alambres conductores de una *corriente eléctrica* producida por una bobina de *Ruhmkorff*, que, como hemos visto, es una máquina que produce corrientes eléctricas muy enérgicas.

Daba á esos tubos (*fig. 196*) formas caprichosas y los llenaba con distintos gases.

Una vez que pasa la corriente, se ve que todo ese tubo se ilumina con una luz muy viva, luz que cambia de color según el gas que contiene, pero *esa luz no es continua*, sino que está separada por *zonas oscuras* que alternan con la luminosa, formándose *estratificaciones*.

Además, se produce la *fluorescencia del vidrio*, lo cual contribuye á hacer más hermoso el experimento (*fig. 197*).

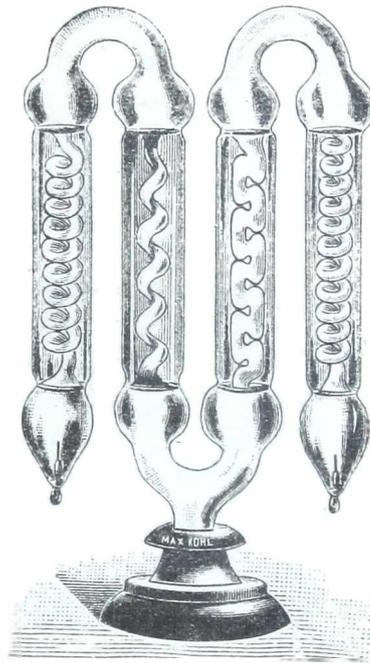


Fig. 197  
Tubo de Geissler

**304.—Tubos de Crookes.**—El tubo de *Crookes*, no es más que un tubo de *Geissler* el cual en vez de ser de forma

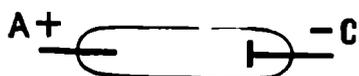


Fig. 198  
Tubo de Crookes

irregular es un *tubo cilíndrico* (fig. 198) de unos tres centímetros de diámetro y veinte de largo, en cuyas dos bases penetran los hilos de platino que han de formar

los electrodos, á los que vendrán á parar los hilos conductores de la corriente eléctrica.

El hilo de platino que corresponde al polo *positivo*, toma el nombre de *Anodo* y el hilo de platino que corresponde al polo *negativo* y que está terminado por

un *disquito* del mismo metal, toma el nombre de *Catodo*.

Este tubo puede ponerse en comunicación con una *máquina neumática de mercurio*, para poder enrarecer el aire contenido en su interior.

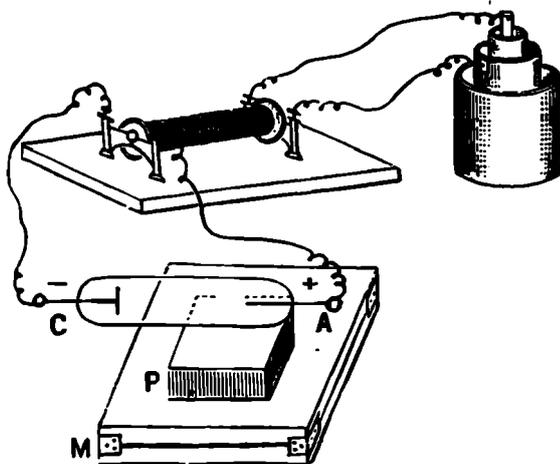


Fig. 199  
Modo de operar

—Dispuesto el aparato como lo indica la figura 199, hagamos funcionar la bobina.

Si la presión interior es la atmosférica, se verá que de uno al otro electrodo salta una *chispa blanca* y muy brillante.

—Si se empieza á enrarecer el aire interior, haciendo funcionar la máquina neumática se verá que la chispa va *desvaneciéndose*, tomando un tinte violáceo y se ensancha hasta llenar todo el tubo.

—Cuando la presión ha llegado á ser solo de *dos á tres milímetros* de mercurio, se verá que *del anodo* parte un penacho luminoso *rojo*, que se extiende hasta más allá del medio del tubo, mientras que el *catodo* aparece rodeado por una *aureola roja violada*, que está separada del penacho rojo, por una banda oscura.

Sigamos *aumentando la rarefacción* del aire interior y se notará, que el penacho se subdivide en *extractos luminosos* que oscilan á lo largo del tubo, pero *la zona oscura aumenta*.

Entonces se dice que la descarga eléctrica está *extra-tificada*.

—Finalmente, cuando la rarefacción ha llegado á tal punto que la presión interior sólo alcanza á unos *diez millonésimos* de atmósfera, *ya no hay luz*, toda traza de ella desaparece.

La zona oscura ha invadido todo el interior del tubo, pero *en cambio*, la pared de vidrio próximo al *anodo*, se hace *fluorescente* é irradia una luz que para los vidrios comunes, es de un color *verde manzana*.

--De esa parte de la pared del vidrio, parten entonces, *en todas direcciones*, y en línea recta, ciertos *rayos* que toman el nombre de *rayos catódicos* y que tienen ciertas propiedades especiales.

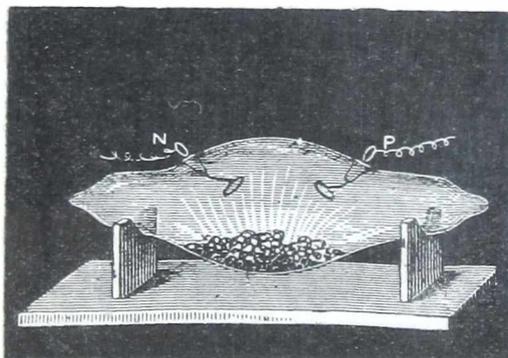


Fig. 200

Fluorescencia y fosforescencia de las piedras preciosas

**305. — Propiedades de los Rayos Catódicos.**— Crookes, Hertz, Lenard y otros, estudiaron entre otras, las siguientes principales *propiedades*:

1º Estos rayos *parten* del Catodo.

2º Los cuerpos electrizados *pierden rápidamente su carga*, bajo la acción de los rayos catódicos, pero no actúan eléctricamente sobre un conductor.

3º Atraviesan más ó menos ciertos cuerpos, dependiendo la *transparencia ú opacidad* de estos cuerpos para esos rayos, de su espesor, el que es de algunos *centésimos de milímetros*.

4º El *aluminio* es transparente para esos rayos.

5º Los gases los *absorben* en gran parte.

6º Son *desviados* por un campo magnético.

7º *Excitan* ciertas sustancias fluorescentes y fosforescentes (*fig. 200*).

8º *Impresionan* las placas fotográficas.

9º Producen acciones mecánicas, pues pueden *poner en movimiento el Radiómetro* (*figs. 201 y 202*).

10º Producen acción *calorífica*, pues la parte de pared del vidrio fluorescente aumenta de temperatura.

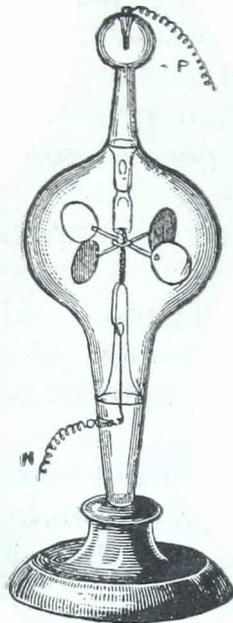


Fig. 201  
Radiómetro

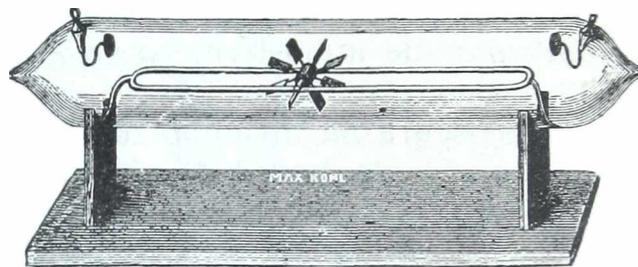


Fig. 202  
Acción mecánica de los rayos

**306. — ¿Qué son los Rayos Catódicos?**—*Crookes* que fué el que más estudió estos rayos, estableció la siguiente *teoría* que trataremos de esbozar.

Él decía, cuando los gases que están en un recipiente soportan la presión ordinaria, sus moléculas al moverse *chocan unas con otras, un número ilimitado de veces*, y de allí se deduce la *igualdad de presión* en toda la masa del gas.

En cambio, cuando como en los tubos de *Crookes*, el vacío es casi perfecto, se tiene un *cuarto estado de la materia*, que él llamaba el estado *Radiante*.

En ese caso, las moléculas ya no chocan unas contra otras y por consiguiente, tienen una completa *libertad de movimiento* y entonces, ya no existe la *igualdad de presión* en el interior de su masa.

Luego, si en ese estado se produce una descarga eléctrica, todas las moléculas *se orientan en su movimiento*, y por consiguiente, esas moléculas van á *chocar* contra la *pared opuesta al cátodo*, donde su *energía actual* se convierte en *energía potencial*, la que se manifiesta por la *fluorescencia* del vidrio.

Había, pues, un completo *bombardeo* de moléculas contra las paredes del tubo.

**307.**—*Herzt* y su discípulo *Lenard*, aceptan por el contrario que los rayos catódicos son producidos por *vibraciones transversales muy cortas del éter*.

Los estudios de *Lenard*, usando un tubo de *Crookes* en el que parte de la pared, estaba constituida por una *lámina de aluminio*, probaron:

1º Que los *rayos catódicos* atravesaban el *aluminio*, pero no el *vidrio*.

2º Que el ojo *no era sensible* á la acción de esos rayos.

3º Los cuerpos más transparentes para la luz son opacos para los rayos catódicos.

4º La propagación se hace tanto más fácilmente, cuanto más perfecto es el vacío del ambiente que él debe atravesar.

**308.**—**Rayos de Röntgen.**—Estudiando precisamente esos rayos catódicos, fué que *Röntgen*, llegó á descubrir los nuevos rayos que llevan su nombre.

Fué efecto de la *casualidad*, pero hasta éstas se pueden explotar cuando caen bajo la observación de maestros como *Röntgen*.

Trataba de aislar un haz de rayos catódicos, á cuyo efecto operando en la cámara oscura, rodeó todo el tubo con una funda de cartón.

Al hacer funcionar la bobina de *Ruhmkorff*, observó que una hoja de papel, que recubierta de una sustancia fluorescente, estaba sobre la mesa á una cierta distancia, *emitía luz*. Esta fué la casualidad, pero él inmediatamente congeturó que esa *fluorescencia* debería ser *excitada por nuevos rayos*, pues *no podían ser* los rayos luminosos ni químicos que no existían, por la opacidad del cartón, ni tampoco los rayos catódicos porque éstos *no pueden atravesar las paredes de vidrio* del tubo de *Crookes*.

**309.**—**Propiedades de los rayos de Röntgen.**—Toda una pléyade de hombres de ciencia se ha lanzado á estudiar las propiedades de estas radiaciones, tratando de conocerlas y dominarlas, para poder *aplicarlas*.

Indicaremos las propiedades *hasta ahora* conocidas y son las siguientes:

1º *La velocidad* de estos rayos es de más de 200 kilómetros por segundo.

2º *Atraviesan todos los cuerpos*, es decir, *todos los cuerpos* son *transparentes* para estos rayos, dependiendo la opacidad solo del *espesor* de los

cuerpos y de la mayor ó menor *potencia* de esos rayos de *Röntgen* como lo veremos más adelante.

3° La mayor ó menor *traspacidad* es *dependiente* de la *densidad*, pero aún no se conoce la ley.

4° Cuerpos *opacos* para la luz son *transparentes* para estos rayos.

Así, atraviesan un libro de 1.000 páginas; una lámina de *aluminio* de 15 milímetros de espesor, una plancha de *madera* de *abeto* de 3 centímetros, etc.

—Damos á continuación una tabla que nos da el grado de *traspacidad* de varios cuerpos, tabla que hemos tomado de un estudio hecho en la Universidad de Padua por los profesores *Vicentini* y *Pacher*, habiendo agregado algunos que han sido últimamente estudiados.

Los *sólidos* tenían 4 mm. de espesor; los *líquidos* estaban contenidos en cajas de papel parafinado con un espesor de 5 mm. y la *traspacidad* *fué* comparada con un *disco* de *cartón*.

## OPACOS

Sólidos	CUARZO SILICIUM
POTACIO	
ESTAÑO	
ZINC	
FIERRO	
LATÓN	
COBRE	
PLOMO	
PLATINO	
MERCURIO	
FÓSFORO	
AZUFRE	
SALGEMA	
ESPATO CALCÁREO	
» FLUOR	
TOPACIO	
ARAGONITA	
BARRITA	
CARBONATO DE PLOMO	
TURMALINA	
BORAX	
VIDRIO	
	<b>Líquidos</b>
	<i>Soluciones salinas saturadas</i>
	<i>á 10° de temperatura</i>
	SULFATO DE ZINC
	» » COBRE
	» » HIERRO
	» » COBALTO
	BICLORURO DE MERCURIO
	CLORURO DE SODIO
	OXALATO NEUTRO DE POTASA
	SULFATO DE MAGNESIA
	BICROMATO DE POTASA
	CLORURO DE AMONIO
	SULFATO DE NICKEL
	CLORURO DE PLATINO
	NITRATO AMÓNICO
	ÁCIDO SULFÚRICO
	» CLORÍDRICO

## SEMI-TRASPARENTES

## Sólidos

ORO  
ALUMINIO  
SODIO  
EBONITA  
CARBÓN DE LAS RETORTAS  
MICA  
CUERO Y PIELS  
GELATINA

## Líquidos

GLICERINA  
AMONÍACO  
ÁCIDO ACÉTICO  
" NÍTRICO  
AGUA DESTILADA  
ALCOHOL

## TRASPARENTES

## Sólidos

AZÚCAR  
CARTÓN  
CARBÓN DE LEÑA  
CERA  
PARAFINA  
DIAMANTE  
COLOFONIA  
GOMA  
CELULOIDE

## Líquidos

ETER  
ETER CON BETUNES EN DISOLUCIÓN  
BENZINA  
ACEITE DE VASELINA  
PETRÓLEO  
ESENCIA DE TREMENTINA  
ANILINA  
ACEITE DE OLIVO

En nuestro gabinete hemos comprobado que los distintos tejidos y órganos, tienen distinto grado de transparencia. El tejido grasoso es completamente transparente.

5° Parece que parten del punto del tubo de Crookes en que excitan la fluorescencia.

6° Son lanzados en todas direcciones y sensiblemente en línea recta (figura 203).

7° Se difunden en los gases.

En la atmósfera encuentran resistencia para atravesarla, pudiendo penetrarla solo por algunos decímetros. La absorción es proporcional a la masa atravesada.

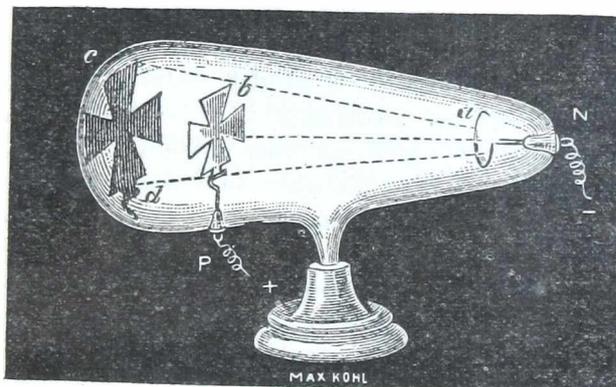


Fig. 203  
Propagación en línea recta

8º *Thompson* dice que la *penetración* de los rayos de *Röntgen* es *proporcional al vacío* que se ha hecho en los tubos de *Crookes*.

Cuando el vacío es casi completo, los cuerpos opacos para estos rayos, como los huesos, se convierten en transparentes.

9º Hasta hoy no se han podido *reflejar* estos rayos.

Sin embargo, se ha comprobado la *Difusión*, es decir, una *reflexión irregular*.

Para esto, *Batelli* y *Garbasso* tomaron un grueso tubo metálico doblado en forma de *V* y colocaron frente á uno de los extremos un tubo de *Crookes*, colocando en el otro extremo ó boca del tubo una *placa fotográfica* destinada á recibir la impresión de un alambre de hierro plegado en *zig-zag*.

Finalmente (*fig. 204*), en el vértice ó codo de ese tubo colocaron interiormente un *espejo metálico plano*.

Hecho funcionar el tubo, la placa fotográfica *reveló el hilo de hierro*.

En vez de un espejo *plano* colocaron una *lámina ondulada* y el resultado fué el mismo.

10. No se han podido *refractar* estos rayos; pero *J. Perrin* operando sobre un *prisma de aluminio*, dice

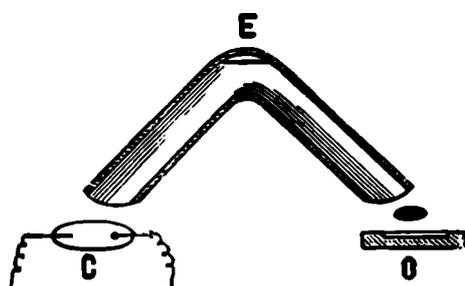


Fig. 204  
Reflexión de los rayos de *Röntgen*

que ha determinado el *índice de refracción* de esa substancia para los rayos de *Röntgen* y ha encontrado que era 0,9996, y como la *diferencia* entre este número y la unidad (0,0004) es tan pequeña, no es posible tener fe en ese resultado.

11. *Röntgen* encontró que esos rayos no eran susceptibles de *polarizarse*; pero el príncipe *Galitzin* ha probado que los rayos *Röntgen* pueden polarizarse, lo cual demostraría que estas radiaciones son producidas por *vibraciones transversales del éter*.

12. Un *campo magnético* no ejerce acción sobre los rayos de *Röntgen*, lo que los diferencia notablemente de los rayos catódicos.

Sin embargo, es necesario verificar esa misma propiedad en el vacío.

13. El profesor *Righi* determinó que estos rayos á semejanza de los rayos *ultra-violetas*, determinan la *dispersión* de las cargas de *electricidad negativa* y dan origen á *cargas positivas*.

También el mismo profesor comprobó que producían la *dispersión* de las cargas de *electricidad positiva*.

Estas acciones electrostáticas de los rayos de *Röntgen* pueden darnos el medio de *medir* la potencia de esos rayos.

14. Los rayos de *Röntgen* excitan la *fluorescencia* de una manera notable.

Basta hacer caer esos rayos sobre una substancia fluorescente para que ésta se ilumine inmediatamente, aún cuando esos rayos hayan atravesado antes algún cuerpo transparente.

—*Edison* ha revisado 1800 cuerpos, y después de encontrar 72 fluorescentes, ha concluido que de todos ellos el más excitado por los rayos de *Röntgen* era el *Tungstato de Calcio Cristalizado*.

15. Los rayos de *Röntgen* impresionan las placas fotográficas, lo cual puede comprobarse colocando sobre un *chasis cerrado* un objeto cualquiera de metal y haciendo caer sobre él, los rayos emanados del tubo de *Crookes*.

Al cabo de un cierto tiempo, reveladas las placas por los procedimientos ordinarios, se tendrá representada la *sombra* ó *radiografía* del cuerpo sobre la placa.

Esa sombra será *blanca* sobre fondo negro, y la prueba *positiva* hará aparecer el cuerpo *negro* sobre fondo blanco.

Los rayos de *Röntgen*, atravesando la madera, que es transparente para ellos, atacó la película sensible, excepto en los puntos en que el cuerpo metálico cubría la placa, pues ya sabemos que los cuerpos metálicos que tienen un cierto espesor se convierten en *opacos* para los rayos de *Röntgen*.

De ese modo ha sido que se ha podido obtener la *sombra radiográfica* de los huesos de un mono, la *silueta* del esqueleto de una rana, de un pez, de un pájaro, etc., para lo cual basta colocar el objeto sobre una placa envuelta en papel negro, para que no pueda ser atacada por la luz solar, y hacer funcionar el tubo de *Crookes*.

Los rayos atraviesan las carnes, venas y nervios y atacan la placa fotográfica, no haciéndolo así en las partes que los rayos no han podido atravesar, como en los huesos, que son *opacos*.

Más adelante indicaremos el procedimiento para conseguir esas *sombras* ó *proyecciones radiográficas*, ó mejor dicho para obtener esas *radiografías*.

**310.—¿Qué son los rayos de Röntgen?**—Difícil es contestar á esta pregunta; pero nosotros, basándonos en las teorías y observaciones apuntadas anteriormente, expresaremos nuestra opinión, en la creencia de que ella, discutida, podría dar lugar en nuestro pequeño mundo científico á estudios serios que redundarían en bien de la ciencia.

--Creemos que esta es *una de las tantas manifestaciones de la energía universal*, manifestaciones que nos están continuamente sorprendiendo porque aún no hemos llegado á conocer la energía *una*.

Nuestros burdos sentidos no han podido aún *apreciar todas* las manifestaciones de la energía *universal*, y sólo poco á poco hemos podido ir

conociéndolas, y eso sí, aplicándolas inmediatamente al bienestar de la humanidad

Al principio sólo conocíamos la acción de la gravedad, de la luz, del sonido y del calor.

Utilizamos la gravedad en forma de la caída de aguas para obtener *movimiento* y, por consiguiente, trabajo, y así seguimos hasta que Galileo nos indicó que teníamos una gran energía en la presión atmosférica, la que utilizó *Papin* construyendo su *máquina á vapor* á simple efecto, para tener *hoy* esas enormes fuentes de trabajo llamadas *Máquinas á vapor*.

Sabíamos que el *ámbar*, frotado, atraía cuerpos livianos, y seguimos así hasta que vino *Volta* y *Galvani* y nos indicaron los principios de la *Electricidad Dinámica*, que hoy nos dan las maravillas de las aplicaciones eléctricas.

—Conocíamos que necesitábamos *luz* para ver, hasta que los hijos de *Zacarias Hanzen* indicaron casualmente el método de hacer los anteojos, que nos permiten ver á grandes distancias, nos han permitido estudiar los astros y ligar nuestro mundo á los infinitos mundos, estudiar la acción que ellos ejercen sobre nosotros y hasta conocer de qué sustancias están compuestos, como lo han hecho *Kirckhoff* y *Bunsen* con las estrellas y la *atmósfera del sol*, aplicando el análisis espectral.

Todas esas han sido *conquistas de la ciencia*, paulatinas y á veces inesperadas y casuales; pero nuestros sábios antecesores, de la casual colocación de dos lentes, de las conmociones que experimentaban los miembros de una rana muerta colgada de una ventana, de los movimientos que experimentaba la tapa de una marmita cuando hervía el agua, supieron legarnos las maravillas que hoy poseemos en forma de *aplicaciones* prácticas de la luz, el calor y la electricidad. Así también el descubrimiento *casual* del profesor *Röntgen* nos preparará en lo futuro aplicaciones útiles de las propiedades de estos nuevos rayos.

**311.**—Como lo dijimos al tratar de la energía, nosotros creemos que el el sonido, la luz, el calor, la electricidad, los rayos catódicos, los rayos de *Röntgen*, etc., no son más que manifestaciones de la energía. Todas esas manifestaciones son movimiento ó vibraciones que se transmiten de un punto á otro, teniéndose por la variación de *longitud de onda* y el *número de vibraciones* por segundo, la manifestación de cada uno de dichos fenómenos.

Un cuerpo que vibra con pequeña rapidez nos dá fenómenos *acústicos*; si la velocidad aumenta tenemos fenómenos *caloríficos*; si el movimiento se hace más rápido se tienen los fenómenos *luminosos*; si el movimiento es más rápido aún, se tienen los rayos de *Röntgen*; y finalmente, si la velocidad de vibración es mayor se obtendrán los fenómenos *eléctricos*.

**312.**—La diferente longitud de onda, nos explicaría el por qué un cuerpo que es opaco para la luz es transparente para el calor ó para los rayos *Röntgen*, ó viceversa.

Efectivamente, supongamos que *L* (*fig. 205*) represente un rayo lumi-

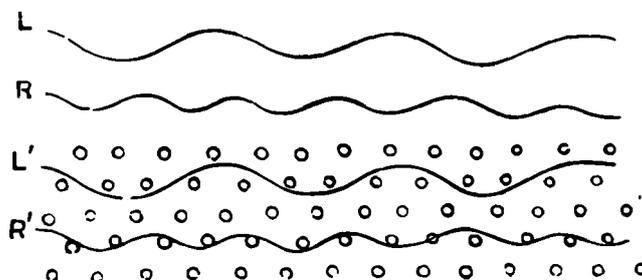


Fig. 205  
Opacidad y transparencia

noso y *R* un rayo de *Röntgen*, y supongamos también que esa serie de puntos que se indica en la figura represente las moléculas de un cuerpo.

Si éstas están agrupadas como lo indica la figura, vemos que *el rayo de luz L' atravesará dicho cuerpo y que el rayo de Röntgen R' se verá interceptado*, pues chocará con ellas.

Entonces el cuerpo sería *opaco para los rayos de Röntgen y transparente para la luz*.

Si el agrupamiento de las moléculas fuera distinto, podría suceder que el cuerpo fuera *opaco para los rayos luminosos y transparente para los rayos de Röntgen*.

Luego vemos que aceptando esto se tiene la *explicación de la opacidad y transparencia de los cuerpos para los distintos rayos, acústicos, caloríficos, luminosos y eléctricos*.

**313.**—Examinando nuevamente lo que sucede en el experimento que indicamos de lanzar un proyectil contra una coraza, tendríamos la explicación de los varios fenómenos que observamos, suponiendo que al producirse el choque *hay moléculas que vibran con una velocidad no mayor de 70.000 vibraciones por segundo*, y de allí *el sonido*, otras moléculas vibran con una velocidad superior, de donde sacamos *el calor*; otras moléculas que vibran con más de 450 trillones de vibraciones por segundo, lo que producirá *la luz*, y finalmente, otras moléculas cuya rapidez de vibración pasará de 780 trillones por segundo, lo que dará lugar a los *rayos de Röntgen y a la Electricidad*.

—La energía ha sido *una*, y sin embargo hemos tenido *varias manifestaciones* de ella.

**314.**—Podemos tomar este otro ejemplo.

Lancemos en un conductor delgado de cobre, el que ofrecerá, por consiguiente, *mucha resistencia*, una enérgica corriente eléctrica, y si nuestro órgano auditivo tuviera la suficiente sensibilidad, *oiríamos un sonido*, como se oye, según Grove, al imantar y desimantar una barra de hierro dulce; *sentiríamos* que el hilo se *calienta*, y finalmente, *veremos* que se pone incandescente.

¿Por qué ha sucedido eso?

Porque la onda eléctrica, rápidamente lanzada al conductor, trató primeramente de poner en vibración á las relativamente *inertes* moléculas del cuerpo, las que empezaron á animarse de un cierto movimiento, convirtiéndose cada molécula en un centro de ondas *sonoras*. Pero como la energía *eléctrica* siguió llegando y ya las moléculas estaban animadas de un cierto movimiento vibratorio, este movimiento fué haciéndose *más rápido*, produciendo así manifestaciones de *calor*. Siguen llegando ondas eléctricas y siguen comunicando su movimiento á las moléculas, las que aumentando de rapidez, dan manifestaciones de *luz*, como tenemos en las *lámparas eléctricas á incandescencia*; y finalmente, aumentando aún más la velocidad del movimiento, tenemos la producción de *rayos de Röntgen*, como lo han comprobado recientemente *Violle, Guillaume* y otros. usando las lámparas de *Swan* como fuente de producción de los rayos de *Röntgen*.

**315.**—Aceptando estas ideas y que las moléculas están distintamente agrupadas en los diferentes cuerpos, se tendrían explicados todos los fenómenos, que hasta ahora se han estudiado, producidos por los rayos de *Röntgen*.

**316.**—¿Por qué no los vemos?—Los profesores *Darix* y *Rochas*, explican la insensibilidad *del ojo* para los rayos de *Röntgen*, debido á que los *medios* del ojo, como ellos lo han constatado (24 de Febrero de 1896), *son opacos* para esos rayos.

Sin embargo, el doctor *C. M. Gariel*, profesor de la Facultad de Medicina de París, comunica á la *Semana Médica* (20 de Enero 1893) que *los medios del ojo son transparentes para los rayos de Röntgen*.

Las dos son opiniones respetabilísimas y *constatadas*, según lo manifiestan, pero las dos están en desacuerdo.

Tenga razón cualquiera de esas dos autoridades, nosotros *creemos* que los rayos de *Röntgen*, *nunca excitarán el nervio óptico* porque el número de vibraciones que los producen, han pasado el *límite*, para el cual este nervio es sensible.

Es *análogo* á lo que sucede con el sonido cuando éste es producido por más de 70 mil vibraciones por segundo. Sonido se producirá, pero el nervio acústico es *insensible* para un número de vibraciones que pase de 70 mil.

Lo mismo, *el nervio óptico no será sensible* para un número de vibraciones superior á 780 trillones por segundo, que es el número de vibraciones, que corresponde al color violado, *límite del espectro visible*.

Que el número de vibraciones que producen los rayos de Röntgen, es mayor que 780 trillones por segundo es evidente, pues habiéndose aceptado que los Rayos catódicos corresponde en el espectro á la zona *ultra-violeta* y dada la analogía que existe entre los rayos catódicos y los de Röntgen, debe aceptarse que estos últimos rayos corresponden á un número de vibraciones mayor que el que corresponde al violado.

En el gabinete del Colegio Nacional hemos comprobado que el Dr. *Gariel*, tiene razón. Para verificarlo hemos conseguido de la Facultad de Medicina un ojo de una niña y atravesando ese ojo en varias direcciones por medio de un alfiler y recibiendo su radiografía sobre una pantalla fluorescente, hemos podido comprobar con nuestros discípulos que se veía *clara y nítidamente*, el alfiler colocado en el interior del ojo. Luego ciertos ciegos, indudablemente podrán ver, aunque no distinguan los detalles, colores, etc.

**317.—Experimentos anteriores.**—La presencia de estos rayos de Röntgen ú otros semejantes, se había revelado varias veces desde el año 360 de nuestra era, sin que el estado de la ciencia hubiera permitido entonces determinar su origen, sus propiedades y sus aplicaciones.

*San Gregorio de Naziance* hablando de la reconstrucción del templo de Jerusalem ordenada por *Juliano* (año 360) dice, que mientras los obreros trabajaban, se produjo una fuerte tormenta de viento, seguida de un temblor, por cuyo motivo los obreros corrieron á refugiarse á una iglesia cercana, viendo enseguida, formarse en el cielo una *cruz luminosa*, rodeada de un círculo de fuego, y lo más notable aún, que *sobre la ropa y piel de muchos de ellos se había impreso una cruz*.

Esto podría explicarse diciendo, que la descarga de la electricidad de las nubes, haciéndose sobre la *cruz de hierro de la iglesia*, que es un buen conductor, la parte de los rayos eléctricos que la *atravesaban*, disminuían su número de vibraciones, se convirtieron en rayos de Röntgen, los cuales polarizando las moléculas superficiales de la piel según los *contornos* (de la cruz) que la habían herido, dejaron grabada esa polarización.

Respecto á la *multiplicidad de las imágenes*, se explicaría diciendo, que no fué una sola descarga, la verificada, sino un sinnúmero de ellas *simultáneas*.

Finalmente; la *dimensión reducida* de la imagen, se explicaría diciendo, que los rayos eléctricos que producían los de Röntgen eran *convergentes* y de allí la producción de esa *reducción*.

**318.**—A principios del siglo XVII el obispo de *Wells* (Inglaterra), se encontraba diciendo misa en la Catedral, cuando cae un rayo. Los asis-

tentes á la misa se arrojan al suelo y después de haber pasado el hecho, sin causar víctimas, se constata que el obispo, su esposa y la mayor parte de los presentes, tenían *grabada* en su cuerpo la imagen de la cruz.

—Cuenta *Franklin* que un hombre parado en la puerta de su casa vé caer un rayo sobre un árbol y enseguida la *imagen exacta del árbol se encuentra reproducida sobre el pecho de ese hombre.*

—En Lúgano una señora llamada *Morosa* está cerca de una ventana sobre la cual hay una planta con *una flor.*

Cae un rayo y la imagen de esa flor queda grabada sobre la pierna de la dama y la conservó hasta su muerte.

—Como último y notable caso de *imágenes fotofulgurales*, cita *Santini* el siguiente:

—El 18 de Julio de 1689, cae un rayo sobre el campanario de la iglesia de San Salvador en Lagny, y el cartón en el cual estaba impreso el cánon de la misa, colocado sobre el altar, queda roto en cuatro pedazos, y sobre el mantel quedan grabadas las *palabras de la consagración* que estaban impresas en *tinta negra* y se salteaban las palabras *sagradas* figuradas en *letras rojas.*

Se leía:

«*Qui pridie quam pateretur...*» se salteaban las palabras impresas en rojo: HOC EST ENIM CORPUS MEUM, continuaba «*Simili modo postquam coenatum est...*»

Como es natural, esto fué considerado como un milagro.

Se mandó al Benedictino *Lamy*, sabio profesor, el que dijo: «la tinta negra es á base de *negro de humo*, la tinta roja es á base de *vermellón*» y es necesario buscar en la diferencia de composición de esas dos tintas, la impresión de los caracteres con tinta negra y la supresión de los caracteres rojos.»

Rayos de *Röntgen* puros, pues el negro de humo según los últimos experimentos es como todos los carbones, *transparente* y el vermellón que es un compuesto de *mercurio*, es sumamente *opaco*: luego, esa es la razón de este notable fenómeno.

—El profesor *Henry* ha oído, por distintas fuentes que habiendo sido herida una persona por el rayo, estando cerca de una pared blanqueada de cal, se vió *sobre la pared la imagen* de esa persona, dibujada de un color gris.

**319.**—Además de estas imágenes *foto-fulgurales*, el profesor alemán *Moser* por intermedio de *Humboldt* y *Regnault* comunicó á la Academia de Francia (20 Agosto 1842) que según sus observaciones:

«*Todos los cuerpos irradian luz*, aún en la obscuridad.

«*Estos rayos tienen una refrangibilidad mayor* (como los *Röntgen*) que los que provienen de la luz solar.

• Dos cuerpos, imprimen *constantemente su imagen* uno sobre el otro, aunque estén en la obscuridad completa.

• Hay una *luz latente* como hay un calor latente, etc. •

*Humboldt* comunica en su nota, que él ha presenciado los experimentos de *Aschersohn* sobre las imágenes *Moserianas* y que la formación de las imágenes en la obscuridad *contacto y á pequeña distancia*, es una realidad.

—*Breghet*, después de esto, hace notar que en las segundas tapas de los relojes, al cabo de un cierto tiempo, se encuentra *reproducido* el nombre del fabricante, que está grabado en la primera tapa.

En este caso, las tapas no están en contacto.

—*Moser* hace notar también, que si se tiene un cuadro cubierto con un vidrio, después de un cierto tiempo, *sobre el vidrio se reproduce* la imagen del cuadro.

En este caso, como en el del reloj si la imagen es invisible se hará visible cubriéndola con una capa de vapor, por ejemplo, con el que arroja el aliento.

Estas imágenes son muy ténues y fáciles de destruir por el frotamiento.

**320.**—Finalmente, citaremos un último fenómeno notabilísimo, que nos comprueba la existencia de radiaciones aún desconocidas.

Un señor *Ingles Regus*, mira una moneda en plena luz *con la idea de grabar su imagen en la retina*, y después dirige su mirada al centro de una placa fotográfica.

Al cabo de 43 minutos, revelada la placa, muestra los *contornos* de la moneda.

Renovado el experimento en presencia de tres testigos, los doctores *Bouchay, Boskilli y Coath* y operando sobre un timbre postal, lo miró en plena luz durante un minuto y en seguida fijó la mirada durante veinte minutos sobre una placa fotográfica.

Revelada la placa, dió una imagen de la estampilla, aunque desprovista de detalles.

Esto es admirable.

—Citaré este último caso de imágenes *Moserianas*, que también es notable por que esas imágenes han persistido y persisten desde *hace 36 años*.

El caso es el siguiente:

En Montevideo y durante varios años en una casa de la calle Buenos Aires entre Cámaras é Ituzaingó estaba ubicado el *Colegio de San Pedro*, que después se convirtió en Instituto Nacional.

Grandes letras de hierro galvanizado estuvieron durante varios años en el frente de la casa, con el nombre del Colegio.

El año 1870, se trasladó el establecimiento á una casa propia y las letras del frente que decían *Colegio de San Pedro* se retiraron.

Hoy, después de ¡38 años! se puede leer sin esfuerzo en el frente de la casa, *Colegio de San Pedro*. Todo ese transcurso de tiempo, la acción atmosférica, varios blanqueos, con pinturas de distintos colores, nada ha podido borrar dichas letras.

**321.—Aplicaciones de los Rayos de Röntgen.**—Múltiples son las aplicaciones que ya han recibido los nuevos rayos de *Röntgen*.

Aprovechando la transparencia de los tejidos de los músculos, venas y nervios, los cirujanos ya han aplicado estos rayos para determinar la posición de los cuerpos extraños en el interior del cuerpo humano y determinar la forma de una fractura.

—Agujas, balas, etc., han sido reveladas en las radiografías que se obtienen por medio de estos rayos, facilitando por consiguiente la obra de los cirujanos.

—Ciertas enfermedades que se diagnostican por la deformación de los huesos ó por la modificación de su constitución, como en las afecciones tuberculosas, han podido ser diagnosticadas después de haber obtenido la radiografía de esos huesos.

—Cajas infernales, han podido ser analizadas sin peligro, pues ciertas pólvoras y los metales son opacos para estos rayos, luego revelan en la placa sensible su presencia en el interior de la caja.

—El correo de Paris, se vale de los *Rayos de Röntgen* para descubrir si en el interior de las cartas, vienen objetos extraños, sin necesidad de romper los sobres.

—*Bleunard* ha conseguido fotografiar la escritura de una carta contenida en un sobre cerrado. Sin embargo, no todos los papeles y tintas dan buen resultado.

Para impedir cualquier indiscreción, bastará envolver la carta en un papel de estaño, antes de meterla en el sobre.

—Los diamantes falsos se caracterizan perfectamente, pues el diamante como todos los carbonos es transparente para estos rayos y los falsos son opacos.

—El doctor *Kissling* de Hamburgo ha obtenido una *imagen del embrión* á través de las paredes abdominales y uterinas de una mujer en cinta.

**322.**—En todas estas aplicaciones, el método usado ha sido obtener la radiografía ó sombra del cuerpo opaco, colocado sobre una placa fotográfica.

Este medio, si bien deja constancia de lo operado, tiene el inconveniente de ser demasiado laborioso, por cuyo motivo *Salvioni* con su *Criptoscopio* y *Edison* con su *Fluoroscopio* y pantallas permiten ver las siluetas ó sombras *directamente*, sin la necesidad de la fotografía.

**323.—Experimentos posteriores.**—Después del descubrimiento de *Röntgen*, se han iniciado trabajos para determinar si existen otras fuentes de rayos de *Röntgen* y los resultados más notables han sido obtenidos por *Henry* y por *Le-Bon*.

*Henry* prueba que el sulfuro de zinc fosforescente, emite junto con sus rayos verdes una gran cantidad de *Rayos de Röntgen* activos fotográficamente, cualquiera que sea la iluminación, que haya excitado la fosforescencia.

*Le-Bon* constata, que obtiene radiografías á través de los cuerpos opacos, usando una lámpara de *Petróleo*.

Estos dos hechos, vendrían á confirmar el esbozo de teoría que hemos indicado, según la cual, donde hay una manifestación de energía suficientemente poderosa, también habrá producción de rayos de *Röntgen*.

**324.—Modo de operar.**—Para obtener la sombra radiográfica ó silueta de un objeto á través de cuerpos opacos, podemos valernos de dos medios.

Ya sea por medio de las *pantallas fluorescentes* ó bien por medio de las *placas fotográficas*.

El primer método, de la *visión directa* de la sombra proyectada sobre una pantalla fluorescente, tiene la *ventaja* de la rapidez con que se puede operar, pero tiene el *inconveniente* de presentarnos *poca nitidez* en los contornos, mientras que por medio de las placas fotográficas, después de cierta práctica se tienen radiografías que pueden compararse con fotografías y *queda constancia* del resultado obtenido.

**325.**—Si se quieren usar las pantallas fluorescentes se prepara ésta sobre una hoja de papel, lienzo ó cuero recubierta con una capa de la sustancia fluorescente que se elija, ya sea el sulfocianuro de Bario, el Sulfuro de Calcio ó el *Tungstato de Calcio cristalizado* que *Edison* después de haber ensayado 1800 sustancias, preconiza como el cuerpo más fluorescente.

Esta capa de sustancia fluorescente, después de reducida á polvo menudísimo, se aplica sobre la pantalla por medio de cola de pescado ó una capa de parafina, es decir, se aplica primero la cola ó la parafi-

na y enseguida se polvorea con la sustancia fluorescente.

Preparada así la pantalla, se envuelve el tubo de Crookes que debe producir los *Rayos de Röntgen*, en un papel negro, y en seguida se acerca la pantalla, á una distancia de 10 á 30 centímetros, colocándola de manera que esté frente al tubo, la cara *no fluorescente*.

Puesto un cuerpo opaco entre el tubo y la pantalla, se verá proyectarse sobre ella la silueta de dicho cuerpo.

—Puede también colocarse esa pantalla, en la extremidad de un tubo abierto y ennegrecido interiormente, poniendo la pantalla de manera que la sustancia fluorescente corresponda al interior del tubo.

Como antes, mirando por el extremo libre, é interponiendo un cuerpo opaco entre el tubo y la pantalla, se verá sobre ésta, la sombra del cuerpo.

Conviene obrar en una cámara oscura y envolviéndose como hacen los fotógrafos, la cabeza, con un paño negro.

Es necesario tener los ojos en reposo antes de la observación, para poder acostumbrarse á esa luz especial.

**326.**—Cuando se quiere operar con las placas fotográficas, se empieza por colocar éstas dentro de su *chasis* ó en una caja de cartón envuelta en papel negro, para evitar que la luz difusa ataque la placa, y así dispuesta, se pone *frente al anodo* del tubo de Crookes, *con la película sensible hacia arriba*.

La figura 199 nos indica la disposición que se debe adoptar.

*M* es el *chasis* que contiene la placa fotográfica. Sobre él se coloca el objeto *P* apoyado sobre la tapa del *chasis* ó dentro de una caja de cartón, y sobre el objeto y á una distancia de 20 ó 30 centímetros, el tubo de *Crookes* que está en comunicación con la Bobina de *Rumkorff*.

Los tubos de *Crookes*, fuente de los *Rayos de Röntgen* pueden ser esféricos, cilíndricos ó en forma de pera.

—Lo que es necesario, es que estos tubos tengan las paredes lo más delgadas posibles y *que el vacío se lleve hasta el último límite*, pues se ha probado, que la *fuerza de penetración* de los rayos, es proporcional al enrarecimiento producido.

—La exposición del objeto ante la placa, usando los tubos comunes y una bobina que da chispas de 10 á 15 centímetros de longitud, puede variar entre 1 minuto y una hora según los cuerpos que los rayos deben atravesar. Usando los tubos *Focus* bastan pocos segundos.

En vez de usar la bobina de *Rumkorf* puede usarse la máquina de *Holtz* ó mejor, el carrete de *Tesla*, en cuyo caso la exposición durará solo *algunos segundos*.

Cuando el tubo pierde su fuerza puede regenerarse *invertiendo la corriente*.

—*Colardeau* ha construido un tubo de *Crookes* que representamos en tamaño natural (*fig. 206*).

Con ellos ha conseguido una extrema nitidez en las radiografías y un tiempo de exposición de *pocos segundos*.

El tubo lateral *M* debe ponerse en comunicación con un recipiente cerrado en el cual se hace permanentemente el vacío, por medio de una máquina neumática.

Si el objeto cuya radiografía se quiere hacer, es un poco extenso, *debe aumentarse la distancia* entre el tubo y el objeto, pues de lo contrario se tendrá una imagen poco uniforme.

En la figura, *C* es el *disquito* que constituye el catodo, siendo la varilla *P'*, el *anodo*.

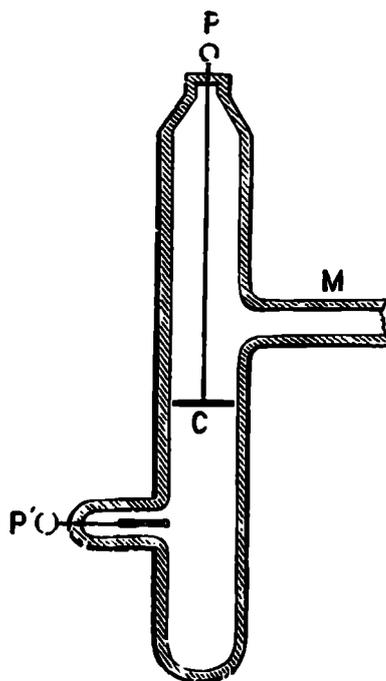


Fig. 206  
Tubo de Colardeau

La placa fotográfica y el objeto deben ponerse debajo del tubo, es decir, frente á la *pared anticatódica*.

*Radiguet* indica que para hacer más potentes los Rayos de Röntgen, conviene rodear el tubo alrededor del Catodo, con una hoja de estaño, como se hace con la botella de *Leyde*.

Cuando se usan fuertes corrientes, los tubos al calentarse se hacen blandos y son perforados, para evitar lo cual, *d' Arsonval* sumerge el tubo, del lado del anodo, en una cápsula de celuloide llena de agua, todo lo cual es trasparente para los Rayos de Röntgen.

—*Henry* recomienda recubrir el cuerpo que se quiere radiografiar, con una capa de *sulfuro de zinc* fosforescente, porque de ese modo á la acción de los Rayos de Röntgen, se agrega la acción de la fosforescencia.

—Con los tubos construidos hoy, se puede obtener la radiografía de la mano en 5 segundos y cuando no se desea más que el perfil de la mano, bastan 1 ó 2 segundos.

—*James Chappuis*, reduciendo á 4 por segundo, las descargas de la bobina, ha conseguido en un cuarto de segundo, la impresión de las placas sensibles.

Para hacer más rápidas las impresiones de las placas, *Benoist* aconseja emplear sales de platino en vez de sales de plata para preparar dichas placas.

—Cuando hay objetos que por su espesor ú opacidad, son impenetrables para los rayos de Röntgen, *Carpentier* ha conseguido la radiografía por un método indirecto.

Al efecto, por medio de una prensa ó balancín, obtiene un molde ó reproducción del cuerpo, sobre un cuerpo trasparente para los Rayos de Röntgen como el aluminio y enseguida, se procede sobre este molde.

—Estas operaciones pueden hacerse de día, pero teniendo cuidado de que la placa fotográfica no sea atacada por la luz difusa.

—Después que la placa ha estado el tiempo necesario, frente al tubo de *Crookes*, los rayos de *Röntgen* atraviesan los cuerpos transparentes como la tapa de madera del chasis, la caja de cartón, el papel negro, etc., y ataca la película sensible, mientras que en los puntos que esos rayos en su paso, han encontrado cuerpos opacos como los huesos, los metales, etc. no atacan la placa; luego, ésta, revelada, nos dará un negativo análogo al que nos dá la *fotografía*.

Como es natural, *no se tiene más que una proyección* del cuerpo opaco.

Los tubos *Focus* actualmente en uso, tienen el catodo constituido por un espejo cóncavo que reconcentra los rayos sobre un anticatodo formado de una placa de platino, de donde salen los rayos X.

Este anticatodo se calienta mucho hasta enrojecerse; para evitar eso se rodea el anticatodo con un depósito de agua.

—Sucede á veces que con el uso los tubos *se endurecen* debido á que el vacío se ha hecho demasiado perfecto y entonces conviene *ablandarlo*, es decir, introducir en el tubo un poco de gas, lo que se obtiene adaptando al tubo un tubito de platino y calentándolo con un mechero de gas. El hidrógeno atraviesa el tubito y penetra en el interior del tubo, *regenerándolo*.

**327.—Clichés.**—A continuación, reproducimos tres grabados de radiografías obtenidas en La Plata y Montevideo.

El primer *cliché* (*fig. 207*) ha sido obtenido por el doctor (abogado) *Claudio Williman*, profesor de Fís-



Fig. 207  
Primera radiografía en el Río de la Plata

ca en la Universidad, Facultad de Ingenieros y Academia Militar de Montevideo y hoy presidente de la República.

Representa una placa de plomo, la que se ha recortado de manera que deje libre paso á los rayos de Röntgen, con lo cual se ha conseguido la radiografía de

las palabras que en ella se leen. Ha sido la primera radiografía obtenida en el Río de la Plata.

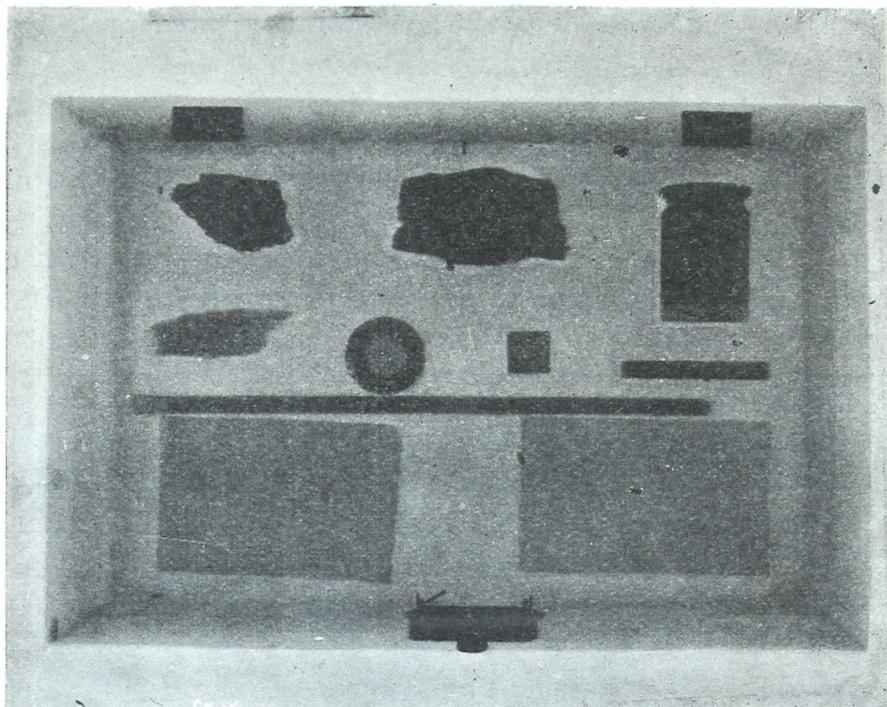


Fig. 208  
Radiografía obtenida en el Instituto de Física

327.—La *segunda* radiografía (*fig. 208*) es la de un estuche que contiene una pilita de Radium, un espintariscopio, un trozo de pechblenda, otro de cuarzo, etc.

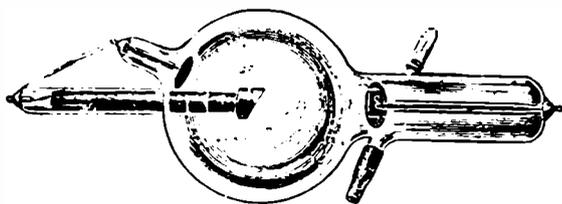


Fig. 209  
Tubo de Focus

Fué obtenida en el *Instituto de Física de la Universidad Nacional de La Plata*, usando un tubo Focus de Poythoulet, (*fig. 209*) una bobina que dá diez centímetros de chispa y una exposición de 6 segundos.

Fué obtenida en el *Instituto de Física de la Universidad Nacional de La Plata*, usando un tubo Focus de Poythoulet, (*fig. 209*) una bobina que dá diez centímetros de chispa y una exposición de 6 segundos.



Fig. 210  
Radlografia obtenida en el Instituto de Física

**329.**—La *tercera* (*fig. 210*) es una magnífica radiografía de una mano en la que se observa perfectamente la anquilosis entre la segunda y tercera falange del dedo meñique.

Fué obtenida en el mismo establecimiento haciendo uso de la misma bobina, mismo tubo y una exposición de 4 segundos.

**330.**—**Criptoscopio.**—El profesor *Salvioni* ideó un aparato muy sencillo, por el cual se puede ver directamente la sombra de los cuerpos opacos para los Rayos de Röntgen. á través de los cuerpos *transparentes* para estos rayos, aunque *opacos* para los luminosos.

Al efecto, hizo un tubo cilíndrico de cartón ennegrecido interiormente, en una de cuyas bases adaptó una pantalla fluorescente con la capa fluorescente hacia el interior del cilindro y cerró la otra base por medio de un lente que servía de ocular.

Interpone el cuerpo que quiere *ver*, entre la base del tubo que tiene la pantalla y el tubo de Crookes y mira enseguida por el ocular. Sobre la pantalla se distingue la silueta ó sombra del cuerpo opaco.

**331.**—**Fluoroscopio** —*Edison*, ha ideado un aparato *portátil*, por medio del cual los cirujanos pueden *ver* inmediatamente si hay algún cuerpo extraño, como una bala, en el interior del cuerpo, examinar una fractura de los huesos, etc.

El aparato consiste en una caja cuya tapa superior es de cartón y en cuyo interior hay una batería eléctrica, bobina, tubo de Crookes, etc.

Una segunda caja más pequeña y de forma de un tronco de pirámide, cuya base pequeña se adapta á los ojos, sujetándola á la cabeza por medio de un elástico ó dos cintas anudadas, y la base mayor está formada por una lámina de cartón en cuya cara interior se ha pegado una lámina de cuero cubierto por una capa de *tungstato*

*de calcio* cristalizado, que es la sustancia más fluorescente que encontró *Edison*, después de haber ensayado 1800 cuerpos distintos.

Se coloca sobre la caja que contiene el tubo de Crookes, el miembro ó la parte del cuerpo humano que se quiera examinar, se hace funcionar la bobina y entonces, el cirujano está munido del fluoroscopio y con la cabeza cubierta con un paño negro para evitar la acción de la luz difusa, *verá* los huesos ó cuerpos extraños que hay en el interior del cuerpo humano.

—Creemos, que una vez que se encuentren fuentes más poderosas de producción de rayos de *Röntgen*, como ya se han conseguido por medio de los tubos construídos por *Pouillet*, será posible *ver* no solo la proyección de los huesos, sino también los diferentes vasos y glándulas que hay en el cuerpo humano, para lo cual, talvez baste interponer entre el criptóscopo ó fluoroscopio una ó varias láminas de aluminio ó cualquier otro cuerpo semitransparente, del mismo modo, que debemos usar un vidrio ahumado ó cuerpo semitransparente para *mirar* el sol.

Es indudable que todas las partes del cuerpo humano como ser músculos, nervios, vasos, glándulas, etc., no han de ser *igualmente transparentes*, y por consiguiente, lo mismo que con la luz solar se obtiene la *sombra* de un cuerpo tan *transparente para la luz* como un nítido cristal, también podrá obtenerse la sombra ó radiografía de esas distintas partes del cuerpo humano.

— Hay una pléyade de hombres de ciencia que buscan las aplicaciones de los rayos de Röntgen, todos los gabinetes de física están puestos á contribución y se llegará.

—No queremos terminar este capítulo sin indicar otra aplicación de los rayos de Röntgen, que me ha sido sugerida por nuestro distinguido amigo el contra-almirante *Daniel de Solier*.

Me decía: «El *tiburón* no vé en el agua sino á corta distancia, por cuyo motivo él, se hace dirigir por ciertos

pecesillos que *tienen buena vista* y que nosotros marinos llamamos *pilotos*, luego, si los peces *vén* debajo del agua, nosotros también debemos ver..... todo depende de hallar los lentes convenientes.

«Los distintos defectos de la vista son corregidos por medio de lentes convergentes ó divergentes, busquemos pues el medio de corregir ese *poco poder* de nuestra vista, ya sea aumentando la sensibilidad de la retina ó ya sea *reduciendo la energía* de los rayos de *Röntgen*, que indudablemente también han de estar dentro del agua».

Hasta hoy, debido á la deficiencia de elementos del gabinete de física del Colegio Nacional, deficiencia que está en vías de desaparecer, no nos ha sido posible hacer ensayos de algunas ideas que se nos han ocurrido, para satisfacer este deseo de nuestro distinguido contra-almirante, pero estampamos aquí la idea de un curioso problema que creemos debe tener solución.

Muchos ciegos no tienen atrofiado el nervio óptico, luego éste se halla habilitado para transmitir sensaciones ópticas.

¿No podrán excitarlos los rayos Röntgen?

Ya sabemos que estos rayos *se reflejan irregularmente*, mañana obtendremos la reflexión *regular*, después encontraremos los *medios* que la hacen sufrir *refracción* y entonces sí, éste y otros grandes problemas que nos sugieren las pocas propiedades conocidas de los rayos de Röntgen, tendrán inmediata solución.

Así sucederá.

**332.**—Otra de las aplicaciones que tendrán indudablemente estos rayos, es la acción terapéutica para ciertas enfermedades.

Que tiene una acción desorganizadora es indudable, pues al exponer la mano ó cualquier otra parte del cuerpo á la acción continuada de los rayos de Röntgen, se comprueba que es un excelente depilatorio, produciendo á veces hasta ulceraciones.

---

Teniendo esa acción desorganizadora, es indudable que deben tener acción sobre los microbios, luego, pues, me permitiría aconsejar á los médicos que tienen salas en los hospitales, que trataran de aplicar estos rayos á los tumores blancos, por ejemplo, notando al mismo tiempo los efectos patológicos que pueden producir.

Es necesario proceder con cautela pues la acción patológica es segura y en la clínica de más de un médico han pasado casos que convendría citar para que los incompetentes no se atrevieran á aplicarlos.

## CAPÍTULO XIV

MAQUINAS Y MOTORES

---

**333.—División de las máquinas eléctricas.**—Se llaman *máquinas electromagnéticas*, unos generadores de corrientes que fundados en la inducción, transforman el trabajo mecánico en *energía eléctrica*.

Si la inducción se verifica por medio de *imanes permanentes*, las máquinas toman el nombre de *Magneto-eléctricas* y si la inducción se hace por medio de *electro-imanes* las máquinas se llaman *Dinamo-eléctricas*.

—Estas máquinas están formadas de:

Un sistema *inductor*.

Un sistema *inducido*.

Un aparato *colector*, encargado de recoger las corrientes producidas.

—Las máquinas electromagnéticas, se dividen también en *máquinas á corrientes continuas* y en *máquinas á corrientes alternativas*.

En las primeras, la corriente permanece *casi constante* como en las pilas y en las segundas, la corriente es variable y continuamente *cambia de sentido*, á intervalos muy cortos.

En realidad no existen máquinas á corrientes *continuas*, sinó que siempre se producen corrientes alternativas, pero por medio de un artificio especial, se *enderezan* las corrientes.

—Entre las máquinas á corrientes continuas, tenemos

la de *Gramme* y entre las á corrientes alternativas tenemos las de *Clarke* y *Siemens*, de las que daremos una idea somera.

**334.—Idea de las máquinas á corrientes continuas.**—El tipo de esta clase de máquinas es la de *Gramme* (*fig. 211*) que consta de un *anillo* formado de hilos de fierro dulce, móvil alrededor de un eje *A*, perpendicular al plano de un imán *Jamin*.

Sobre este anillo (*fig. 212*) están enrolladas una serie de bobinas  $P_1, P_2, P_3,$  aplanadas, las cuales forman un solo circuito, pues el hilo  $f_1$  de una bobina, está ligado con el hilo  $c_2$  de la bobina siguiente y así sucesivamente.

El *anillo* y las bobinas constituyen un electro-imán sin solución de continuidad (*fig. 213*).

El punto de unión del hilo que termina una bobina y el hilo que empieza la bobina subsiguiente, es una arista metálica colocada sobre el cilindro *G*. Este cilindro *G* for-

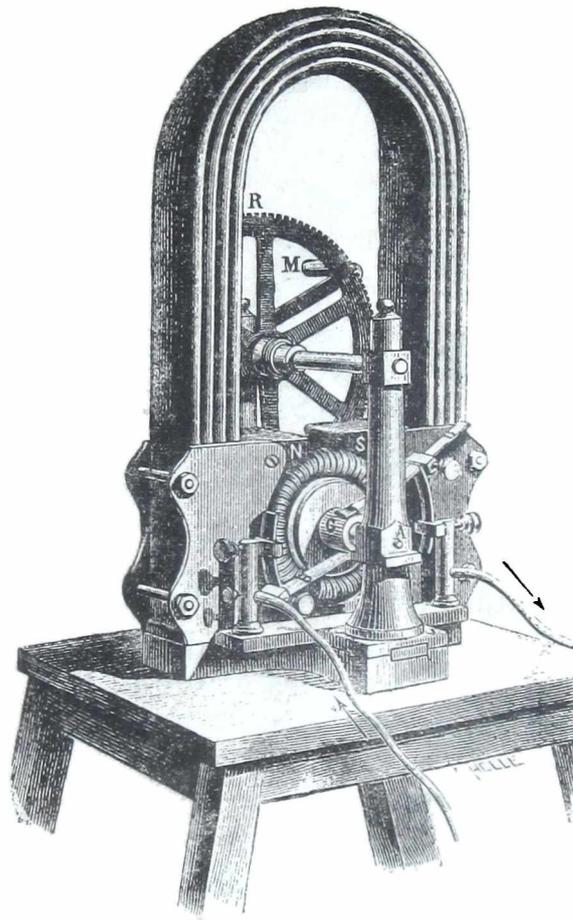


Fig. 211  
Máquina de Gramme

mado de aristas aisladas unas de otras constituye el *colector*.

Finalmente dos frotadores  $B, B$ , (*fig. 212*), *cepillos* ó *escobillas* formados de alambres ó mejor de tela metálica, y que apoyan constantemente sobre el colector según

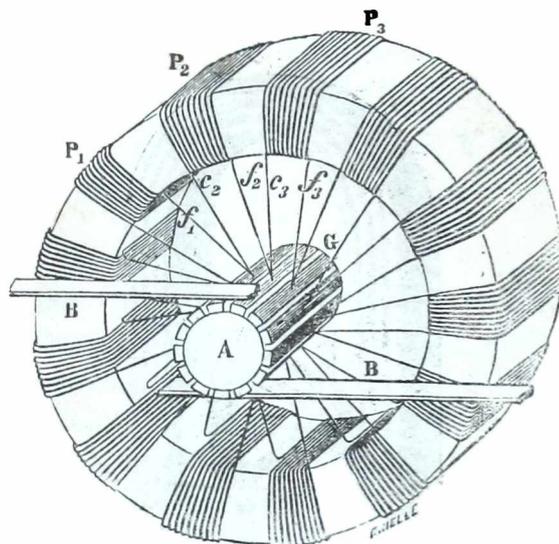


Fig. 212  
Anillo de Gramme

resultará que todas las espiras situadas á un lado de ese plano, estarán recorridas por corrientes de un mismo sentido, que se irán *sumando*, pues todas las espiras comunican entre sí.

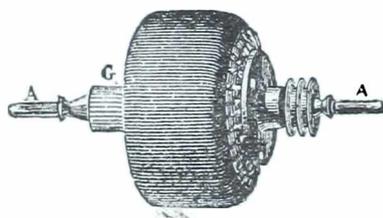


Fig. 213  
Anillo de Gramme

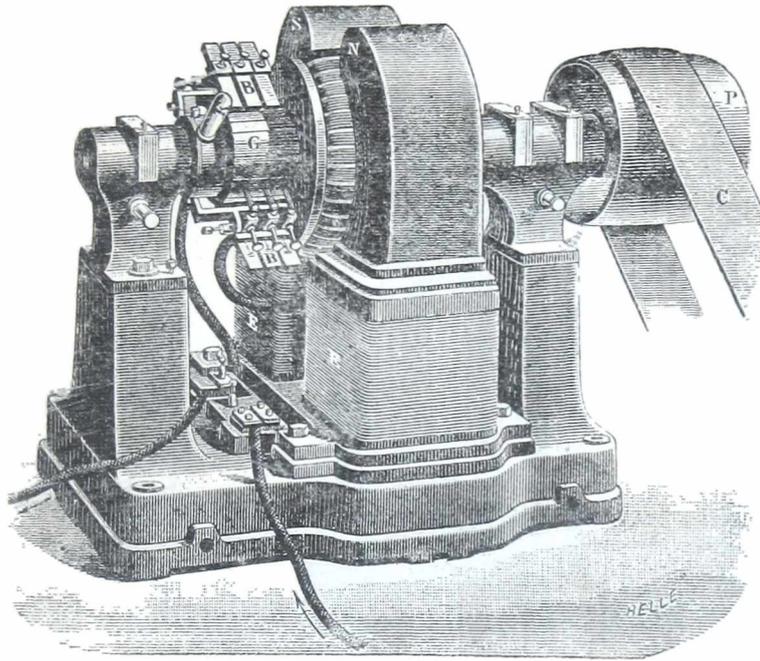
los extremos de un diámetro vertical, son los encargados de recoger la corriente.

—Por medio de la manivela  $M$ , (*fig. 211*) imprimamos un movimiento de rotación al *anillo de Gramme*, entonces si consideramos un plano vertical que pase por el eje del anillo,

Lo mismo, todas las espiras colocadas del otro lado de ese plano, también estarán recorridas por corrientes de un mismo sentido, pero de sentido contrario á las anteriores.

Luego, tendremos en cada cepillo, dos corrientes iguales y de diferentes sentidos, luego uniendo los dos cepillos tendremos una corriente *continua y constante*, si el movimiento de la manivela es *uniforme*.

**335.**—La máquina *industrial de Gramme*, se diferencia (*fig. 214*), en sus dimensiones, y en que se sustituye al imán *Jamin* un *electro-imán*. Un electro-imán *E*, *E*, cuyos polos *N* y *S* abrazan al anillo de *Gramme*, es excitado por una pila auxiliar ó *excitadora*. El anillo



**Fig. 214**  
Máquina industrial de Gramme

gira con gran velocidad por medio de la correa *C* y la polea *P*.

—Suele evitarse la necesidad de la pila excitadora por medio de la *auto-excitación*, es decir, haciendo que la corriente producida en la armadura, se dirija al electro-imán.

Al principio del movimiento, la pequeña imantación *remanente* que conservan los núcleos del electro-imán, basta para producir por inducción en el anillo una corriente que al principio es débil y que va aumentando progresivamente.

**336.**—**Idea de las máquinas á corrientes alternativas.**—Como tipo de estas máquinas, indicaremos la de *Clarke* y la modificación de *Siemens*.

—Toda corriente variable que toma el mismo valor á intervalos iguales se llama *periódica*, llamándose *período* al intervalo que separa esos dos valores iguales, llamándose *frecuencia* el número de períodos que se tienen, por segundo.

Si el período está formado por dos *semi-períodos* iguales, durante los cuales, las intensidades son igua-

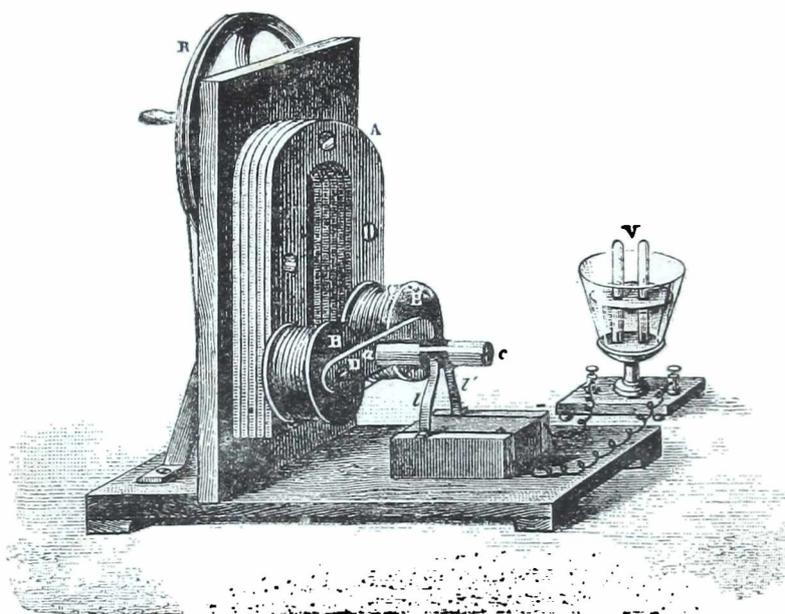


Fig. 215

Máquina á corrientes alternativas de Clarke

les, y de signos contrarios, la corriente se llama *alternativa*.

En la máquina de *Clarke* el *inductor* es un imán vertical *A* (*fig. 215*).

El inducido está formado de dos bobinas *B*, *B'* á núcleo de hierro dulce y que giran alrededor de un eje por medio de la rueda *R*.

El sentido del enrollamiento es inverso en las dos bobinas, de manera que forman un sólo electroimán, pues los núcleos de las bobinas están unidos por la culata *D*.

Girando las bobinas, se desarrollan por inducción corrientes en ellas, corrientes que se suman por el enrollamiento inverso del hilo correspondiente.

La corriente se recibe sobre el eje de rotación por medio de un colector especial.

**337.**—*Siemens*, hizo una modificación importante, variando la forma y el enrollamiento de la bobina.

La bobina de *Siemens* (fig. 216), consta de un cilindro de hierro dulce de 50 á 150 centímetros de longitud y á lo largo del cual se han hecho dos ranuras.

Dentro de estas ranuras y por consiguiente *paralelamente al eje*, se hace el enrollamiento de hilo.

**338.**—**Trasformadores.**— Ya dijimos que la bobina de *Ruhmkorff* era un *transformador*, pues convertía las corrientes de gran cantidad de electricidad y pequeño potencial en corriente de alta *tensión* y pequeña cantidad y vice-versa. Es decir, que se modifican los dos factores, *potencial é intensidad*, según convenga.

Sabemos que el trabajo que puede producir una corriente está representado por

$$W = E I$$

Supongamos que la corriente tiene una débil intensidad *I* y una gran fuerza electromotriz, por ejemplo 2.000 ó 3.000 *Volts* y sólo necesitamos una tensión de 100 *Volts*, para que funcione una lámpara.

Si lanzáramos sobre esa lámpara la corriente de 2.000 *Volts*, se destruiría y entonces se hace uso de un trans-



Fig. 216  
Bobina de  
Siemens

formador que reduce  $E$  en  $E'$ , pero al mismo tiempo aumenta  $I$ , de tal manera, que siempre se tiene

$$E I = E' I'$$

—Como hemos dicho, puede presentarse el caso contrario de tener que aumentar la tensión y los transformadores, también resuelven el punto.

**339.— Motores eléctricos.**—En el estudio anterior hemos visto que el *trabajo mecánico* consumido en poner en movimiento las bobinas en las máquinas de *Gramme* y de *Clarke*, se convertía en electricidad.

En virtud de la ley de *Lenz*, debe suceder el fenómeno contrario, es decir, si lanzamos en una de esas máquinas una corriente, la energía eléctrica se transforma en trabajo mecánico.

Efectivamente es lo que sucede.

Para comprobarlo, basta que pongamos en comunicación los polos de la máquina de *Gramme* con una pila y así que pasa la corriente, veremos que la manivela empieza á girar.

—Podemos hacer este otro experimento.

Tomar dos máquinas de *Gramme* iguales y ligar sus polos por medio de dos hilos conductores.

Si con la mano ponemos en movimiento una de las máquinas, la otra también empezará á girar y esto es debido á que al mover la primer máquina, se origina una corriente eléctrica que pasa á la segunda y se convierte en trabajo mecánico.

Este es el fenómeno de la *Reversibilidad* de las máquinas dinamo-eléctricas.

—Luego toda máquina dinamo-eléctrica, es un *motor eléctrico*, pues transforma la electricidad en movimiento.

Se comprende la ventaja de estos motores, recordando que es posible utilizar todas las fuerzas naturales

como la corriente de los ríos, las mareas, los vientos, etc., y trasportar esa fuerza al punto que se quiera.

Por ejemplo, si se quisiera utilizar la corriente de un río, nos bastaría establecer un dinamo en las cercanías de ese río y hacer que ese dinamo fuera movido por una turbina. Esta máquina *generatriz* produciría una corriente que podría ser recibida en un taller á 10, 100, 1000 kilómetros de distancia, por otro dinamo igual, llamado máquina *receptriz* la cual puede estar establecida en un taller y producir el trabajo que se desee.

**340.—Tranways Eléctricos.**—Una de las más felices aplicaciones de los motores eléctricos, ha sido el emplearlos para la tracción de los Tranways.

Cada coche está munido de un motor eléctrico, pudiéndole comunicar la corriente necesaria por dos medios distintos; por *acumuladores* y por *cable*.

*Por medio de acumuladores* que es el medio más aplicado en París y Londres, se ha resuelto perfectamente el problema, pero resulta ser el menos económico.

*Por medio de cables* se resuelve por dos métodos distintos; por cables *subterráneos* y por cables *aéreos*.

Los cables subterráneos que se establecen dentro de canales construídos entre los dos rieles ó debajo de uno de ellos, tiene el inconveniente de que se pierda una gran parte de la energía eléctrica.

El método más económico es el que tenemos establecido en Buenos Aires con el cable aéreo y *Trolley*.

—Consiste este sistema en generar una gran corriente en una estación central, con una tensión de 500 volts y lanzarla por un alambre ó cable de cobre que va de uno á otro extremo de la vía.

Los coches están munidos de unos vástagos terminados en la *polea* que se ve obligado á resbalar conservando su contacto con el cable.

La corriente que viene de la estación central pasa del cable á la polea y de ésta al vástago y conductores que

llevan la corriente al electromotor de donde pasa *á tierra* por las ruedas ó unos cepillos metálicos que rozan sobre los rieles.

De manera, pues, que el *retorno* de la corriente se hace *por tierra*.

—Los *inconvenientes* más saltantes que presenta este sistema aunque aún no han sido estudiados con la detención requerida son:

1.º Las instalaciones para la suspensión de los cables afean la ciudad.

2.º Los peligros de incendio para las estaciones telegráficas y telefónicas, como lo comprueban los innumerables casos que se pueden contar por centenas.

3.º Peligros en el caso de que cayera el cable, pues á pesar de que la tensión es nominalmente sólo de 500 volts, puede ocasionar la muerte de personas débiles ó enfermas.

4.º Acción electrolítica de la corriente de retorno, sobre las cañerías de gas y aguas corrientes.

Ya se han ideado varios medios para aminorar estos inconvenientes, pero aún no hay perfecta solución.

Hoy por hoy, la solución más satisfactoria es la que se ha aplicado en Chicago, permitiendo la instalación del *Trolley* en las regiones rurales y suburbios de la ciudad y hacer que en seguida el tranway marche con los acumuladores que lleva consigo y que se han cargado mientras marchaba con el *Trolley*.

---

## CAPÍTULO XV

## TELEGRAFÍA Y TELEFONÍA

**341.—Partes de un telégrafo eléctrico.**— Como sabemos, la telegrafía sirve para transmitir el pensamiento á larga distancia, con rapidez y seguridad.

La velocidad de la electricidad, que es casi instantánea, y el poderla dirigir por un hilo metálico, hacen de la electricidad el medio más seguro para esa trasmisión utilizándose para eso los efectos electro-magnéticos.

Todo sistema telegráfico comprende *esencialmente*, de las partes siguientes:

1º Una *pila* ó fuente de electricidad.

2º Un *manipulador*, destinado á abrir y cerrar un circuito.

3º Un *receptor*, destinado á recibir las señales.

4º Un *conductor ó hilo* de línea, que transmite las señales del manipulador al receptor.

El *otro hilo*, para cerrar el circuito se suprime, pues basta hacer comunicar el hilo de línea con la tierra, para poder hacer la trasmisión,

Como el sistema *Morse* es el más usado y más sencillo, haremos una indicación de sus partes constituyentes.

—Para darse cuenta de cómo se hace la trasmisión de las señales supongamos (*fig. 217*), que tenemos en Montevideo una pila *M*, de cuyo polo positivo va un hilo á un electroimán *A* que está en Buenos Aires y que después de arrollarse el hilo en el electroimán, vuelve á unirse en *M* al polo negativo de la pila.

Si frente al imán *A*, colocamos una chapa de hierro *P*, que por medio de un resorte, se sostiene á una cierta distancia del imán y se hace pasar la corriente, el elec-

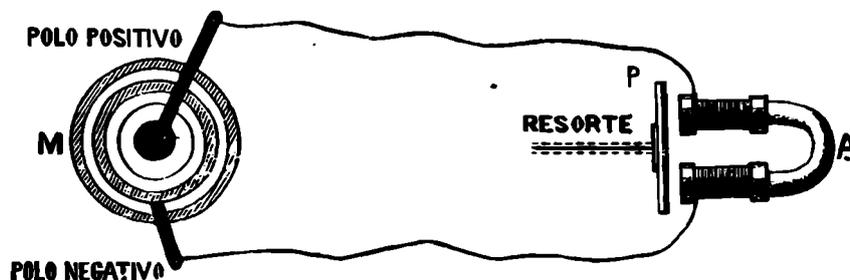


Fig. 217  
Telégrafo

troimán *A* se imantará y atraerá la chapa de hierro. Si se interrumpe la corriente, la chapa de hierro se separará del electroimán.

Luego, pues, para obtener en *A* las señales, es necesario poder en *M* á voluntad interrumpir la corriente.

**342.—Manipulador.**—La interrupción de la corriente se obtiene por medio del *manipulador* (fig. 218) que consiste en una plancha de madera *A*, sobre la cual hay una palanca metálica *a b* móvil alrededor de su punto medio y cuyo extremo *a* queda siempre levantado, por

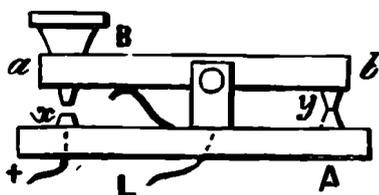


Fig. 218  
Manipulador

la acción de un resorte. Si se aplica el dedo en el botón *B*, la palanca choca con el tope *x* y cuando se levanta el dedo, la palanca está en contacto con el tope *y*.

El tope *x* está en comunicación con la pila, y el eje de la palanca con el hilo de línea *L* en cuyo extremo está el receptor.

En la posición de la figura no hay corriente, pero si apretamos el botón *B*, la corriente viene de la pila, pasa

por  $x$ , sigue por la palanca, por el eje y por el hilo de línea hasta el receptor donde imantará al electroimán y se moverá la chapa metálica que está frente de él.

Largando el botón  $B$ , se interrumpe la corriente, el electroimán deja de funcionar y la chapa vuelve á su posición.

**343.--Receptor.**—El hilo de línea va al receptor (*figura 219*) donde entra por el hilo  $L$ , que recorre la bobina  $E$  y sale por el hilo  $T$  que va á tierra.

Al pasar la corriente, se imanta el electroimán  $E$  el cual atrae la palanca  $A$  que gira alrededor del eje  $O$ , elevándose por consiguiente el brazo de la palanca  $D$ , cuyo extremo comprime una banda de papel  $X Y$  que se mueve por un mecanismo de relojería y que está guiado por dos tambores giratorios  $a$  y  $b$ .

Al levantarse el brazo de palanca  $O D$  comprime la banda de papel contra un disquito giratorio  $m$ , el cual se impregna de tinta en el tambor  $R$ .

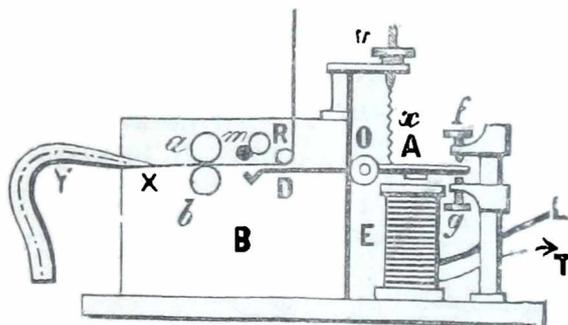


Fig. 219  
Receptor

De modo que si en el manipulador (*fig. 218*) se apreta el botón  $B$ , mientras esto suceda, la corriente irá al receptor  $E$ , (*fig. 219*), la palanca  $A$  será atraída por el electroimán y el papel estará en contacto con el disco  $m$ , pero como el papel sigue moviéndose, se marcará en la banda de papel un *trazo continuo* de tinta.

Si se levanta el botón  $B$ , la corriente cesa de pasar, el electroimán se desimanta, la palanca  $A$  se levanta por reacción del resorte antagonista  $x$ , el brazo  $D$  baja y ya no hay trazo en la tira del papel.

Luego, si se baja instantáneamente el botón del manipulador y se suelta, se tendrá marcado en la banda de papel un punto, y si se sostiene un cierto tiempo apretado se tendrá trazada una línea.

Luego, el *receptor* reproduce exactamente los movimientos del *manipulador* y se ha convenido representar cada letra por medio de rayas y puntos. Así:

$$A := . - ; B = \text{—} \dots \text{etc.}$$

**344.—Marcha de la corriente.**—En el párrafo 342 indicamos la marcha de la corriente, para el caso de que en una estación estuviera solamente el manipulador y en la otra estación solo el receptor, pero, en realidad en cada estación debe haber un manipulador y un receptor.

—La disposición adoptada es la indicada en el *esquema* adjunto (*fig. 220*).

Cada estación *A* y *B* tiene una pila *P* y *P'*, un manipulador *m* y *m'* y un receptor *R* y *R'*.

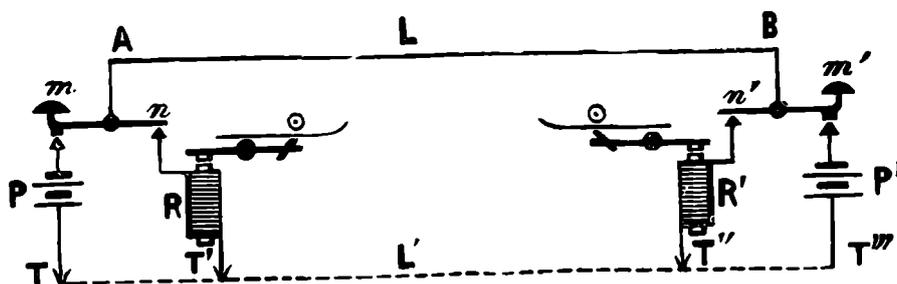


Fig. 220  
Telégrafo

Un polo de cada pila está *á tierra* en *T* y *T'''* y un extremo del hilo de la bobina del receptor está también *á tierra* en *T'* y *T''*.

El hilo de línea está unido al eje de cada manipulador y la tierra hace el papel de hilo de retorno *L'*.

Si de la estación *A* se quiere transmitir un despacho

á *B*, se apreta el botón *m*, la corriente de pila pasa á *A* sigue por *L* á *B*, de allí á *n'* y al receptor *R'* donde hace el trazo en la tira de papel y la corriente vuelve á la pila *P* por *T''* á *T*.

Lo mismo sucedería, si se tratara de transmitir señales de *B* á *A*.

**345.—Cables submarinos.**—Los cables submarinos están formados (*fig. 221*), por un sistema de siete hilos *C* retorcidos, recubiertos de una capa aisladora *G* y protegidos por un sistema de alambres de hierro retorcidos en espiral.

Este cable es un gran *condensador* cuya armadura interior es el conductor y cuya armadura exterior son los hilos de alambre *F* y como este condensador debe cargarse antes de que la corriente llegue al receptor, de allí resulta una disminución notable de la intensidad de la corriente, para evitar lo cual se hace uso de réceptores muy sensibles.

**346.—Relevadores.** — Como hemos dicho, en los cables submarinos la intensidad de la corriente es muy disminuída y lo mismo sucede cuando las líneas terrestres son muy largas, ocurriendo á veces que la corriente no tiene poder suficiente para grabar las líneas y los puntos.

Entonces se recurre á los *relevadores*, que son aparatos muy sensibles recorridos por la corriente de la línea y que sirven para *introducir en el receptor* la corriente de una pila local, es decir, que está en la misma estación, y que no tiene más misión que hacer imprimir las señales transmitidas por la línea.

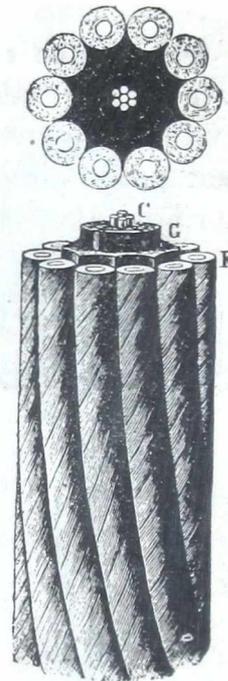


Fig. 221  
Cable

**347.—Galvanómetro de Reflexión de Thompson.**— La descripción de este aparato ya la hemos hecho, por cuyo motivo sólo diremos que éste es el receptor de las líneas trasatlánticas. Al efecto, las señales de líneas y puntos se han sustituido por desviaciones del espejo á derecha é izquierda, á cuyo efecto la transmisión se hace lanzando corrientes en uno y otro sentido, produciendo por consiguiente desviaciones de la aguja á uno y otro lado.

**348.—Sifón recorder.**—El sifón recorder ó *sifón registrador* fué ideado por *Lord Kelvin* con el objeto de evitar la enorme fatiga de los encargados de la recepción de los despachos transmitidos por el cable.

El *sifón* permite *registrar* hácia que lado se ha desviado el rayo luminoso y por consiguiente si la señal transmitida es *punto ó línea*.

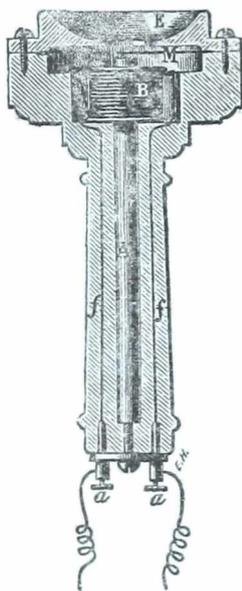


Fig. 222  
Teléfono

**349.—Teléfono.**—Se llaman *teléfonos*, unos aparatos destinados á *transmitir la palabra á distancia*.

Las partes esenciales son:

El *Trasmisor*, que recibe la palabra de la persona que habla.

El *Receptor*, que comunica con el oído de la persona que escucha.

El *hilo* que une el trasmisor con el receptor.

—Los teléfonos pueden ser *magnéticos y á pila*.

—El teléfono magnético de *Bell*, consiste (*fig. 222*) en una *barra imantada A*, en cuyo extremo está enrollada una bobina *B* los extremos de cuyo hilo, terminan en los tornillos *a a*.

Esta barra está ocupando el eje de un cilindro de madera ó ebonita que hace el papel de mango.

Delante de la extremidad polar de la barra hay una lámina delgada de hierro  $M$ , fijada por sus bordes en el mango de madera, y colocada muy cerca del polo del imán, pero de tal manera que nunca pueda ponerse en contacto con él.

Veamos ahora cómo se hace la transmisión.

Supongamos que se quiere hablar entre dos estaciones  $S$  y  $S'$  (fig. 223) y que un individuo habla frente á la chapa  $M$ .

Las vibraciones de la voz se transmitirán por el aire

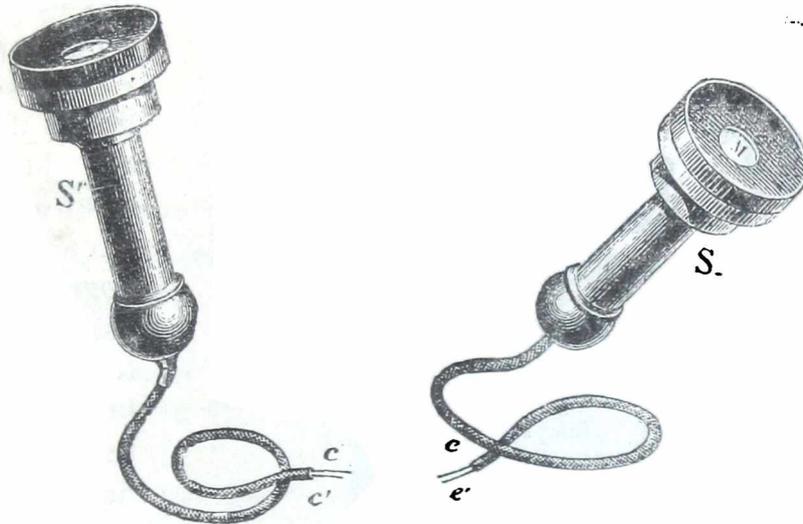


Fig. 223  
Teléfono

á la chapa de hierro  $M$ , la cual vibrará á su vez *acercándose y alejándose* del polo del imán, el cual por consiguiente modificará su campo magnético é inducirá una *corriente eléctrica* en la bobina  $B$ .

Esta corriente eléctrica cuya intensidad varía de momento á momento, *se trasmite* por el hilo y va á la bobina del receptor  $S'$ , donde reforzará ó debilitará el polo del imán, el cual por consiguiente atraerá más ó menos á la chapita  $M$ .

Luego la chapita  $M$  del receptor tendrá las *mismas vibraciones* que la chapa  $M$  del trasmisor y entonces

aplicando al oído el tubo  $S'$ , se oirán las palabras transmitidas desde  $S$ .

Naturalmente, la teoría es más compleja, pues en la voz, no sólo hay la altura del sonido, sino también el timbre, etc., pero lo que hemos dicho basta para dar una idea de como se hace la trasmisión.

**350.—Micrófono de Hughes.**—El teléfono magnético da sonidos muy débiles, por cuyo motivo se utilizan con

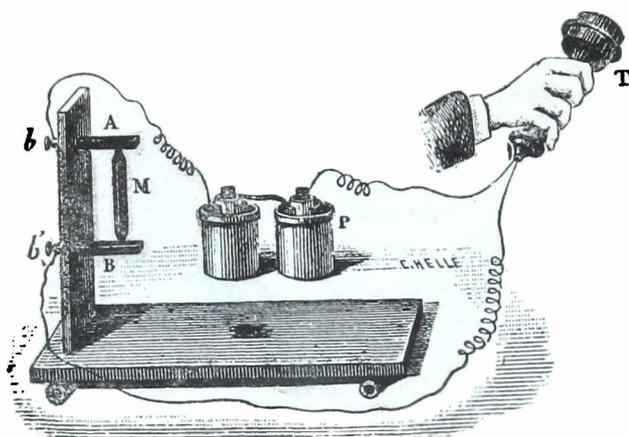


Fig. 224  
Micrófono

preferencia hoy los *teléfonos á pila* y á *micrófono*, es decir, que la corriente eléctrica que recorre el hilo, es la corriente de una pila cuya intensidad se hace variar

por medio del *micrófono*, en vez de hacerla variar por las variaciones del campo magnético del imán.

—Para obtener la variación de la intensidad de la corriente se interpone entre la pila  $P$  y el receptor  $T$  (*fig 224*), un conductor  $M$  que está formado por un lápiz de carbón con dos puntas, las cuales están apoyadas en dos cavidades hechas en otros dos lápices de carbón  $A$  y  $B$ .

Cualquier movimiento que se imprima al lápiz  $M$ , hace modificar su contacto con los carbones  $A$  y  $B$  y modificándose el contacto, *varía la resistencia* del conductor, luego varía también la intensidad de la corriente.

Los soportes  $A$  y  $B$  están colocados en una lámina

muy delgada, la cual al vibrar produce los desplazamientos en los puntos de contacto.

Este instrumento es tan sensible que el tic-tac de un reloj, la marcha de una araña sobre el tablero. etc., es perfectamente perceptible en el teléfono.

El *trasmisor Ader*, que es el más usado tiene (*fig. 225*) como órgano principal un *micrófono múltiple*, constituido por doce carbones, dispuestos como una doble parrilla (*figura 226*) y que se aplica en la cara interior de una plancha de madera delgada sobre la cual se habla.

**351. — Fotófono de Graham Bell.**— Este aparato puede parangonarse con los teléfonos á pila, pues también está basado en la *variación de la resistencia* de la corriente.

El trasmisor y el receptor ya no están unidos por un hilo, sino por *un rayo luminoso*.

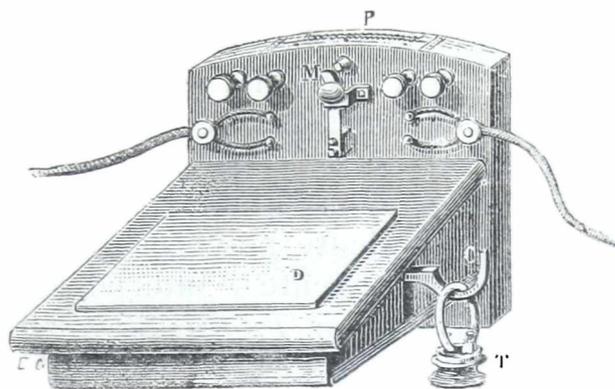


Fig. 225  
Trasmisor Ader

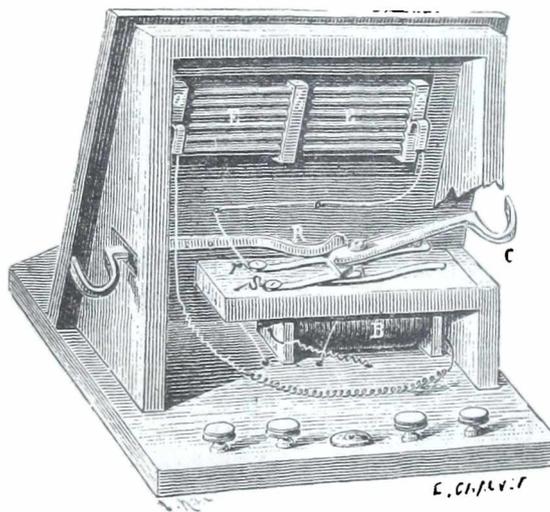


Fig. 226  
Micrófono múltiple

El punto de partida de este prodigioso descubrimiento, está basado en que si se hace pasar una corriente eléctrica á través de un trozo de *selenium* fundido, al estado metálico, la resistencia que opondrá el selenium al paso de la corriente, y por consiguiente la intensidad de ésta, variará con el *grado* de iluminación del trozo de selenium.

Cuando está más iluminado, la resistencia es menor y por consiguiente mayor la intensidad de la corriente.

Si por consiguiente se interpone en un circuito formado por un receptor *T* (*fig. 227*) y una pila *P*, un trozo

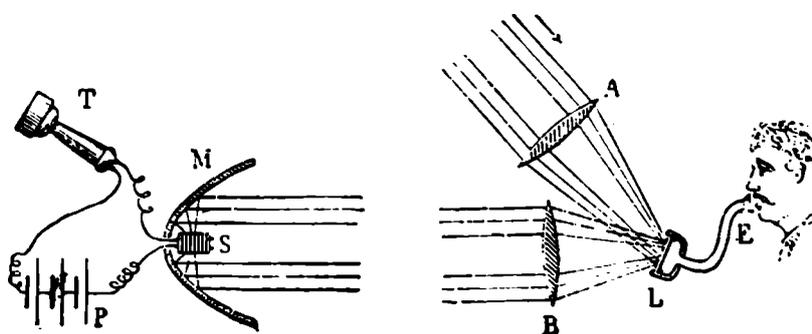


Fig 227

Fotófono de Graham Bell

de selenium *S*, toda variación en su iluminación, se traducirá en una variación de intensidad, luego, en variación de la potencia del imán y por consiguiente la membrana del teléfono entrará en vibración.

La disposición que se da al aparato es la siguiente:

Un tubo telefónico *E*, el fondo de cuya caja *L* está formado por una lámina delgada de *mica* ó *vidrio* plateado, de manera que forme un espejo.

Sobre este espejo y por medio del lente *A* se hace caer un haz de rayos luminosos eléctricos ó solares, que reflejados por el espejo *L*, se convierten en rayos paralelos por medio del lente *B*.

Estos rayos son recibidos por un espejo parabólico *M* de cobre plateado, el cual hace reconcentrar los rayos

en su foco, donde se ha colocado el selenium  $S$  que forma parte del circuito  $P S T$ .

Al hablar en la bocina, el espejo  $L$  vibrará y cambiará de forma. luego, variará también la intensidad de la luz reflejada, la que iluminará desigualmente al selenium el que variando de resistencia, hara vibrar la membrana del teléfono.

Este aparato reproduce con mucha nitidez los sonidos.

**352.** — *Graham Bell*, ha descubierto otro fenómeno curioso, que *Mercadier* ha utilizado.

Si se hace sufrir á un cuerpo, variaciones rápidas de iluminación, este cuerpo *da un sonido* cuyo número de vibraciones dobles es igual al número de variaciones de iluminación.

El aparato de *Mercadier* es el siguiente (*fig. 228*):

Sobre una rueda agujereada  $R$ , se hace caer por medio de un lente, una línea luminosa  $f$ . Luego si alrededor de un eje se hace girar esta rueda, la luz pasará á través de los agujeros, de una manera intermitente.

Si detrás de la rueda se coloca un tubo de vidrio  $t$ , en cuyo interior hay una lámina de mica recubierta de negro de humo, esta lámina, al girar la rueda, estará sometida á intermitencias de luz y sombra, y por medio de un tubo acústico  $to$ , el oído percibiría un sonido distinto.

Si la velocidad de rotación es tal que en un segundo 348 agujeros se presentan frente á la lámina luminosa se producirán 348 vibraciones dobles de la lámina de mica y el oído percibiría la nota *fa*.

Combinando este sistema con el fonógrafo de *Graham Bell*, *Mercadier* obtuvo reproducir con toda perfección los sonidos articulados de la palabra.

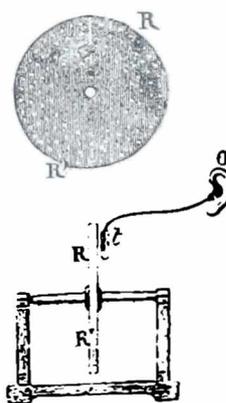


Fig. 228  
Aparato de Mercadier

## CAPÍTULO XVI

**OSCILACIONES ELÉCTRICAS**

---

**353.—Descarga oscilante.**—Se sabe que cuando la descarga atraviesa conductores metálicos gruesos y cortos se verifica una *descarga oscilante*.

Se nota que la intensidad toma alternativamente valores positivos y negativos y que esos valores van decreciendo.

Puede asimilarse á la série de oscilaciones producidas por un péndulo que oscila *en el aire*.

—Esos valores cambian con una *frecuencia* que varía entre 100.000 y 3.000.000 por *segundo*.

—*Tesla* ideó una disposición que nos dá corrientes de alta frecuencia.

**354.—Corrientes de alta frecuencia.**—La disposición adoptada es la siguiente:

Los terminales del secundario de una bobina de Ruhmkorff, se unen á las armaduras de una batería de Leiden (*fig. 229*).

Esta batería se hace descargar por medio de un *excitador micrométrico* que está representado á la derecha y abajo de la figura, pero obligando á dicha descarga á pasar por el hilo grueso que tiene 5, 7 ó 9 espiras.

Esta descarga inducirá una corriente oscilante en un carrete formado por un hilo muy largo y muy fino que se ve sumergido en un tubo que contiene aceite y cuyo extremo interior se pone en comunicación con tierra y

el superior es el que nos permitirá reproducir experimentos notables.

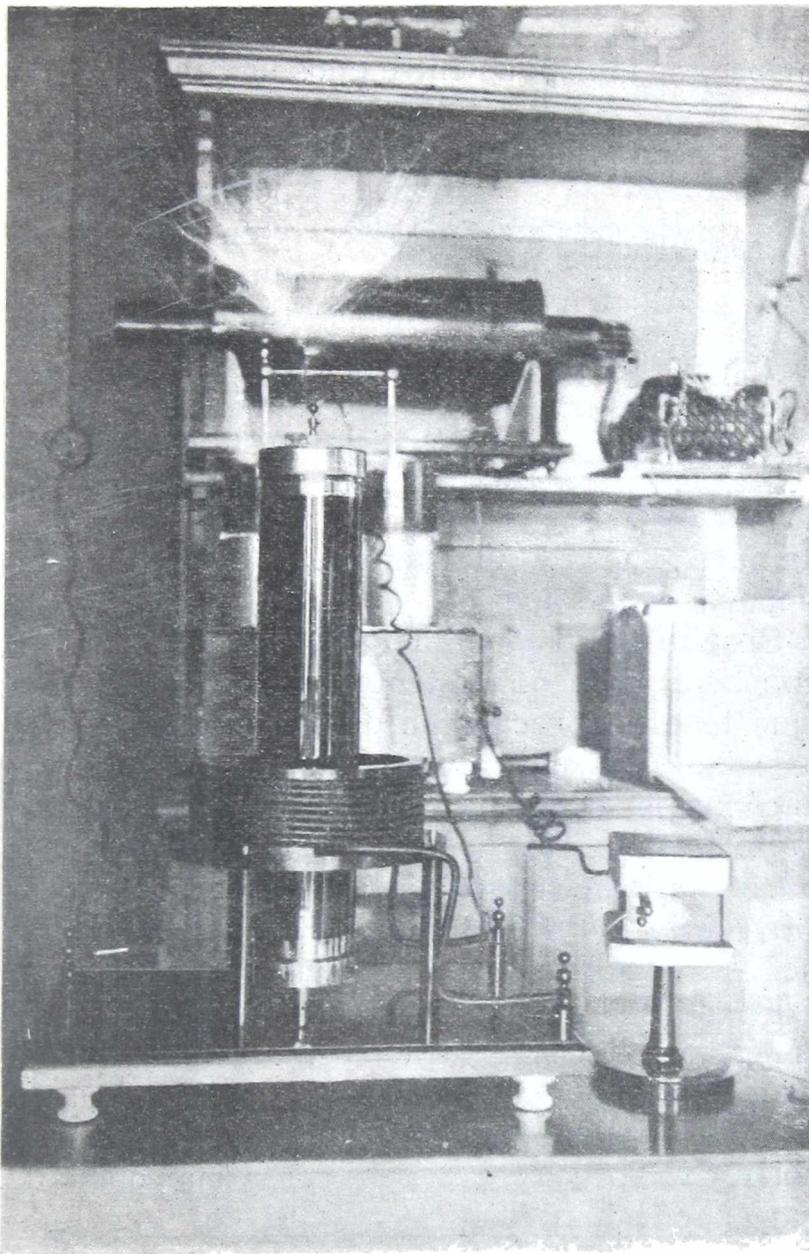


Fig. 229  
Corrientes de alta frecuencia

**355.—Experimentos de Tesla.**—Estas corrientes producen fenómenos notables.

1º Si se separan los polos de la bobina de *Tesla* salen largas chispas.

2º Si se reemplazan las dos bolas por dos discos verticales separados como para que entre ellos no estalle la chispa y se interpone entre ellos un tubo de *Geissler*, éste se ilumina.

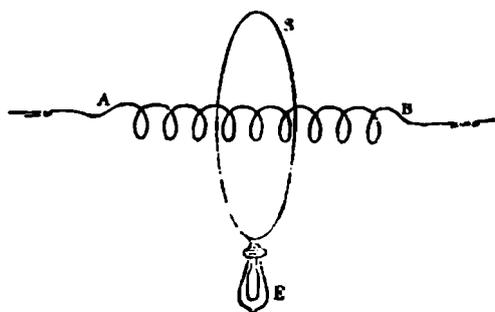


Fig. 230  
Experimentos de Tesla

3º Si uno de los polos se liga al suelo y en el otro se cuelga un tubo de *Geissler* también se pone luminoso.

4º Si se rodea la espiral *AB* (fig. 230) por un circuito cerrado *S* formado de

un alambre grueso y una lámpara á incandescencia *E*, la lámpara se ilumina.

5º Si se tocan los polos de una bobina á alta frecuencia con las manos, no se siente impresión alguna, pero hay que tener la precaución de tocar los polos con dos chapas metálicas, para evitar las quemaduras que se producirían por la chispa que estalla en el momento del contacto.

Con el magnífico aparato de Tesla que posee el *Instituto de Física de la Universidad Nacional de la Plata* y que reproducimos en el grabado adjunto, se pueden realizar todos los experimentos indicados por Tesla y otros más que han sido ideados en dicho Instituto.

Los más notables son:

1º Todo tubo que contenga un gas enrarecido sea de *Geissler*, *Crookes*..... etc., y se acerca á la bobina de descarga, se pone luminoso.

2º Si se une uno de los polos del carrete de descarga á tierra y el otro se toma en la mano, la sensación aparente que se experimenta es insignificante sobre todo si la mano está algo húmeda de manera que el contacto sea perfecto.

3º Si se toma el polo de descarga con una mano y en el otro se toma un tubo de Moore que puede tener hasta tres metros de longitud, el tubo se pone luminoso (*fig. 231*).

4º No hemos notado la necesidad de tener láminas

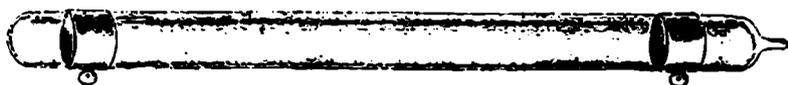


Fig 231  
Tubo de Moore

metálicas recomendada por todos los autores—en las manos cuando se toma el polo—pero la pequeña sensación que se experimenta es tan rara, que recomendamos á nuestros alumnos que la duración del experimento sea lo más breve posible.

—Es necesario recordar que estas corrientes de alta frecuencia tienen acción terapéutica, luego deben tener acción patológica también, y que esta acción tiene que ser proporcional al tiempo, es decir, cuanto más tiempo dure el experimento, tanto más *peligroso* debe ser.

**356.—Solenoides de d'Arsonval.**—Estas propiedades de las corrientes de alta frecuencia, ha hecho que muchos médicos trataran de aplicarlas en la terapéutica.

D'Arsonval ha ideado (*fig. 232*) un gran solenoide que permite á una persona quedar parada en su interior, y haciendo pasar la corriente de alta frecuencia, este solenoide produce acciones de inducción en el interior y en el exterior del mismo.

De manera que una persona introducida en el interior de dicho solenoide estará recorrido por un gran número de corrientes inducidas alternativas, como si él formara una serie de circuitos cerrados.

Si se rodea la cintura del enfermo por un circuito circular conteniendo una lamparita, ésta se pondrá incandescente.

A esta aplicación *generalizada á todo el sugeto* d'Arsonval le ha llamado *auto-conducción*.

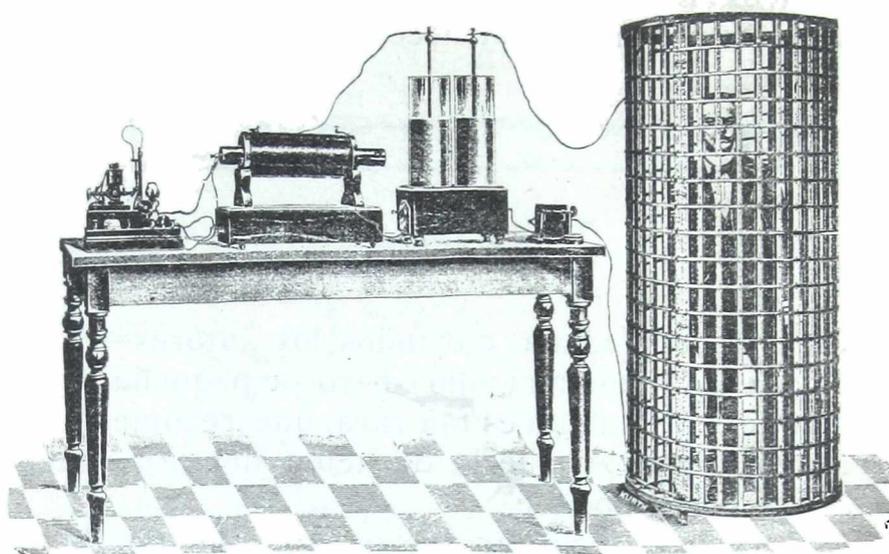


Fig. 232  
Solenoides de d'Arsonval

—Hay modelos de *lecho solenoide*.

—Dicen que este tratamiento es eficazísimo en la *Arteria Sclerosis*.

**357. — Vibraciones eléctricas.** — Los experimentos de *Hertz*, han puesto de manifiesto las *vibraciones eléctricas*, que según su fuente, varían entre 157 vibraciones por segundo y 4.000 millones por segundo.

El aparato de que se valió *Hertz* consiste en un *vibrador*, que consta de dos varillas (*fig. 233*) terminadas en *C* con dos esferitas y teniendo en sus otros extremos dos esferas *A* y *B* que pueden correrse para *regular* la duración de las vibraciones.

Se unen las varillas á los reóforos de una bobina de *Ruhmkorff R* y cuando ésta funciona, se verán salir chispas entre las dos esferitas *C* y si se quiere que haya *vibraciones* es necesario que estas chispas estallen *repentinamente*, para conseguir lo cual, se trata de que

las esferitas estén muy pulimentadas para que no se produzca la descarga lenta por las aspersiones de la superficie. Para conseguir este mismo efecto de la descarga repentina, se introduce el vibrador en aceite.

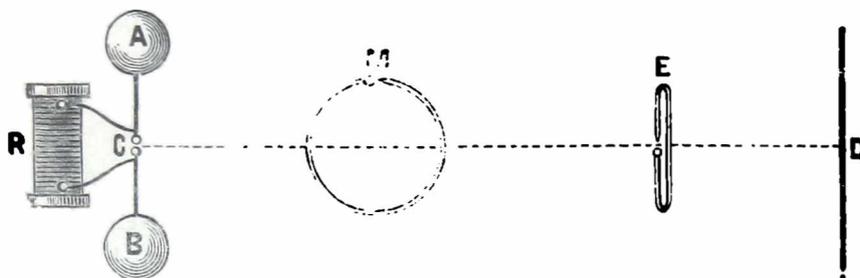


Fig. 233  
Vibrador de Hertz

Es necesario también tener precaución de preservar el intervalo *C* entre las esferitas, de la luz de otras chispas, porque *Hertz* observó que la luz ultravioleta tiene la propiedad de descargar gradualmente al vibrador.

—Para cada chispa que estalla, se originan dos sistemas de ondas; uno *eléctrico* y el otro *magnético*.

Las *líneas de fuerza eléctrica* se encuentran sobre los infinitos planos que pueden pasar por el eje *AB* y las *líneas de fuerza magnética* son *circunferencias, perpendiculares* al eje *AB*.

Si en este campo eléctrico colocamos dos cuerpos metálicos cualesquiera, se verán estallar chispas entre ellos debido á las variaciones que experimenta el campo cada vez que estallan las chispas del vibrador.

*Hertz* para estudiar ordenadamente este *campo*, se valía de un anillo de cobre *M*, que tiene una pequeña *interrupción* como lo indica la figura. Esta interrupción se puede aumentar ó disminuir por medio de un tornillo micrométrico.

Como las pequeñas chispas que estallan en el anillo son debidas á un fenómeno análogo á la *resonancia*, por eso se le dá á este anillo, el nombre de *resonador*.

—Cuando el resonador ocupa la posición  $E$ , con su plano perpendicular á la línea mediana  $CD$  y el centro del anillo colocado sobre esa recta, las chispas que se producen en el resonador, son debidas á la *inducción electrostática*.

Las chispas serán máximas cuando el diámetro que contiene la interrupción es paralela al eje  $AB$  del vibrador y serán nulas cuando dicho diámetro es perpendicular.

—Cuando en vez, el resonador ocupa la posición  $M$  y abraza las líneas de fuerza magnética, las chispas que se producen en la interrupción, son debidas á las variaciones del flujo *magnético* y se tendrá su efecto máximo, cuando el plano del resonador contiene el eje  $AB$  del vibrador.

—No debemos detenernos más en este punto aunque es sumamente interesante.

Solo indicaremos los resultados obtenidos, que son:

1º Las vibraciones eléctricas son análogas á las vibraciones luminosas y la velocidad de propagación es igual á la de la luz.

2º Las vibraciones eléctricas se propagan á través de los malos conductores y cesan cuando se interponen placas metálicas.

3º Se reflejan, se refractan, sufren fenómenos de interferencia, reflexión total y difracción.

Es decir, pues, que se comportan como los rayos luminosos.

**358.—Telégrafo sin hilos.**—Utilizando las vibraciones de *Hertz*, *Marconi*, ha ideado un telégrafo sin necesidad de hilos.

Consta, como todo telégrafo de un transmisor y un receptor.

—El *transmisor* es un aparato análogo al *vibrador* de *Hertz*.

Consta de una bobina  $B$  (*fig. 234*) cuyo circuito pri-

mario, puede recibir intermitentemente la corriente de una pila  $P$ , dirigida á voluntad por medio del manipulador de *Morse*  $M$ .

El vibrador ó *radiador* está formado por dos esferas

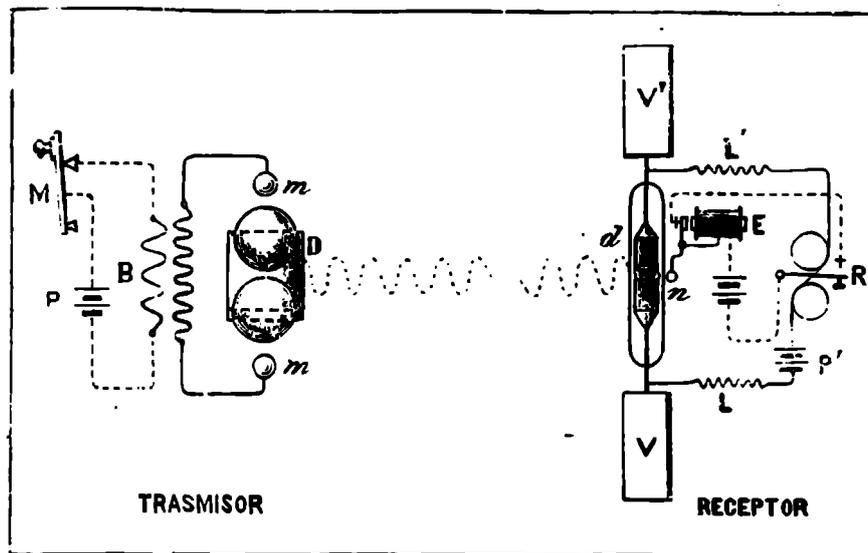


Fig. 234  
Telégrafo sin hilos

$D$  de 10 centímetros de diámetro, colocadas frente á frente y aisladas eléctricamente.

Estas dos esferas están introducidas dentro de un cilindro de vidrio, conteniendo en su interior *aceite de vaselina*.

Estas dos esferas grandes están frente á dos esferas pequeñas  $m m$ , que están ligadas al circuito secundario de la bobina, como lo indica la figura.

Moviendo el manipulador, se abre y se cierra el circuito de la bobina de inducción y entonces se produce por una parte chispas entre las esferas chicas y las grandes y por otra parte, entre las esferas grandes entre sí.

Esta serie de descargas, producen las *ondas eléctricas*, cuya longitud y frecuencia son *regladas* por las dimensiones del radiador. *Marconi* ha utilizado vibraciones

de 120 centímetros de longitud de onda y cuya frecuencia es de 250.000.000 por segundo.

Una vez producidas estas ondas, no hay más que recogerlas y esto se consigue con el receptor.

—El *Receptor Marconi*, está basado en una propiedad descubierta por *Varley* y estudiada por *Branly*.

Si se toma una sustancia conductora y se divide en pequeñas partículas como en la limadura y se interpone una pequeña capa entre dos placas conductoras, esta limadura, opone una gran resistencia al paso de la corriente, pero si sobre esas limaduras actúan las corrientes de *Hertz*, estas limaduras se ordenan, se orientan, por decirlo así, y se convierten en *buenos conductores*.

—Sabido esto, veamos como está dispuesto el receptor.

El tubo *T* se intercala en un circuito (línea gruesa) que comprende una pila *P* y un relai ó electroimán *E* (fig. 235).

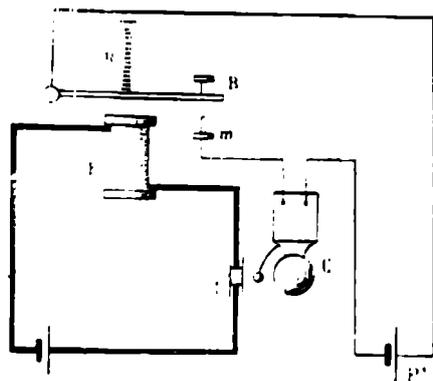


Fig. 235  
Receptor Marconi

Si una onda *O* hiere al *coherer* (ó cohesor) *T*, la limadura disminuye su resistencia pasa la corriente de la pila *P* y el electroimán se *imanta*.

Al imantarse atrae la chapa de hierro *B* que está retenida por un resorte *R*, la chapa *B* se pone en contacto con el tope *m* y se cierra el circuito (línea delgada) que contiene la pila *P'* y la campanilla *C*. Esta funciona, el martillo golpea al tubo, las limaduras se mueven y el coherer está listo para recibir otra señal.

Si en este segundo circuito intercalamos un receptor Morse, este inscribirá el sistema de rayas y puntos convenientes.

Varios receptores á un tiempo pueden recibir las señales de un transmisor.

La distancia á que puede hacerse la transmisión, depende del tamaño de las esferas del transmisor y de la longitud de la chispa que estalla entre ellas.

*Marconi* con una bobina que daba chispas de 150 centímetros, ha conseguido telegrafiar á 5000 kilómetros de distancia.

—En 1902 *Marconi* utilizando los poderosos elementos suministrados por el gobierno italiano, el cual puso á sus órdenes durante varios meses el crucero «Carlo Alberto» y sus 500 tripulantes, consiguió establecer una comunicación telegráfica entre Poldhu (Canadá) y Cabo Cod (Escocia) y durante un mes el «Times» estuvo publicando una página de *Marconigramas*.

De repente la comunicación se interrumpió y hasta hoy no ha sido posible restablecerla.

Observé que coincidió este hecho con una época de agitación seísmica, lo cual vino á corroborar la opinión que tenía de que la transmisión se hace preferentemente por la tierra y que la interrupción había sido debida á la ruptura de la continuidad de las capas, por la cual se hace la transmisión.

Así lo repito desde aquella época en mi modesta cátedra y hace pocos meses he visto con satisfacción que *Marconi* afirma que de sus estudios resulta que *la transmisión se hace preferentemente por la Tierra*.

**359.**—*La antena* ha sido modificada y en vez de un solo hilo, en las estaciones poderosas se tiene una verdadera red emisora.

El efecto de la antena es producir ondas más largas, pues con el agregado del hilo se aumenta la autoinducción y la capacidad.

La longitud de la onda es igual á *cuatro veces* la longitud de la antena, pues sabemos que en el extremo

de la antena se produce un vientre y en el punto que se hace la descarga hay un nodo.

**360.**—Respecto á los *radioconductores* también han sufrido diferentes modificaciones.

Se han ideado á contacto imperfecto como dos lápices de carbón, que aún se utilizan en los registradores de tormentas.

Otros los han fabricado con limadura de *platino*, plata, nickel, etc., y generalmente colocándolos en el vacío.

—Mi radioconductor es fabricado con limaduras de *bismuto*, fundándose en que tiene un punto de fusión muy bajo 264° y que tiene un aspecto cristalino que facilita la producción de contactos imperfectos.

—Marconi ha ideado últimamente un nuevo *receptor de ondas* que ha llamado *detector magnético*, y por medio del cual podría transmitir hasta 40 palabras por minuto.

El nuevo sistema consistiría en un haz de hilos de hierro que á manera de una correa sin fin, se mueve con un mecanismo de relojería pasando por frente á dos polos del mismo nombre de dos imanes permanentes.

Parece que á cada emisión de ondas se produciría en el haz de hierro una variación repentina de su estado magnético y haría por consiguiente nacer en el hilo que rodea á dicho nudo una corriente eléctrica inducida.

**361.**—Un inconveniente que presenta la telegrafía sin hilos es la dificultad de conservar el secreto, pues lanzadas las ondas en el espacio, éstas se propagan en todo sentido, luego todos los receptores que están dentro del campo pueden recibirlas.

Se ha tratado de conseguir que solo el aparato *acordado* pueda recibirlo y esto se ha conseguido haciendo

que varíe á voluntad la longitud de la antena, su inclinación, la capacidad, la distancia explosiva, etc.

Esta *sintonización* dicese conseguida por todos los inventores, pero hasta hoy no hay nada seguro ni eficaz.

—*Braun* y *Slaby Arco* han hecho modificaciones importantes al sistema Marconi, obteniendo sus aparatos espléndidos resultados.

—En los ensayos practicados por mí en Buenos Aires he hecho uso de un tubo receptor de ebonita con limaduras de *bismuto*. Las varillas del tubo eran de plata y penetraban en el tubo, á tornillo, de manera que se podía acercar ó alejar los extremos de las varillas, lo cual permite regular su sensibilidad.

—El vibrador usado que ha sido patentado en las Repúblicas Americanas, consta de una serie de esferas de plata, cuya distancia puede variar á voluntad.

Dos esferas de 0<sup>m</sup>,10 de diámetro terminan el secundario de la bobina de 0<sup>m</sup>,17 de chispa. Entre ellas se introducen dos esferas, una de 0<sup>m</sup>,10 en el centro y dos de 0<sup>m</sup>,20 á los lados.

Estas dos esferas grandes se ponen, una en comunicación con la tierra y otra con la antena.

Se producen así cuatro centros de onda.

La antena del buque tenía 9<sup>m</sup> de altura y la distancia á que he recibido señales es de 7000<sup>m</sup>.

Por medio de un aparato especial he debido salvar el inconveniente de la *mala conductibilidad* del agua dulce del río.

Al iniciar los trabajos con mis deficientes aparatos apenas pude llegar á 1000<sup>m</sup> de distancia.

Obtenida *buena tierra* llegué á 7000 metros.

Esto fué lo que me convenció que la transmisión se hace perfectamente por tierra.

Damos á continuación el alfabeto y demás signos *sistema Morse* aceptado por el mundo entero:

ALFABETO

Letra	Señal	Letra	Señal	Letra	Señal
a	. -	l	. - .	x	- . . -
b	- . . .	m	- -	y	- . - -
c	- . - .	n	- .	z	- - . .
d	- . .	o	- - - -	ch	- - - -
e	. . - .	p	. - -	w	. - -
f	. . - .	q	- - . -	ä	. - . -
g	- - .	r	. - .	é.ë	. . - .
h	. . .	s	. .	ï	- . . -
i	. .	t	-	ñ	- - - -
j	. - - -	u	. . -	ö	- - - .
k	- . -	v	. . . -	ü	. . - -

CIFRAS

Cifras	Señal	Cifras	Señal	Cifras	Señal
1	. - - - -	5	. . . . .	9	- - - - -
2	. . - - -	6	- . . . .	0	- - - - -
3	. . . - -	7	- - . . .	Línea de que brado	- - - - -
4	. . . . -	8	- - - . .		

PUNTUACIÓN

Signo	Señal	Signo	Señal
Punto (.)	. . . .	Guión	- . . . -
Punto y coma (;)	- . - . -	Conillas	. - . . .
Coma (,)	. - . . . -	Paréntesis	- . - . -
Dos puntos (:)	- - - . .	A línea	. - . . .
P. de interrog. (?)	. . - . .	Subrayado	. . - . -
» » exclam. (!)	- - . . -	Doble guión	- . . . -
Apóstrofe (')	. - - - -		

## SERVICIO

Servicio	Señal
Llamada	— . — . —
Repita	. . — — . .
Entendido	. . . — .
Me equivoqué	. . . . .
Fin	. — . — .
Invitación á transmitir	— . —
Espero	. — . . .
Recepción terminada	. — . . — . . — .

**362. —Radium.**—Al estudiar los rayos X, se llegó á constatar que todos los cuerpos irradiaban rayos que como los X excitan la fluorescencia, impresionan una placa fotográfica, descargan los cuerpos electrizados, etcétera.

Los cuerpos que poseen en alto grado esta propiedad se llaman *Radioactivos*.

—*Berquerel* demostró que el *Uranio* era uno de esos cuerpos.

—*Schmidt* comprobó que esa misma propiedad tenían los compuestos del *Torio*.

—Los esposos *Curié* estudiando estas propiedades hallaron en la *pechblenda* primeramente el *Polonio* y después el *Radium*.

—Posteriormente *Debiérne* halló también en la *pechblenda* el *Actinio*, cuya radioactividad es comparable con la del *Radium*.

—Para obtener este cuerpo después de haber extraído de la *pechblenda* el uranio, se trata con ácido clorídrico y se obtiene entre otros cuerpos un *cloruro de Bario* que posee una gran radioactividad la que es debida á que está unido á una porción de *cloruro de Radium*.

Para separar el *cloruro de Radium* se disuelve el *cloruro de Bario* á saturación y se deja evaporar.

Las primeras porciones de solución que cristalizan son ricas en *Radium*.

Se vuelve á disolver, se deja evaporar y lo primero que cristaliza tendrá mucho más *cloruro de Radium*. Prosiguiendo de esa manera se llega casi á tener *cloruro de Radium* puro.

De una tonelada de residuos de *pechblenda* se obtienen tres decigramos de *cloruro de radium*.

El costo actual es de 41 millones de pesos el kilogramo, precio dedu-

cido del precio pagado por el Instituto de Física de la Universidad Nacional de la Plata—90 francos el milígramo.

Lo existente actualmente en todo el mundo no alcanza á dos gramos.

**363.**—Las propiedades de los rayos emitidos por el *Radium* son semejantes á los rayos X.

Excitan las sustancias fosforescentes y fluorescentes.

La pantalla de platino cianuro de bario, utilizada para los rayos X se pone luminosa.

—Interponiendo entre el *Radium* y una placa fotográfica un cuerpo opaco, se obtiene la radiografía del cuerpo.

—Aumenta en dos grados la temperatura del ambiente que lo rodea y se calcula que el calor desprendido en una hora basta para fundir una cantidad de hielo igual á su peso.

—Descarga los cuerpos electrizados y para comprobarlo nos bastaría cargar un electrómetro de hojas de oro y acercarle una pilita de *radium*, las hojuelas caen como caerían bajo la acción de los rayos de Röntgen.

—Tiene una acción desorganizadora notable. Curié que fué llamado á Londres para dar una conferencia sobre el *Radium* y llevó algunos miligramos en el bolsillo del chaleco.

Después de tres ó cuatro días, de regreso á Paris, notó sobre la piel que correspondía á ese bolsillo una mancha roja que días después se convirtió en una úlcera que tardó varios meses en curar.

A Becquerel le pasó algo análogo.

—Cuando recibí el *radium* en el Instituto de Física lo manejé durante varios días para repetir los experimentos citados, y noté después, que las uñas de cuatro dedos de la mano izquierda se habían vuelto quebradizas y se desprendían de una manera irregular dando á las extremidades de los dedos una figura enfermiza.

Recién después de tres meses he conseguido que vuelvan á su estado normal.

Se dice que el *radium* emite rayos de tres naturalezas clasificados según sus propiedades: Rayos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ .

No indicaremos estas propiedades porque haríamos demasiado extenso el tema.

—Se ha hablado mucho sobre el almacenamiento de energía del *Radium*, llegándose hasta afirmar que estas propiedades del *Radium* venían á destruir el principio fundamental de la física, el *Principio de la conservación de la Energía*.

Esta aparente fuente de energía constante, se explica imaginándose que el cuerpo *radium* es un simple *transformador de la energía* recibida del sol correspondiente á vibraciones superiores á 800 trillones de vibraciones por segundo, á la manera que las sustancias fluorescentes transforman los rayos ultra violetas en rayos visibles.

—Basado en los fenómenos que nos permite estudiar el radio se ha llegado á imaginar formado el mundo no ya de *éter* y *átomos* materiales sino de *éter* y *electrones*, ó sea *átomos de electricidad*.

Los átomos materiales no serían más que átomos eléctricos reunidos en mayor ó menor número y agrupados de distinta manera.

**364.—Reductor Ricaldoni.**—Sabido es cuán difícil es tener en los gabinetes de Física de los Colegios Nacionales y Escuelas Normales, listas las pilas ó acumuladores destinados á reproducir los experimentos clásicos.

Nunca están las pilas preparadas y los acumuladores están siempre descargados.

Lo ideal sería aplicar un toma corriente á la corriente industrial de alumbrado y aplicarla á los aparatos, pero esta corriente tiene generalmente una *tensión* de 220 *Volts* y un *amperage* de 10 á 30 *amperes*, es

decir, lo suficiente para inutilizar todos los aparatos del gabinete.

Con mi *Reductor* es posible hacer eso sin peligro alguno, pues se pueden obtener variaciones de potencial

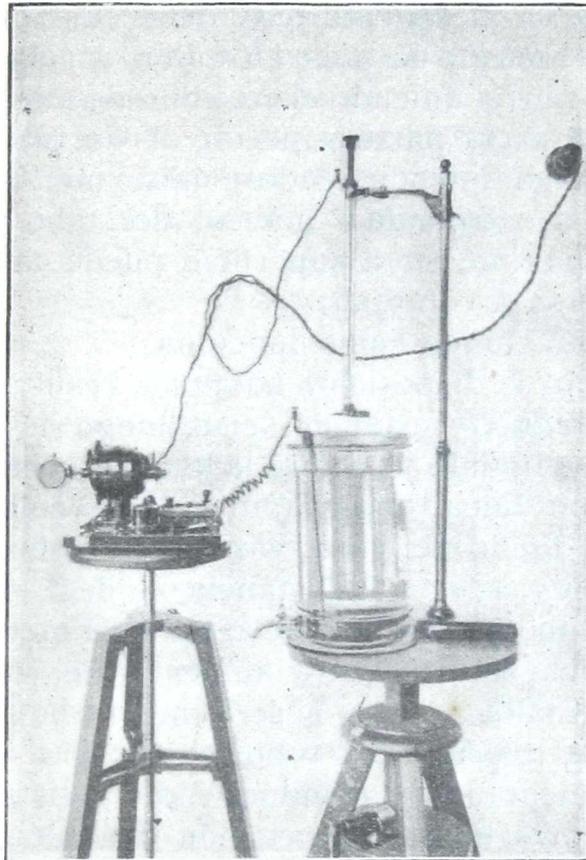


Fig. 236  
Reductor Ricaldoni

de 0 á 220 Volts y variaciones de amperage de 0 á 30 amperes.

—En el *Instituto de Física* no utilizamos otra corriente.

—El aparato (*fig. 236*) consiste en un disco de carbón ó platino colocado en el fondo de un frasco que contiene *agua pura*.

Este disco está unido á una varilla de cobre que termina en un tope al cual se une uno de los hilos que vá al aparato que debe funcionar. El otro tope del aparato se pone en unión con la línea y el circuito se cierra uniendo el otro hilo de línea con un tope colocado en la parte superior de un tubo que puede subir y bajar introduciéndose más ó menos en el agua.

La extremidad inferior del tubo posee otra lámina de platino, cuya superficie puede aumentarse ó disminuirse á voluntad.

—Veamos como funciona.

Por la disposición adoptada resulta que el *aparato*, y el *reductor* están en serie, luego si se introduce el tubo en el líquido y se abre la llave, la corriente seguirá el camino «línea, tubo, chapita del tubo, columna de agua, disco del fondo del vaso, vástago de cobre, *aparato* y línea».

Si se acorta la distancia, es decir, si se introduce más el tubo, la columna de agua será menor, luego la resistencia será menor y aumentará el voltage.

Análogamente, si se aumenta la superficie de la chapita inferior del tubo, aumentará el amperage, luego aumentando y disminuyendo la distancia entre las dos chapas, tengo la variación del voltage y aumentando y disminuyendo la sección de la chapita, tengo la variación de la intensidad.

Este resultado se obtiene de una manera *continua* y no *á saltos* como lo hacen las resistencias de los cuadros. Tan es así, que si utilizamos una lamparita que se pone incandescente con una pila de bolsillo, con nuestro reductor recibe la corriente de 30 amperes y 220 Volts que

---

utiliza el Instituto, sin sufrir percance alguno y lo más notable aún, graduando la intensidad de la luz.

**365.**—Como la energía eléctrica se convierte en energía *calorífica* y *química*, es necesario tener la precaución de renovar el agua con un chorro continuo cuando la corriente á utilizarse es algo considerable y el experimento debe durar más de 15 minutos. El agua se caliente.

—Como se produce la electrólisis del agua, conviene colocar *en el tope del tubo el polo negativo* para facilitar el desprendimiento de los gases.

—Finalmente, es necesario poner el reductor en una sala ventilada y *prohibir fumar* en dicha sala, pues los gases desprendidos forman la *mezcla detonante*.

# LIBRO CUARTO

---

## ACÚSTICA

---

### CAPÍTULO PRIMERO

---

#### PRODUCCIÓN Y PROPAGACION DEL SONIDO

---

**366.—Sonido.**—*Se llama sonido toda sensación excitada en el órgano del oído por la vibración de un cuerpo, vibración que se transmite por un medio elástico.*

El sonido puede producirnos una sensación agradable ó desagradable y el estudio de esa sensación pertenece al dominio de la *música*.

La parte de la física que estudia la producción y propagación del sonido, *sin preocuparse* de la sensación que en nosotros produce, se llama *Acústica*.

**367.—Ruido.**—El sonido puede tener una duración más ó menos larga. Si el sonido es de larga duración tenemos el *Sonido musical* y si el sonido es de *corta duración* ó mezclado, tenemos el *Ruido*.

Así el estampido del cañón, el rumor del trueno, son *ruidos*.

—Sin embargo cuando se comparan entre sí *varios*

*ruídos*, se tiene la sensación del sonido. Por ejemplo, tomemos un trozo pequeño de madera y dejémosle caer al suelo. No experimentaremos la sensación de un sonido, sino el del *ruído*.

Pero si tomamos varios trozos de madera, de longitudes convenientes y los dejamos caer uno después de otro, podemos experimentar la sensación de la *escala musical*, ó de un *acorde*, es decir, una sensación agradable.

Por lo demás, *los ruidos poseen todos los caracteres del sonido*.

**368.—Caracteres del sonido.**—Tres son los caracteres del sonido: la *intensidad*, la *altura* y el *timbre*.

La *Intensidad del sonido* es la propiedad de impresionar el oído con *más ó menos fuerza*.

La *Altura* es la propiedad que tiene de ser más ó menos *grave* ó más ó menos *agudo*.

—Finalmente el *Timbre* es una propiedad de difícil definición, pero que es *apreciada* por el oído.

En virtud del *timbre podemos distinguir una nota* producida por un pistón y la *misma nota* producida por una flauta.

Mas adelante definiremos de otra manera estas cualidades.

**369.—Causa del sonido.**—La causa del sonido reside en la elasticidad de los cuerpos.

Cuando las moléculas de los cuerpos están desalojadas de su posición de equilibrio por un choque, frotamiento ú otra causa, esas moléculas tratan de volver á la posición que tenían primitivamente, lo cual lo consiguen después de una serie de *oscilaciones más ó menos rápidas*. Estas oscilaciones son las que producen el sonido.

Indicaremos en seguida una serie de experimentos para comprobar que *todo cuerpo que produce un sonido está en vibración*.

**370.—Vibraciones de las cuerdas.**—Si entre dos puntos tendemos una cuerda orgánica ó metálica y la separamos de su posición de equilibrio, abandonándola en seguida, *se producirá un sonido*, y al mismo tiempo la cuerda se pondrá á *vibrar*, cumpliendo un cierto número de *vibraciones*, algunas veces *visibles* á simple vista.

Si sobre esa cuerda que produce el sonido, se colocan caballetes de papel, esos caballetes se agitarán y podrán ser lanzados á distancia.

**371.—Vibraciones de las láminas.**—Si se tiende una lámina metálica fija en su centro

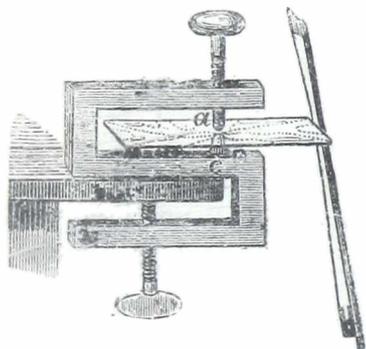


Fig. 237  
Vibraciones de las placas

(*fig. 237*), y frotamos sus bordes con un arco, *se producirá un sonido*, y si tenemos la precaución de polvorear la lámina con arenilla, al producir el sonido, la arenilla se agitará, saltará y se acumulará en ciertos puntos, formando figuras simétricas muy curiosas.

Esa agitación de la arenilla nos prueba que la lámina está en *vibración*.

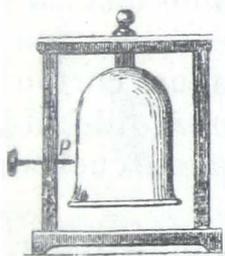


Fig. 238  
Vibraciones de las campanas

**372.—Vibraciones de las campanas.**—Téngase una campana (*fig. 238*) sostenida por un marco, y un tornillo *p* que se puede acercar sin que la toque.

Si con un arco de violín frotamos sobre los bordes de la campana, *se producirá un sonido*, y además se oirán repetidos golpes sobre el vidrio, lo cual prueba que *la campana está en vibración*.

Esta comprobación puede hacerse también usando en

vez de la punta  $p$ , una esferilla liviana suspendida por un hilo y apoyada á las paredes de la campana.

Producido el sonido, se verá que *la esferilla salta*.

**373.—Vibraciones en los tubos.**—En los tubos sonoros, *los sonidos son producidos por la vibración del aire interior*.

Para comprobarlo, podemos usar un tubo sonoro de vidrio (*fig. 239*) é introducir dentro de él un cestito formado por una membrana tendida  $B$ , en el cual se colocan unos granos de arroz, y sosteniéndola por un hilo.

Una vez que se produce el sonido, los granos de arroz *saltarán*.

Podría creerse que las vibraciones del cestito son producidas por la *corriente de aire* del tubo, pero si se coloca el cestito en el medio de la longitud del tubo, los granos de arroz ya no se agitan, lo cual prueba que *no existe dicha corriente de aire*.

Por otra parte, se comprueba que *no es la vibración del tubo* la que produce el sonido, pues si apretamos el tubo con las manos, el sonido *no se interrumpirá*.

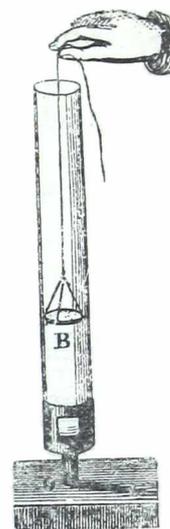


Fig. 239  
Vibraciones de los tubos

**374.—Sonido producido por choques.**—Si tenemos una rueda dentada animada de un rápido movimiento de rotación y acercamos á los dientes de la rueda un cartoncito ó papel resistente, *se producirá un sonido* debido á los sucesivos *choques* de los dientes contra ese cuerpo.

**375.—Propagación del sonido en el vacío.**—Dijimos al definir el sonido que éste debía ser *transmitido* al órgano del oído por intermedio de un cuerpo elástico.

Esto se comprueba mostrando que el sonido *no se propaga en el vacío*.

Ya indicamos un experimento que demuestra esta verdad y ahora podemos indicar otro, que consiste en un balón (*fig. 240*) en cuyo interior se ha introducido una campanilla.

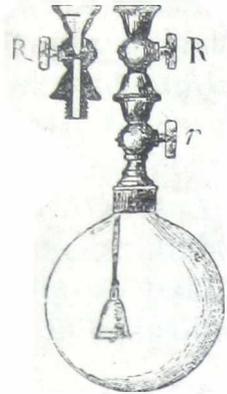


Fig. 240  
Propagación del  
sonido por los gases

Si se hace el vacío en el globo y se sacude, se verá que el badajo golpea en los bordes de la campana, pero *no se percibe el sonido*.

**376.—Transmisión del sonido por los gases.**—Si después de haber hecho el vacío en el globo, se introduce un gas, el sonido se hará perceptible y ese sonido será *más débil* cuanto *menos denso* sea el gas.

Si se introduce hidrógeno, el sonido es muy débil, porque el gas es *menos denso*.

—Por el mismo medio, se prueba la propagación del sonido en los vapores

El aire y los gases que transmiten un sonido *están en vibración*, para demostrar lo cual bastará acercar al cuerpo sonoro una membrana tendida, sobre la cual se ha echado una cantidad de arena. Se verá que la arena salta, y esto indudablemente es por la vibración de la membrana, vibración que es debida al movimiento vibratorio del aire que lo circuye.

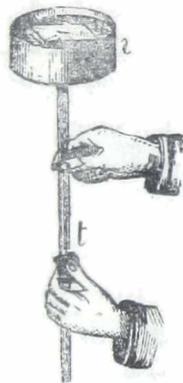


Fig. 241  
Propagación del  
sonido  
por los líquidos

**377.—Transmisión del sonido por los líquidos.**—*El sonido se transmite á través de los líquidos á causa de su elasticidad.*

Para demostrarlo, nos bastará tener un vaso *v* que contiene líquido, sostenido por una varilla metálica *t* (*fig. 241*).

*Si sobre la superficie libre del líquido, colocamos una*

membrana con arena y frotamos la varilla metálica *t* con un paño, se producirá un sonido, y al mismo tiempo *se verá* que la arena que está sobre la membrana salta, lo cual prueba que las vibraciones de la varilla *t* que produjeron el sonido, *se transmite por el líquido* á la membrana.

**378.—Transmisión del sonido por los sólidos.**—*Los sólidos también transmiten el sonido* como lo podemos comprobar, raspando con un alfiler la extremidad de una viga y teniendo otro operador apoyado el oído en el otro extremo de dicha viga.

Aunque la viga tenga varios metros de largo, se puede *oir el tic-tac* de un reloj, colocando el reloj en un extremo y el oído en el otro.

—Apoyado el oído en el suelo, se puede oír el paso de un regimiento de artillería á *muchas leguas* de distancia.

—Si hacemos vibrar un diapasón, esperamos que vibre débilmente, y lo apoyamos sobre los huesos del cráneo, el sonido se hará perceptible.

Apretando *entre los dientes* los bordes de una caja de música, los sordo-mudos reciben la sensación del sonido.

Podríamos citar otra cantidad de experimentos para demostrar que los sólidos transmiten el sonido, y como veremos más adelante, á mayor distancia que los líquidos y los gases.

**379.—Teoría de la propagación del sonido.**—Hemos visto que cuando hay un cuerpo, gaseoso, líquido ó sólido, entre el *cuerpo sonoro* y el oído, siempre se percibe la sensación del sonido.

Demos ahora alguna idea de cómo se hace esa transmisión.

—Para facilitar, supongamos tener un tubo conteniendo un gas que conserva constantemente la *misma presión* y la *misma temperatura*.

Si imaginamos que  $A A'$  (fig. 242) representa un pistón que puede rápidamente moverse de  $A$  á  $a'$  y vice-versa véamos qué es lo que sucede.

Al pasar el pistón de  $A$  á  $a$  el gas contenido en el espacio  $A a a' A'$  se condensa, pero todos sus elementos ó filetes no están igualmente condensados, pues el movimiento del pistón al pasar de  $A A'$  á  $a a'$  no es uni-

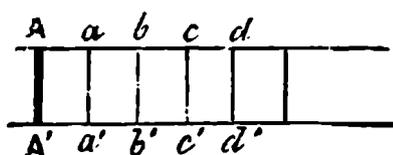


Fig. 242  
Propagación del sonido

forme, pues *parte del reposo en  $A A'$* , para llegar nuevamente *al reposo en  $a a'$* , teniendo su máximo de velocidad en el *medio de  $A a$* , luego también en el medio de  $A a$

es donde habrá el *máximum de velocidad* de las moléculas.

Este espacio  $A a$ , en el cual el pistón parte del reposo y llega en  $a$  al reposo, es lo que se llama la *onda condensada*.

Pero se demuestra que cuando la primera sección  $A A'$ , llega al reposo, *empieza la condensación de una segunda honda a  $a'$*  que pasa por el mismo *máximum* de condensación para llegar al reposo en  $b$ , de donde se siguen propagando esas condensaciones á otras hondas de igual longitud  $b c, c d...$

Cuando el pistón vuelve para *atrás*, se verifica el fenómeno inverso, pero en *vez de tener condensaciones* del gas, se tienen *dilataciones*, produciéndose una serie de *ondas dilatadas*, cuya *longitud* es igual á la de las *ondas condensadas*.

La suma de las dos longitudes, es la que se llama *longitud de la honda sonora* tomando el nombre de *semi-onda dilatada* y *semi-onda condensada*, lo que antes llamamos *onda condensada* y *onda dilatada*.

**380.**—Se suelen representar gráficamente esas condensaciones y dilataciones (fig. 243) suponiendo que la

recta  $MN$  representa el eje del tubo y que las curvas  $A m a, b p c \dots$  que están *sobre la recta* representen las *semi-ondas condensadas* y que las curvas  $a o b,$

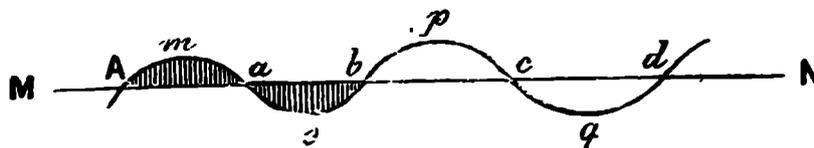


Fig. 243

Representación de las ondas sonoras

$c q d \dots$  representen las *semi-hondas dilatadas* y representando las *ordenadas* las condensaciones ó velocidades de las moléculas en los diferentes puntos del tubo.

**381.**—Lo dicho hasta aquí puede aplicarse á la *transmisión del sonido en todas direcciones*, para lo cual bastará idear una serie de ondas en todas direcciones, las cuales teniendo una misma longitud podemos considerarlas como comprendidas entre dos superficies *esféricas, concéntricas*, pero como esas superficies aumentan de radio, quiere decir que la masa aumentará, luego *la velocidad de vibración irá disminuyendo* y la intensidad del sonido también.

**382.**—En la *propagación del sonido no hay transporte de materia*.—Al hablar de la producción del sonido en los tubos sonoros indicamos que *no había corriente de aire*, como á primera vista podría parecer.

No hay más que una transmisión de *modificación de densidad*. Hay *condensaciones y dilataciones*.

Para darnos cuenta de esto, supongamos que á un estanque de agua arrojamos una piedra. Enseguida veremos que se forman una serie de *ondas circulares concéntricas*, que poco á poco se van dilatando, llevando el movimiento vibratorio á larga distancia.

Parece, pues, que *el líquido se mueve* alejándose del centro, pero si colocamos un corcho sobre el agua, ve-

remos que este corcho *sube y baja*, pero no se traslada. Lo mismo sucede con las olas del mar.

Hay transmisión de *movimiento*, pero *no transporte de materia*.

—Otro ejemplo experimental podemos indicar imaginando tendida una cuerda entre dos puntos fijos. Si cerca de uno de estos puntos golpeamos con fuerza, veremos que se produce una serie de ondas, tal como las hemos indicado, *sin que haya transporte de materia*.

**383.—Velocidad del sonido en el aire.**—De lo que hemos dicho sobre la propagación del sonido, se desprende que éste debe siempre *tardar un cierto tiempo* para ir del punto de producción á otro punto.

—Se observa continuamente que primero *se vé* el relámpago y *después se oye* el cañonazo, primero *se vé* caer el hacha del obrero y después *se oye* el golpe de la misma, todo esto debido á que transmitiéndose la luz con una velocidad considerabilísima, podemos suponer que  *vemos* al mismo tiempo que se ha producido la  *luz*, el  *fogonazo* y el  *movimiento*, pero ha tardado un  *cierto tiempo* en llegar hasta nosotros el sonido del  *trueno*, del  *cañonazo* y del  *hachazo*.

Más adelante veremos que esta velocidad del sonido *no es la misma* para todos los cuerpos que lo transmiten.

—Se llama *velocidad del sonido al espacio que éste recorre en un segundo*.

Muchos experimentos se han hecho para determinar la velocidad del sonido en el aire, pero la primera operación delicada y minuciosa fué hecha por orden de la *Academia de Ciencias de Francia* en 1768, por *Maraldi, Cassini y Lacaille*, que se colocaron en las alturas de Montmartre y Montlhéry, que distaban 2900<sup>m</sup>, y con cañones colocados en estos puntos hicieron una serie de disparos, observando el momento en que *veían* la explosión y *oían* el cañonazo.

El resultado obtenido fué una *velocidad de 337<sup>m</sup>.18 por segundo á 0° de temperatura.*

**384.**—Más tarde, en 1822, á pedido de *Laplace*, se repitieron estos experimentos por los miembros de la *Oficina de longitudes de París*, usando muchas precauciones y procediendo con toda minuciosidad.

Se hicieron dos estaciones en los cerros ó lomas de Villejuif y Montlhéry, siendo observadores en la primera estación *Arago, de Prony y Mathieu* y en Montlhéry *Humboldt, Gay-Lussac, Bouvard*, y en la noche del 21 al 22 de Junio de 1822, con tiempo sereno y aire tranquilo, se tiraron 12 cañonazos en cada estación, de 5 en 5 minutos.

Tardaba el sonido 44.6 en recorrer esa distancia, que era de 18.612,<sup>m</sup>52, lo cual dió por resultado que el *sonido recorre 340,<sup>m</sup>88 por segundo, á la temperatura de 16°.*

Se dedujo también que *la velocidad es la misma con buen tiempo y con lluvia y cualquiera que sea la presión atmosférica.*

**385.**—*La temperatura influye en la velocidad del sonido, y según Regnault debe deducirse 0<sup>m</sup>,60 por cada grado de depresión de temperatura, lo que nos daría por velocidad del sonido en el aire á la temperatura de 0°, el valor de 331<sup>m</sup> próximamente, que difiere poco de la calculada por medio de una fórmula de Newton, modificada por Laplace.*

—*Biot*, experimentando en una cañería de aguas corrientes de París de 951<sup>m</sup>25 largo, constató que *la velocidad es la misma para los sonidos graves y agudos, á cuyo efecto hizo tocar la flauta en un extremo de la cañería y él oía en el otro extremo el mismo motivo musical sin modificación alguna, lo cual no hubiera sucedido si los sonidos agudos se propagaran con mayor velocidad que los graves, ó vice-versa.*

—Sin embargo, *el capitán Parry* observó que perso-

nas colocadas á una cierta distancia oían *primero* el estampido del cañón y *después la orden* de hacer fuego, lo cual probaría que los sonidos *muy intensos* se propagan *con más velocidad*.

— *La velocidad del sonido en los gases* no es la misma que en el aire, y se determinó por medio del cálculo la velocidad para diferentes gases.

Así, para la temperatura de *cero* grados se halló que en el

<i>Oxígeno</i>	el sonido recorre....	317 <sup>m</sup> ,17
<i>Acido carbónico</i>	»	261 <sup>m</sup> ,60
<i>Oxido de carbono</i>	»	337 <sup>m</sup> ,40
<i>Protóxido de Azoe</i>	»	261 <sup>m</sup> ,90
<i>Hidrógeno</i>	»	1269 <sup>m</sup> ,50

**386.—Velocidad del sonido en el agua.**—La velocidad del sonido en el agua fué determinada directamente en el lago de Ginebra por *Colladon* y *Sturn*.

Estos se colocaron en dos botes ó embarcaciones á distancia de 13.487<sup>m</sup>.

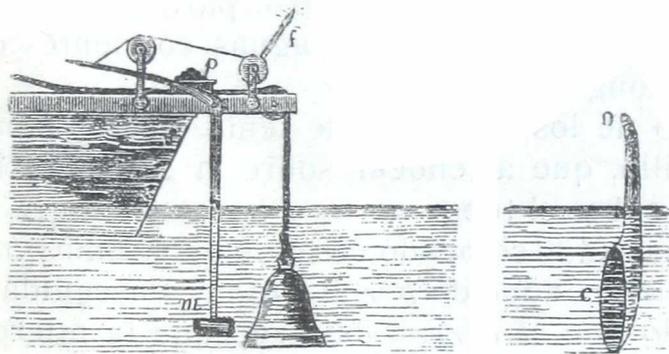


Fig. 244  
Velocidad del sonido en el agua

Una de las embarcaciones llevaba suspendida é introducida en el agua una campana (*fig. 244*) que era golpeada por un martillo *m* que se movía por medio de una palanca acodada.

Cada vez que se golpeaba la campana, se producía la explosión de una cantidad de pólvora colocada en *p*, y de manera que *la explosión y el sonido se producían simultáneamente*.

El otro observador, colocado á la distancia indicada de 13.487<sup>m</sup>, estaba en otra embarcación y tenía en su oído la extremidad de *un cuerno O*, cuyo pabellón *c* estaba cerrado por una membrana.

Este segundo observador *veía* la explosión de la pólvora y después *oía* el sonido de la campana. El intervalo era de 9<sup>s</sup>,7 próximamente.

De donde se dedujo que la velocidad del sonido en el agua es de 1.435<sup>m</sup>. Casi 4 1/2 veces mayor que en el aire.

**387.**—*Wertheim*, recurriendo á un método indirecto determinó la velocidad del sonido en el *éter y alcohol absoluto*, obteniendo 1.160<sup>m</sup>, y en una disolución de *cloruro de calcio* 1.980<sup>m</sup> por 1<sup>s</sup>.

**388.**—*Velocidad del sonido en los sólidos.*—*Biot y Martín* determinaron experimentalmente la velocidad del sonido en la *fundición de hierro*, para lo cual hicieron uso de los mismos tubos de aguas corrientes de París con una longitud de 951<sup>m</sup>.

En uno de los extremos se tenía una campana con un martillo, que al chocar sobre la campana lo hacía *también* sobre el tubo.

El observador colocado en el otro extremo *oía primero* el sonido conducido *por el caño* y enseguida el otro conducido *por el aire*, y observó que la diferencia de tiempo era de 2<sup>s</sup>,5 de donde se dedujo que *la velocidad del sonido en la fundición de hierro* era de 3.538<sup>m</sup>.

Este dato no puede ser exacto á causa de la interposición del *plomo* que une las juntas de los caños.

—*Wertheim y Breguet*, usando los hilos de hierro del telégrafo del ferrocarril de Versailles, hallaron como velocidad del sonido en el hilo de hierro 3.485<sup>m</sup>.

---

Usando el método indirecto de las vibraciones, *Wertheim* determinó que en el

<i>Plomo</i>	la velocidad es de	1300 <sup>m</sup>
<i>Plata</i>	» » » .....	2700
<i>Platino</i>	» » » .....	2700
<i>Zinc</i>	» » » .....	3700
<i>Cobre</i>	» » .....	3700
<i>Acero</i>	» »	5000

y la mayor velocidad encontrada fué en la madera de *abeto*, que es de 6.999<sup>m</sup>, es decir, 18 veces mayor que en el aire.

---

## CAPÍTULO II

## REFLEXIÓN DEL SONIDO

**389.—Reflexión del sonido.**—Cuando se deja caer una bola de marfil sobre una superficie plana horizontal, esa bola, después de chocar contra el plano, vuelve sobre sí misma en virtud de su elasticidad.

Análoga cosa sucede si lanzamos una bola de billar perpendicularmente á las barandas; pero *si la bola es lanzada oblicuamente* contra la baranda, será rechazada ó *reflejada*, formando un *ángulo* con la baranda *igual al ángulo* que formaba esta con la primitiva dirección de la bola.

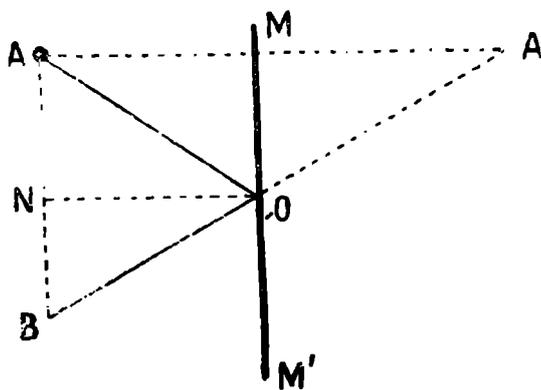


Fig. 245  
Reflexión del sonido

Lo mismo sucede cuando un rayo luminoso, calorífico ó sonoro cae sobre la superficie de un cuerpo elástico.

Si suponemos tener una *onda sonora*, que partiendo del punto *A* lleva la dirección *AO* (*fig. 245*), al

chocar esa onda con la superficie *MM'*, será reflejada según la dirección *OB*, formando un ángulo *AON* con la *normal ON* del punto *O* igual al ángulo *NOB*.

El ángulo  $A O N$  se llama *ángulo de incidencia* y el ángulo  $N O B$  toma el nombre de *ángulo de reflexión*.

Esta propiedad, que como dijimos se verifica también con el *calor* y la *luz*, da lugar al enunciado de *dos leyes*, que son las siguientes:

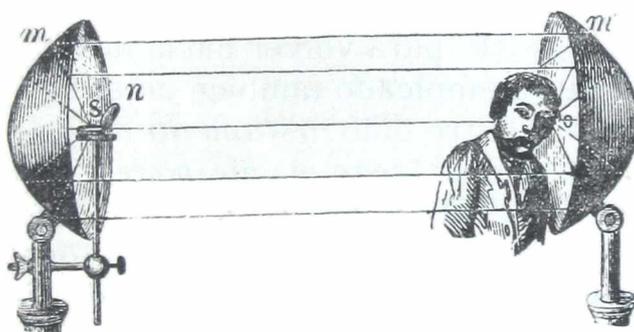
- 1º *La onda incidente y la onda reflejada están en el mismo plano de la normal del punto de incidencia,*
- 2º *El ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales.*

**390.**—Entonces, suponiendo que en  $A$  (*fig. 245*) se tiene el *centro fónico* ó punto donde está el cuerpo que produce el sonido y en  $B$  está situado el *observador*, éste oirá *dos sonidos*, uno recibido directamente según la línea  $A B$  y otro según  $O B$ , como si el centro fónico estuviera colocado en  $A'$ , del otro lado de la superficie reflectora.

Este fenómeno del *segundo* sonido constituye el *eco*.

**391.**—*Se comprueba experimentalmente* la reflexión del sonido, haciendo uso de dos espejos parabólicos, como se ve en la *fig. 246*.

Si en el *foco*  $S$  de uno de los espejos se coloca un re-



**Fig. 246**  
Reflexión del sonido

loj y el observador coloca su oído en el *foco*  $o$  del otro espejo, oirá perfectamente el *tic-tac* del reloj, porque las ondas sonoras recibidas por el espejo  $m$  son *reflejadas*

paralelamente á su *eje principal*  $S o$ , y al llegar al espejo  $m'$  se vuelven á reflejar, concurriendo todas las ondas al foco  $o$ .

Colocando el oído en un punto intermedio, no *se oirá el tic-tac* del reloj.

**392.—Eco.**—De lo dicho resulta que el *eco* es la *repetición de un sonido* que ha sido reflejado sobre una superficie colocada á una distancia tal, que el sonido reflejado *no se confunda* con el sonido que se recibe directamente.

—Veamos qué *condiciones* hay que satisfacer para obtener la producción del eco, para la palabra.

Sabido es que una persona, hablando, no puede articular más que *5 sílabas por segundo*, es decir, que en cada sílaba empleara un quinto de segundo.

Ahora bien, en ese tiempo el sonido habrá recorrido

$$\frac{340^m}{5} = 68^m$$

suponiendo que el sonido recorra  $340^m$  por segundo.

—Si suponemos que hay un obstáculo á  $34^m$  de distancia, la última sílaba de esa palabra recorre  $34^m$  para llegar á él y otros  $34^m$  para volver hacia nosotros: en todo  $68^m$ . Luego habrá empleado también un quinto de segundo y llegará á nuestro oído *justamente después* de haber terminado esa sílaba; luego el oído *podrá percibirla*.

Si el obstáculo está á *menos* de  $34^m$ , el sonido reflejado vendrá á superponerse en parte con el sonido emitido, y entonces se tendrá un *eco nocivo*, llamado *Resonancia*.

Si en vez de estar á  $34^m$  está á  $68^m$ , podremos percibir las *dos* últimas sílabas emitidas.

Si está á  $3 \times 34 = 102^m$ , se percibirán *tres* sílabas y así sucesivamente.

—Estos ecos son, pues, *monosílabos*, *bisílabos*, *trisélabos*, etc., según nos den *una*, *dos* ó *tres* sílabas.

—Puede suceder que la reflexión se verifique sobre *varios obstáculos* á la vez ó sucesivamente, y entonces el sonido se *repetirá varias veces*, constituyendo así el *écho múltiple*.

. Cuando se opera con *sonidos muy breves*, como el tiro de una pistola, la distancia para producirse el écho puede reducirse á la mitad de la distancia necesaria para los sonidos articulados, es decir, á 16<sup>m</sup>.

**393.—Ecos notables.**—En la naturaleza se tienen continuamente ecos, cuya reproducción *artificial* se hace imposible, pues basta el desplazamiento de un cuerpo cualquiera para que la reflexión se produzca en otro sentido diverso del que conviene.

—En Italia, cerca de Milán, se tiene el notable écho de *Villa Simoneta*, el cual, si se tira un pistoletazo desde la ventana del piso superior, se reproduce *40 ó 50 veces*. Una sílaba es repetida hasta *30 veces*.

En Woostock, provincia de Oxfort, Inglaterra, un sonido es reproducido *17 veces* durante la noche.

—*Bajo los arcos de los puentes y en el mar*, se tienen ecos, y en este último caso son producidos por la reflexión del sonido, sobre las nubes, las velas y las altas olas.

**394.—Resonancia.**—Dijimos que cuando la onda directa y la onda reflejada se *sobreponen*, lo cual sucede cuando la distancia del *centro fónico* á la superficie reflectora es *menor* que 34<sup>m</sup> para los sonidos articulados, se produce el fenómeno llamado *Resonancia*.

El fenómeno de la resonancia se tiene en los grandes salones y de paredes desnudas, llamándose *locales sonoros* aquellos donde la resonancia es favorecida, y *sordos* ú *opacos* aquellos donde sucede lo contrario.

Como la resonancia exagerada es nociva para los oradores, se evita este inconveniente colocando tapices y cortinas, ó sea cuerpos blandos, que reflejan *poco* el sonido, y por consiguiente, ensordecen el local.

—Las bóvedas circulares son nocivísimas, siendo más convenientes las bóvedas parabólicas.

Este es un punto muy importante que debe tenerse en cuenta en la construcción de teatros, salas para asambleas, etc.

Cuando los cuerpos que revisten las paredes son elásticos y por consiguiente susceptibles de vibrar, el eco no tiene el mismo timbre que el sonido directo.

**395.—Refracción del sonido.**—Cuando una onda sonora choca contra un obstáculo, se divide en *dos partes*, una es reflejada y otra atraviesa la superficie, pero al penetrar sufre una *desviación* que toma el nombre de *refracción* de la onda sonora.

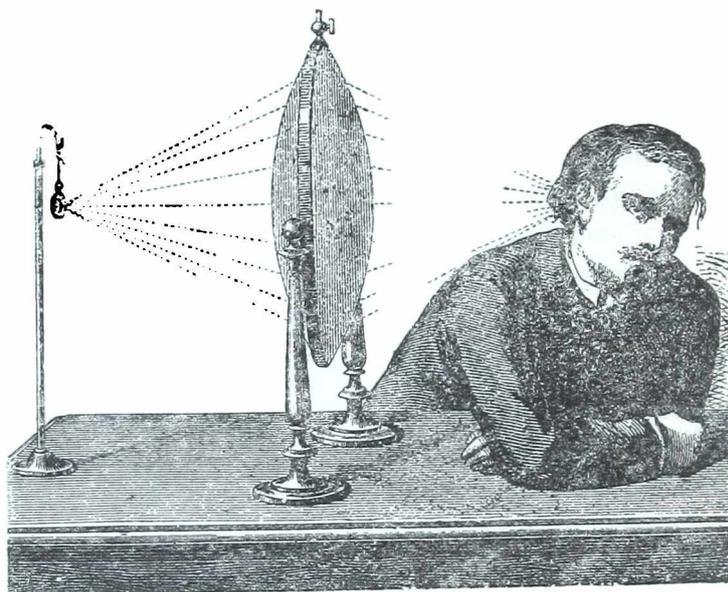


Fig. 247  
Reflexión del sonido

Más adelante veremos, que, análoga cosa sucede con los rayos luminosos y caloríficos.

Esto puede comprobarse experimentalmente, por medio del aparato de *Sandauss* (*fig. 247*) que está formado de un saco de collodión sostenido por un aro de

---

metal, y que una vez lleno de un gas cualquiera, toma la forma de un *lente biconvexo esférico*.

Si se coloca un reloj á una distancia conveniente del lente lleno de ácido carbónico, y de modo que esté colocado sobre el *eje principal* de dicho lente y el operador se coloca del otro costado, no percibirá el *tic-tac* del reloj, hasta tanto que el oído no se haya colocado sobre ese mismo *eje principal* y á una distancia conveniente.

Fuera de allí ó sacando el lente, no oirá nada, lo cual nos prueba que las *ondas sonoras se han desviado* al atravesar el lente, para venir á reconcentrarse sobre el eje principal.

La desviación depende de la relación que existe entre la *velocidad del sonido* en el aire y la *velocidad en el otro medio* que atraviesa, que en el caso aquí indicado, es el ácido carbónico.

---

## CAPITULO III

## INTENSIDAD DEL SONIDO

**396.—Variaciones de la intensidad del sonido.**—La intensidad de un sonido *varía* con:

- 1º La *amplitud* de las vibraciones.
- 2º La *distancia* del cuerpo sonoro.
- 3º La *densidad* del medio ambiente.
- 4º La proximidad de *cuerpos sonoros*.
- 5º La *superficie* del cuerpo sonoro.
- 6º La *dirección* del viento.
- 7º La *temperatura*.
- 8º La *hora* del día.

**397.—Influencia de la amplitud de las Vibraciones.**—No existen aparatos para *medir* la intensidad de los sonidos, la que solo puede apreciarse por las sensaciones que ellos producen en nuestro oído.

Para demostrar la influencia de la *amplitud* de las vibraciones, nos bastará tender una cuerda metálica y hacerla vibrar desviándola de su posición de equilibrio. Veremos que *el sonido habrá sido tanto más intenso, cuanto mayor haya sido la desviación*.

Además si la cuerda tiene la suficiente longitud para que las oscilaciones sean *visibles*, se notará que la intensidad va disminuyendo á medida que las oscilaciones tienen menor amplitud.

*La intensidad es proporcional al cuadrado de la amplitud.*

**398. —Influencia de la distancia.**—El sonido producido por un *centro sonoro*, se transmite bajo la forma de esferas concéntricas, cuyas superficies *van creciendo como los cuadrados de los radios*, y como la intensidad ha sido *una*, debe la intensidad repartirse sobre dichas superficies cada vez mayores.

—De aquí se deduce la *ley* que nos dice:

*La intensidad de un sonido varía en razón inversa del cuadrado de la distancia del cuerpo sonoro.*

Esto es fácil comprobarlo tomando un timbre que está á la distancia de 10<sup>m</sup>, y haciéndole producir un sonido.

Si enseguida colocamos *4 timbres iguales* á una distancia *doble*, es decir 20<sup>m</sup>, experimentaremos la misma sensación que cuando se tenía un sólo timbre á 10<sup>m</sup>. Es decir, pues, que *duplicando* la distancia tuvimos que *cuadruplicar* la intensidad, luego queda constatada la ley.

**399. —Influencia de la densidad.**—La intensidad de un sonido *aumenta con la densidad del medio*, quedando naturalmente constantes las demás condiciones.

Va dijimos que el sonido *no se propaga en el vacío*.

—Si hacemos que el sonido se propague en una vasija que contiene hidrógeno, que es 14 veces *menos* denso que el aire, el sonido es apenas perceptible.

Si en vez de hidrógeno colocamos *ácido carbónico*, el sonido se propagará con más intensidad que en el aire.

—En el aire comprimido los sonidos son más intensos, y por lo contrario cuando se sube á una montaña donde el aire es menos denso, los sonidos son también menos intensos.

Así *Saussure* notó que en la cima del Monte Blanco á 4.800<sup>m</sup> sobre el nivel del mar, un pistoletazo no produce un estruendo más intenso que el que produciría un fulminante á los pies de una montaña.

En el agua el sonido se propaga con mucha intensidad. *Colladon* con experimentos hechos en el lago de Gine-

bra, afirmó que se podría establecer una comunicación á 100 kilómetros de distancia sumergiendo una campana bajo el agua.

Finalmente ya probamos que en los sólidos el sonido se propaga mejor que en el aire y el agua.

**400.—Influencia de la proximidad de los cuerpos sonoros.**—La proximidad de un cuerpo sonoro *aumenta* la intensidad del sonido.

Esto se ha aplicado en los instrumentos de cuerda como *violines, guitarras, pianos, etc.*

Parece que esto ya era conocido por los antiguos, pues *Vitrurio* cuenta que se colocaban en la parte superior de los teatros, *campanas* acostadas, de bronce, con el objeto de reforzar la voz de los artistas.

**401.—Influencia de la superficie del cuerpo sonoro.**—La superficie del cuerpo sonoro tiene una gran influencia.

La vibración de una cuerda tendida produce un sonido poco intenso, porque es muy pequeña la superficie del cuerpo en vibración, mientras que una campana que se hace vibrar, obra sobre el aire en una gran superficie.

Esa es también la razón porque la proximidad de los cuerpos sonoros aumenta la intensidad del sonido, pues la vibración que produce el sonido se transmite por el aire á las cajas sonoras, y éstas, entrando en vibración, lo transmiten al aire por una superficie mayor.

**402.—Influencia del viento.**—Se ha comprobado que el viento es perjudicial para la propagación del sonido, y que un sonido es más intenso cuando hay calma que cuando sopla viento.

Habiendo viento, es *más intenso* cuando el sonido se transmite *en la dirección* del viento que cuando se transmite en sentido contrario, pero *más intenso aún* en una dirección *perpendicular* á la dirección del viento.

**403.—Influencia de la temperatura.**—Se comprueba que el frío ó la disminución de temperatura, hace transmitir los sonidos con mayor intensidad.

Cuenta *Parry* que en las regiones polares, él pudo sostener una conversación á voz ordinaria á una distancia de 1.600<sup>m</sup>, y un compañero del capitán *Parry*, *Foster*, dice que en Port-Bowen conversó con un marinero á la distancia de 2.040<sup>m</sup>, marcando el termómetro,  $-28^{\circ}$ .

**404.—Influencia de la hora.**—Se ha comprobado que *de noche* los sonidos se transmiten con mayor intensidad que durante el día.

*Humboldt* explica este hecho diciendo que durante el día el aire pierde su homogeneidad, debido á que las diferentes capas de aire están distintamente calentadas por los rayos solares y la irradiación del suelo.

Otros creen que esto sea debido á que de noche faltan todos los ruidos que se producen durante el día, pero *Humboldt* contesta á esto, que el aumento de intensidad de noche se produce también en los países tropicales, donde los animales hacen más estrépito de noche que de día.

—Nosotros creemos que el fenómeno es debido á que durante la noche, bajando la temperatura, las capas atmosféricas se hacen más densas y más homogéneas.

**405.—Tubos acústicos.**—Cuando el sonido se propaga en *tubos cilíndricos*, para el sonido no rige la *ley de la distancia* que ya indicamos. La pérdida de la intensidad es muy pequeña, pues parece que el sonido que se produce en esas condiciones, pone en vibración una gran masa de aire, que no puede propagarse en ondas esféricas como cuando se produce el sonido en un medio indefinido.

*Biot*, en sus experimentos sobre la transmisión del sonido en un caño de aguas corrientes de 951<sup>m</sup> de largo, constató que la pérdida de intensidad era insignificante.

De uno á otro extremo de este tubo, podía conversar en voz baja.

Esa propiedad ha sido utilizada en las fábricas, grandes casas de comercio, etc., para conversar de una á otra oficina.



Fig. 248  
Porta-voz

**406.—Porta-voz.**—El *porta-voz* ó *bocina* es un tubo ligeramente cónico, terminado por un *pabellón* en un extremo, y una *embocadura* en el otro (fig. 248).

Hablando en esa *embocadura*, la voz se transmite á una gran distancia. Es utilizado en la marina.

Su teoría es poco conocida. Se creyó que fuera debido á la sucesiva reflexión interior de las ondas sonoras, pero *revisando* el interior del *porta-voz* con paño, se nota muy pequeña disminución de intensidad.

El *pabellón* tiene gran influencia, pero no se sabe *por qué*. Es un hecho que de la forma geométrica de la columna del aire interior, depende el aumento de intensidad del sonido.

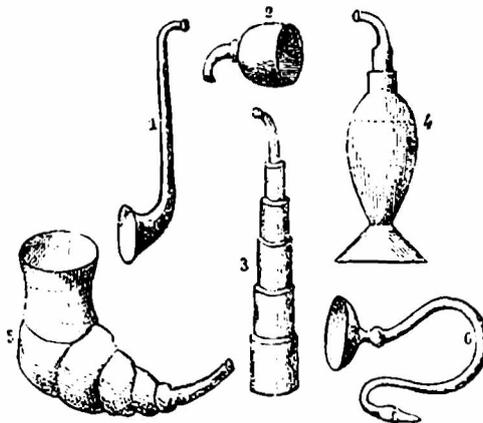


Fig. 249  
Trompetillas acústicas

**407.—Cuerno ó trompetilla acústica.**—Este aparato (fig. 249) es utilizado por las personas que tienen dificultad para percibir los sonidos.

Como vemos no, es más que un tubo cónico, cuyas formas se modifican para hacerlo más cómodo, munido de un *pabellón* por donde se habla y terminado por un

agujero más pequeño que se introduce en el oído. Cuando se habla en el pabellón, las ondas se van comprimiendo cada vez más, hasta que cuando sale por el extremo que está en el oído, tiene su máximo de intensidad.

**408.—Megáfono.**—Este instrumento, imaginado por *Edison*, es una combinación del porta-voz y la trompetilla acústica.

Consiste en un porta-voz de 2<sup>m</sup> de largo y 2 ó 3 centímetros de diámetro.

A uno y otro lado se colocan *dos trompetillas* de cartón, también de 2<sup>m</sup> de largo y cuyo papellón tiene 0<sup>m</sup>,80 de diámetro.

El extremo menor del cuerno, está terminado por un tubo de goma que se introduce en el oído.

Dos personas que tengan este aparato, pueden conversar á *dos ó tres kilómetros de distancia* y oír á *un kilómetro*, si la persona que habla no hace uso del porta-voz.

**409.—Estetoscopio.**—Consiste este aparato en una cápsula metálica (*fig. 250*) terminada de un lado por un tubo de caucho cuyo extremo *b* se introduce en el oído.



Fig. 250

Fig. 251  
Estetoscopio

y del otro, por una lámina ó membrana *c* también de caucho (*fig. 251*) y otra membrana *a* interior que permite, soplando por un tubo lateral, formar una especie de *lente a c*, como se ve en la figura.

Este aparato es usado por los médicos para auscultar los enfermos.

Cuando se quiere oír el ruido del corazón ó los pulmones, se aplica el instrumento sobre el pecho del enfermo apoyándolo sobre la membrana *c*, é introduciendo en el oído el extremo *b* del tubo de goma.

Entonces los ruidos se transmiten del pecho del enfermo al aire contenido en el lente *a c*, y de allí, por el tubo, al oído.

Aplicando varios tubos de goma al mismo aparato, varios médicos pueden simultáneamente auscultar al mismo enfermo.

**410.—Audifono.**—Es un aparato destinado á permitir que las personas sordas puedan oír, con tal que no tengan atrofiado el nervio acústico.

Consiste en una pantalla de caucho endurecido, algo encorvado, que el sordo sostiene por medio de un mango, aplicando al mismo tiempo el borde de la pantalla á los dientes superiores.

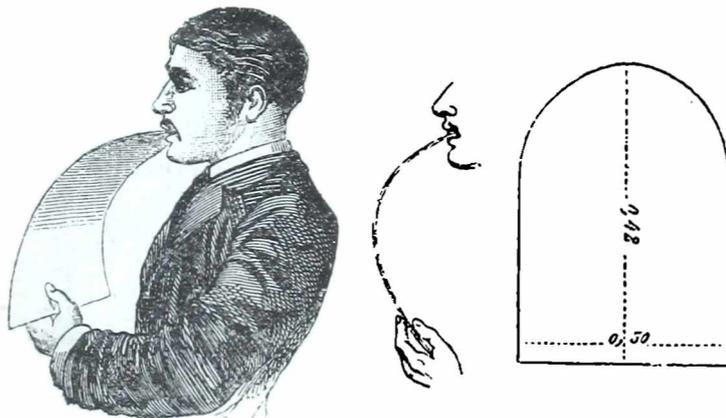


Fig. 252  
Audifono

El sonido transmite á esa lámina las vibraciones, las cuales se transmiten al nervio acústico por medio de los huesos de la cabeza.

—*Colladón* ha simplificado su instrumento, haciendo facilísima su construcción.

Consiste en una lámina de cartón satinado, cortado

---

según se ve en la *figura 252* y según las dimensiones en ella indicada.

Se tiene en la mano por la parte recta y se aplica la parte curva contra los dientes de la mandíbula superior.

Levantando más ó menos la mano, se le da la curvatura conveniente según sea más ó menos sensible el oído.

## CAPÍTULO IV

## ALTURA DEL SONIDO

411.—**Altura del sonido.**—Ya dijimos que además de la intensidad, el sonido tenía otros dos caracteres esenciales, la *altura* y el *timbre*.

La *altura* de un sonido depende de la rapidez de las vibraciones, es decir, del *número de vibraciones* cumplidas en un tiempo determinado. Fué *Galileo* el que demostró esto.

—Cuando el número de vibraciones de dos sonidos es *igual*, se dice que los dos sonidos están á la misma altura ó están al *unísono*.

—Cuando las vibraciones son muy rápidas, se tiene un sonido *agudo* y cuando las vibraciones son poco rápidas, se tiene un sonido *grave*.

—Como es natural, estas denominaciones correspondientes á los sonidos, son relativas.

Para demostrar que las vibraciones rápidas producen los sonidos agudos, y las poco rápidas los sonidos graves, es necesario poder *medir el número de vibraciones* correspondientes á un sonido, para lo cual tenemos los siguientes métodos:

- 1.º *La Sirena.*
- 2.º *La rueda dentada de Savart.*
- 3.º *El método gráfico de Young ó Vibróscopo de Duhamel.*
- 4.º *El método óptico de Lissajous.*
- 5.º *Llamas manométricas de Kænig.*

**412.—Sirena.**—Este aparato, inventado por *Cagniard de Latour*, consiste en una caja cilíndrica de cobre *T* (fig. 253), cuya base inferior tiene en su centro un tubo *t*, por el cual se puede hacer llegar una corriente de aire producida por un fuelle.

La base superior está formada por un disco circular fijo. Concéntrico y apoyado sobre éste, sin tocarlo, hay otro disco circular *cc*, *movible* junto con un eje *a*.

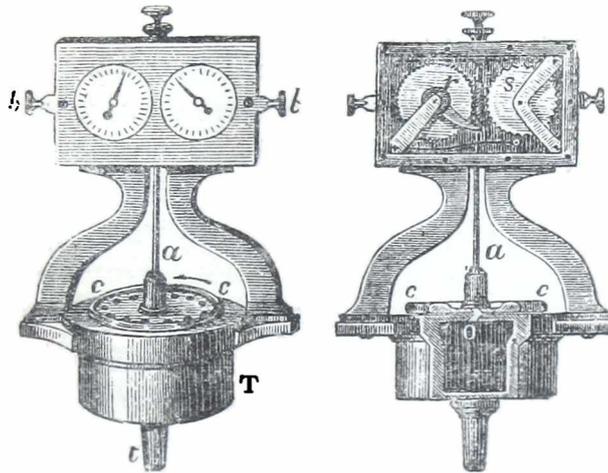


Fig. 253  
Sirena de Cagniard de Latour

Estos dos discos tienen una serie de pequeños agujeros equidistantes entre sí, y de modo que los agujeros del disco *móvil* pueden coincidir con los agujeros del disco fijo, pero la dirección de estos agujeros no es *perpendicular* á los discos, sino *oblicua* y en sentido *inverso*, como se ve en el corte *O*.

El eje *a* está terminado superiormente por un *tornillo sin fin*, que en su movimiento hace recorrer *un diente por cada vuelta* que da la rueda dentada *r*. Esta rueda lleva en su centro un eje en el cual hay una aguja que recorre un *cuadrante graduado*.

Cada revolución entera de esta rueda dentada es *marcada* por el movimiento de una segunda rueda *s* que también lleva su aguja con su cuadrante. Un resorte que

## CAPÍTULO IV

**ALTURA DEL SONIDO**

**4II.—Altura del sonido.**—Ya dijimos que además de la intensidad, el sonido tenía otros dos caracteres esenciales, la *altura* y el *timbre*.

La *altura* de un sonido depende de la rapidez de las vibraciones, es decir, del *número de vibraciones* cumplidas en un tiempo determinado. Fué *Galileo* el que demostró esto.

—Cuando el número de vibraciones de dos sonidos es *igual*, se dice que los dos sonidos están á la misma altura ó están al *unísono*.

—Cuando las vibraciones son muy rápidas, se tiene un sonido *agudo* y cuando las vibraciones son poco rápidas, se tiene un sonido *grave*.

—Como es natural, estas denominaciones correspondientes á los sonidos, son relativas.

Para demostrar que las vibraciones rápidas producen los sonidos agudos, y las poco rápidas los sonidos graves, es necesario poder *medir el número de vibraciones* correspondientes á un sonido, para lo cual tenemos los siguientes métodos:

- 1.º *La Sirena.*
- 2.º *La rueda dentada de Savart.*
- 3.º *El método gráfico de Young ó Vibróscopo de Duhamel.*
- 4.º *El método óptico de Lissajous.*
- 5.º *Llamas manométricas de Kænig.*

**412.—Sirena.**—Este aparato, inventado por *Cagniard de Latour*, consiste en una caja cilíndrica de cobre *T* (fig. 253), cuya base inferior tiene en su centro un tubo *t*, por el cual se puede hacer llegar una corriente de aire producida por un fuelle.

La base superior está formada por un disco circular *fijo*. Concéntrico y apoyado sobre éste, sin tocarlo, hay otro disco circular *c c*, *movible* junto con un eje *a*.

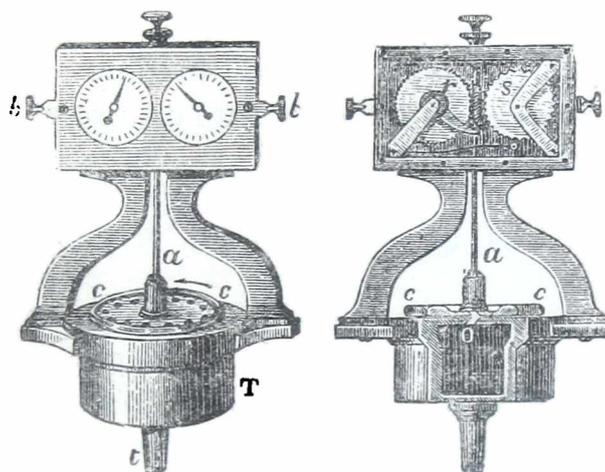


Fig. 253  
Sirena de Cagniard de Latour

Estos dos discos tienen una serie de pequeños agujeros equidistantes entre sí, y de modo que los agujeros del disco *móvil* pueden coincidir con los agujeros del disco *fijo*, pero la dirección de estos agujeros no es *perpendicular* á los discos, sino *oblicua* y en sentido *inverso*, como se ve en el corte *O*.

El eje *a* está terminado superiormente por un *tornillo sin fin*, que en su movimiento hace recorrer *un diente por cada vuelta* que da la rueda dentada *r*. Esta rueda lleva en su centro un eje en el cual hay una aguja que recorre un *cuadrante graduado*.

Cada revolución entera de esta rueda dentada es *marcada* por el movimiento de una segunda rueda *s* que también lleva su aguja con su cuadrante. Un resorte que

tiene la rueda  $r$  hace mover *un diente* de la rueda  $s$  por *cada vuelta completa* que da la  $r$ .

Estas ruedas y cuadrantes están aplicadas sobre un disco metálico el cual por medio de los botones  $b b$  puede tener un movimiento lateral que hace que la rueda  $r$  engrane con el tornillo ó se separe de él.

Como este aparato puede producir sonidos *debajo del agua*, ha sido denominado *Sirena*.

**413.**—Hagámosla funcionar.

Coloquemos la sirena sobre un fuelle y hagamos que por el tubo  $t$  penetre una corriente de aire al tambor  $T$ , y veremos que el disco móvil  $c c$  empieza á girar y producir un sonido musical que va siendo cada vez más agudo, á medida que aumenta la velocidad del disco móvil.

El sonido producido es debido á que el aire comprimido en el tambor  $T$  sale por los agujeros del disco fijo y como el aire encuentra *oblicuamente* las paredes de los agujeros del disco móvil, obliga á este disco á girar.

Pero en este movimiento giratorio, hay momentos en que los agujeros del disco móvil no corresponden con los del disco fijo, luego el aire sale con intermitencias, lo cual produce sus vibraciones y éstas producen el sonido.

**414.**—Cuando se quiere saber el número de vibraciones de un sonido dado, se empieza por hacer funcionar la sirena hasta que ésta produzca un sonido que esté al unísono con el sonido dado. Conseguido esto, se regula una *salida constante* de aire para que la sirena dé siempre el mismo sonido y se aprieta el botón  $b$  para poner en movimiento las agujas y al mismo tiempo se inicia el movimiento de un *péndulo*.

Después de un cierto *tiempo* se mueve el botón  $b$  para separar la rueda dentada del tornillo sin fin y se *para* el péndulo.

—Supongamos:

1.º que los discos tengan *20 agujeros*.

2.º que la rueda *r* tenga *100 dientes* y que su aguja marque en el cuadrante *32 divisiones*.

3.º que la rueda *s* marque *40 divisiones*.

4.º que el *tiempo* empleado ha sido de *40<sup>s</sup>*.

La rueda *s* marcando 40 divisiones ha hecho 40 revoluciones enteras, pero como la rueda *r* tiene 100 dientes, las 40 divisiones de la rueda *s* nos miden

$$40 \times 100 = 4000 \text{ vueltas}$$

del disco *c c*.

Además el cuadrante *r* nos da 32 divisiones, luego quiere decir que durante la operación el disco *c c* habrá dado

$$4000 + 32 = 4032 \text{ vueltas.}$$

Pero como el disco *c c* tiene 20 agujeros, resulta que en cada revolución produce *20 vibraciones*, luego habiendo 4032 revoluciones, el número de vibraciones producidas *durante los 40<sup>s</sup>* será de

$$4032 \times 20 = 80640.$$

Luego *las vibraciones en 1<sup>s</sup>* serán

$$\frac{80640}{40} = 2016 \text{ vibraciones por segundo}$$

—La fórmula que debe emplearse es

$$N = \frac{20(r + 100s)}{40}$$

siendo 20 el número de agujeros, *r* las divisiones que marca el cuadrante *r*; *s* las divisiones del cuadrante *s* y 40 el número de segundos.

Aplicando esta fórmula al caso, resulta

$$N = \frac{20(32 + 100 \times 40)}{40} = \frac{20 \times 4032}{40} = \frac{80640}{40}$$

$$N = 2016$$

resultado igual al anterior.

**415.—Rueda dentada de Savart.**—Consiste este aparato en un banco, en el cual pueden girar dos ruedas de ejes paralelos, una *A* (*fig. 254*) que se puede mover por medio de una manivela *M* y otra *B* que es movida por intermedio de la correa *D*.

La rueda *B* es dentada y si apenas iniciado el movimiento se coloca un pedazo de cartón ó una lámina metálica en el punto *E*, los dientes de la rueda *B* chocarán

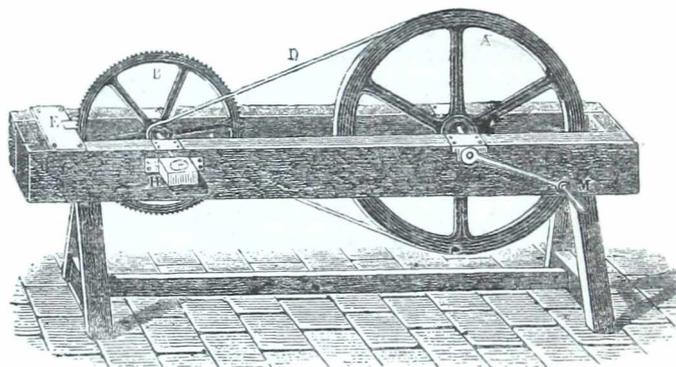


Fig. 254  
Rueda dentada de Savart

sobre su borde y le harán producir un cierto número de vibraciones que nos darán un sonido.

—Cuando se quiere operar, se acerca el cartón *E* á los dientes y se gira la manivela *M* con mayor ó menor velocidad, hasta obtener el sonido cuyo número de vibraciones se quiere medir.

Una vez obtenido esto, se sigue el movimiento con la misma velocidad y se hace funcionar el contador *H* que

da las revoluciones de la rueda dentada y se pone en movimiento un cronómetro.

Después de un cierto tiempo, se detiene el movimiento y se mide el tiempo  $t$  en segundos.

Sea  $N$  el número de vueltas que marca el contador y  $n$  el número de dientes de la rueda, entonces la expresión

$$\frac{N \times n}{t}$$

nos dará el *número de vibraciones por segundo*, correspondiente al sonido dado.

—Ni este aparato ni la sirena *son precisos*.

En la rueda dentada de *Savart*, puede suceder que se deje una *fracción* de vuelta sin contar, y en la sirena puede también haber una *fracción* de vuelta del disco móvil sin haberse tenido en cuenta.

**416.—Método gráfico.**—Este método que se aplica con el *Vibrómetro de Duhamel*, es el más perfecto.

Por este método *se escriben* las vibraciones del cuerpo que está en vibración.

El *vibrómetro de Duhamel* consiste en un cilindro  $C$  de vidrio, cubierto de negro de humo, el cual puede girar al rededor de un eje  $v$

(*fig. 255*), que al mismo tiempo que gira *puede avanzar paralelamente á su eje*. por ser éste un tornillo.

El cilindro está equilibrado por un contrapeso  $P$ .

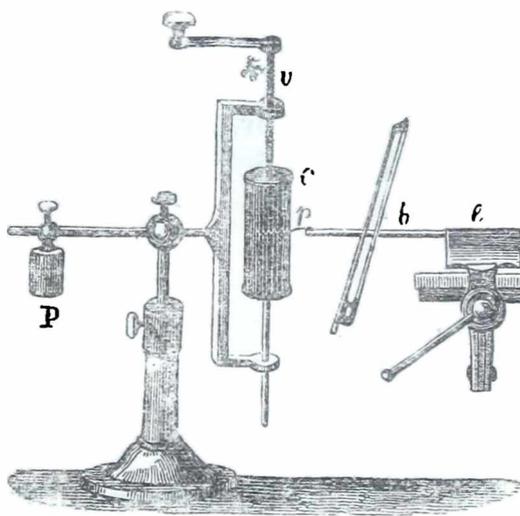


Fig. 255  
Vibrómetro de Duhamel

--Si se quiere *medir* el número de vibraciones que produce una varilla *b*, frotada por un arco, se fija bien el cuerpo *b* en *e* y se le agrega en su extremo libre una punta fina *p*.

Producido el sonido, se empieza el movimiento del cilindro, tomándose al mismo tiempo *la hora* en un cronómetro.

Cesado el movimiento se encontrará que en el cilindro *se ha trazado una línea en zig-zag*, que nos indicará las vibraciones producidas por la punta *p*.

No hay más que *contarlas y dividir las por el número de segundos*, para tener el número de vibraciones por segundo, de ese sonido.

—Teniendo un diapasón que da un *número conocido* de vibraciones por segundo, se puede *sustituir al cronómetro*.

Para eso bastará hacer que el diapasón escriba sus vibraciones, al mismo tiempo que lo hace el *cuerpo* con que se está operando.

Después de un *tiempo cualquiera*, se detiene el cilindro y *se cuenta* el número *N* de vibraciones del diapasón y el número *n* de vibraciones del *cuerpo*, y si llamamos *V* las vibraciones que da el diapasón *por segundo*, cosa que conocemos, y *x* el número de vibraciones *por segundo* del cuerpo, se tendrá

$$N : n :: V : x$$

de donde

$$x = \frac{V \times n}{N}$$

Este método, que, como dijimos, es el más perfecto, es también el más cómodo.

Si se trata de *vibraciones de gases*, bastará hacer que las vibraciones se transmitan á una membrana que tiene un estilo en su centro y *hacer que ese estilo sea el que escriba*.

**417.—Método óptico de Lissajous.**—Se debe á *Lissajous* un método que permite *hasta á los sordos* poder estudiar la *relación* que existe entre dos sonidos.

El método se funda sobre lo siguiente:

Si sobre una varilla metálica ó diapasón *D* colocamos un espejito *m* y sobre él hacemos llegar un rayo luminoso *Lm*, que reflejándose sobre un espejo auxiliar *M* proyecta el punto luminoso *I* sobre una pantalla (*figura 256*), y *hacemos vibrar* el diapasón *D*, la proyección luminosa nos dará una línea vertical *I' I''*, lo cual es debido á las rápidas y sucesivas inclinaciones que con la vibración recibe el espejo *m*.

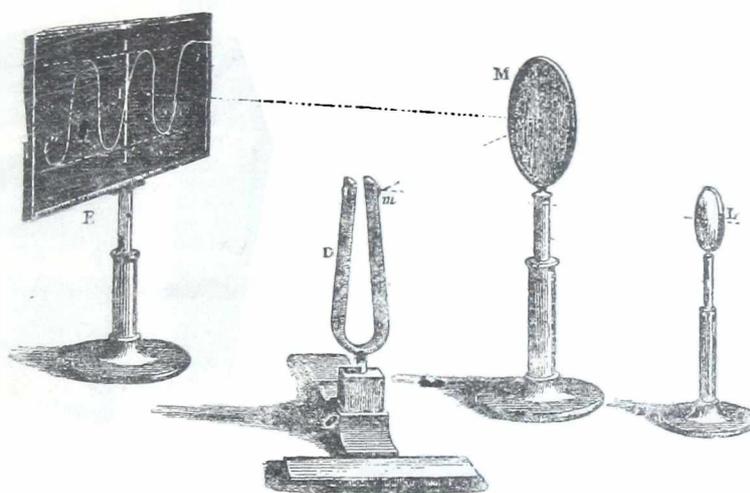


Fig. 256  
Método de Lissajous

Como el movimiento es tan rápido, la sensación experimentada será la de ver una *línea luminosa*, parecida á la que se observa cuando se mueve rápidamente una braza, debido á la *persistencia de las imágenes en la retina*, como se verá más adelante.

**418.**—Si al mismo tiempo que vibra el diapasón, damos al espejo *M* movimientos *circulares* alternativos, los dos movimientos *se compondrán* y sobre la pantalla se verá la línea sinuosa *i' i''*.

Si en vez de ser *vertical* el diapasón *D*, hubiera estado colocado *horizontalmente*, la línea que se vería sobre la pantalla sería horizontal.

419.—Supongamos ahora que en vez del espejo *M* colocamos un segundo diapasón *D'*, pero *horizontal*, y supongamos también que los diapasones están al *unísono* (*fig. 257*).

Si se hace vibrar el *diapasón D sólo*, en la pantalla se verá una *línea vertical*. Si se hace vibrar el *diapasón D' sólo*, en la pantalla se verá una *línea horizontal*.

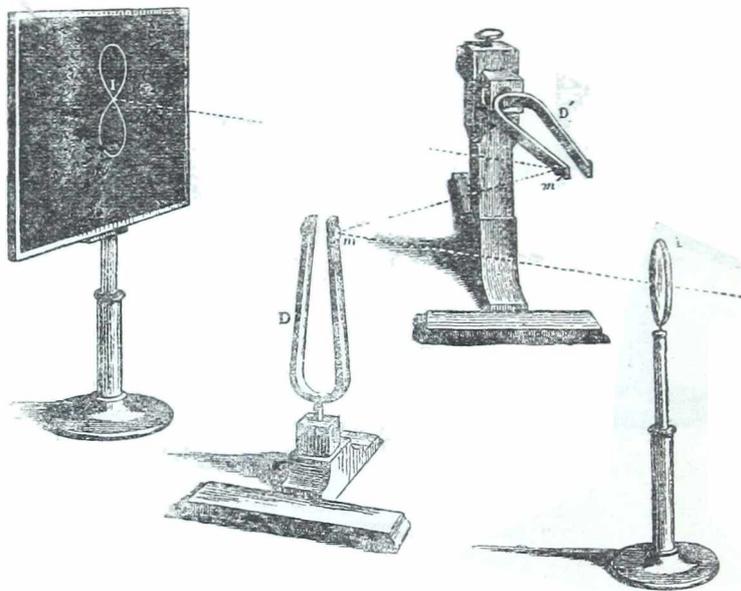


Fig. 257  
Método de Lissajous

y si hacemos vibrar *los dos al mismo tiempo*, la línea se convertirá en una *oblicua* que sería la diagonal del paralelogramo construido sobre las dos líneas horizontal y vertical que hemos mencionado.

—Esta línea *resultante* del movimiento de dos diapasones que están al unísono, será una oblicua, si los dos diapasones empezaron á vibrar al *mismo tiempo*.

Però esto es muy difícil, por cuyo motivo las líneas

serán distintas según el *intervalo* de tiempo en que han empezado sus movimientos ó *diferencia de faz*.

—Así tenemos en la primera serie de la *fig. 258* que las líneas que se obtienen cuando la relación de las vi-

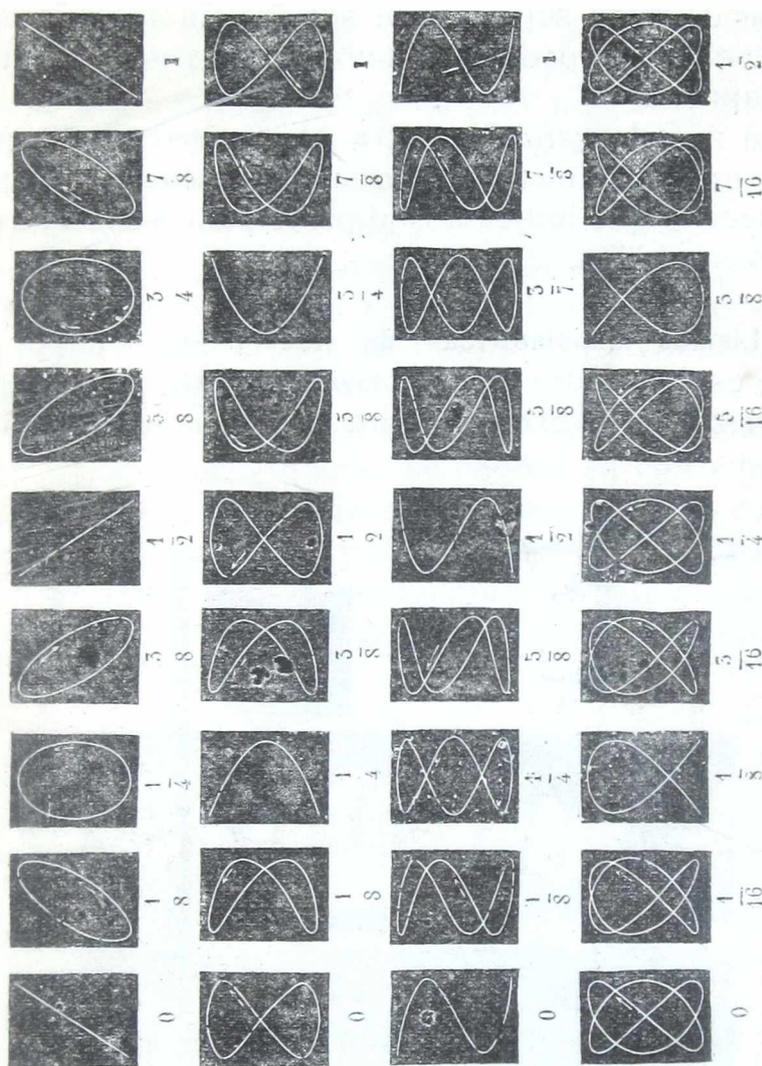


Fig. 258  
Figuras acústicas

braciones es de 1: 1; es decir cuando *están al unísono*, pueden ser dos oblicuas inclinadas á distinto lado y tres *elipses* cuyo eje mayor será vertical ú oblicuo.

Los quebrados que están debajo de cada figura nos

dan la *diferencia de faz* correspondiente á cada una de ellas.

**420.**—Si se reemplaza el diapasón *D'* por otro que dé *la octava*, tendremos las figuras de la *segunda serie* y así las de cada serie, según sea la relación que exista entre el número de vibraciones correspondiente á cada diapasón.

Luego á cada *relación* entre el número de vibraciones corresponde una figura determinada, lo cual nos permite hacer lo que indicamos al principio, es decir, *comparar* dos sonidos.

**421.**—**Llamas manométricas de Koenig.**—El método de *Koenig* está basado en la *transmisión del movimiento vibratorio* que ha producido un sonido, á las llamas de gas.

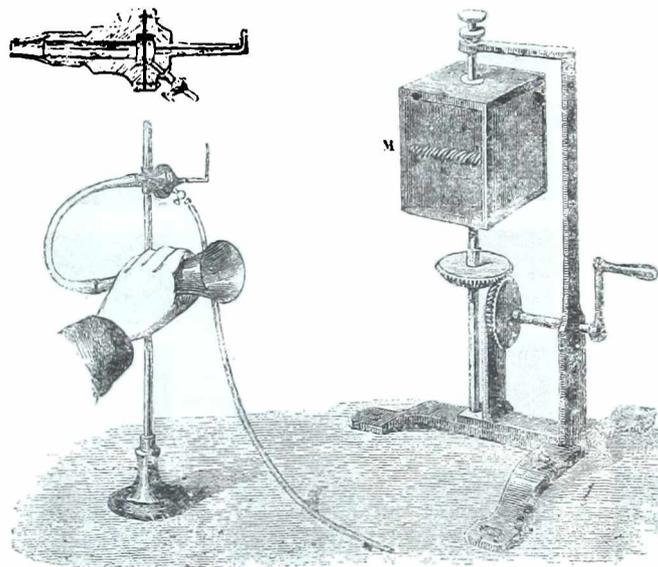


Fig. 259

Llamas manométricas de Koenig

Sea un paralelepípedo *M* formado por *cuatro espejos* (*fig. 259*), al cual se puede imprimir un movimiento de rotación por medio de una manivela y ruedas dentadas.

Frente á él colóquese un mechero de gas como lo indica la figura.

El pico de gas está formando parte de una *cápsula de Koenig*, cuya sección está representada en *A*.

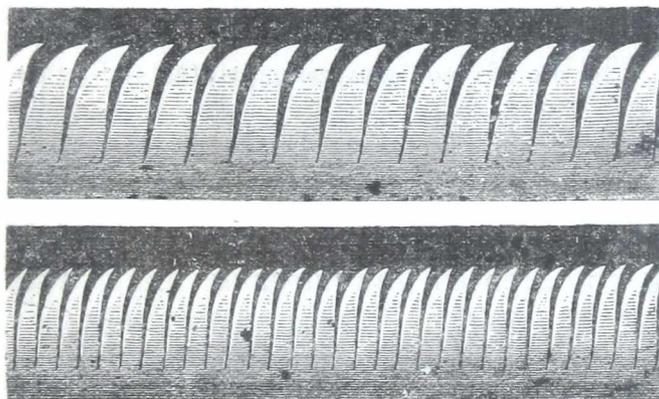
Consiste en una caja metálica dividida en dos partes por medio de una *membrana elástica*.

En una de esas partes llega un caño de goma que conduce el gas que ha de alimentar la llama, y la otra parte está en comunicación con un *tubo acústico*, encargado de transmitir las vibraciones.

—La *llama* está prendida y el *espejo* quieto, luego sobre el espejo se verá la imagen de la llama.

—Si hacemos *girar* el espejo, la llama se verá como una *cinta luminosa*, debido á la *persistencia* de las imágenes en la retina.

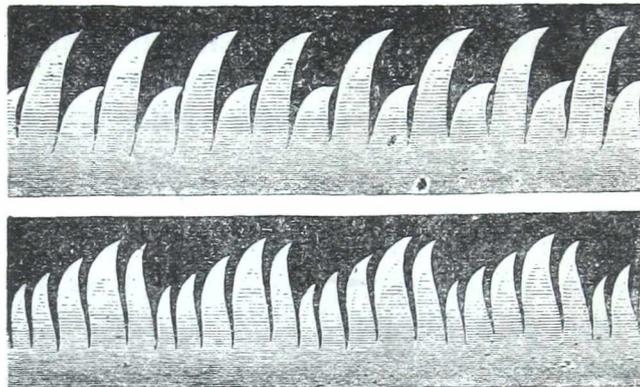
—Si ahora *producimos un sonido* en la bocina del tubo acústico el aire interior se pondrá en vibración y las vibraciones se transmitirán á la membrana, la cual producirá condensaciones y dilataciones del gas, luego *la llama oscilará* y esas oscilaciones se manifestarán como lo indica la *fig. 260*, para cuando se produzca el *sonido fundamental*.



Figs. 260 y 261  
Figuras de Koenig

—Si se produce la *octava alta*, se verá la forma representada en la *fig. 261*.

Si se producen *los dos sonidos simultáneamente*, la imagen será la de la *fig. 262* y finalmente, si una dá el sonido fundamental y la otra la *tercia*, se producirá la forma indicada en la *fig. 263*.



Figs. 262 y 263  
Figuras de Koenig

Para hacer llegar simultáneamente varios sonidos á la llama, se usan varios tubos de caucho, que llegan todos á reunirse cerca del fondo de la *cápsula de Koenig*.

Este aparato se aplica sobre todo, para el análisis de los sonidos, como lo veremos más adelante.

**422 —Limite de los sonidos perceptibles.**—*Savart* ha demostrado que el *límite de los sonidos perceptibles* depende más bien de la intensidad del sonido que de su altura.

*Savart* modificó su rueda dentada poniendo en vez de una rueda con dientes una barra de madera de 60 centímetros de largo, (*fig. 264*) que animada por un movimiento de rotación pasa por entre dos láminas de madera que le están muy próximas.

Constató que con *16 vibraciones simples* por segundo, se percibe *un sonido muy grave*, y el límite de los sonidos *agudos* que se pueden oír lo elevó á 48.000 vibraciones por segundo.

— *Despres* pone como límite inferior 32 vibraciones y como límite superior 73.700 vibraciones por segundo.

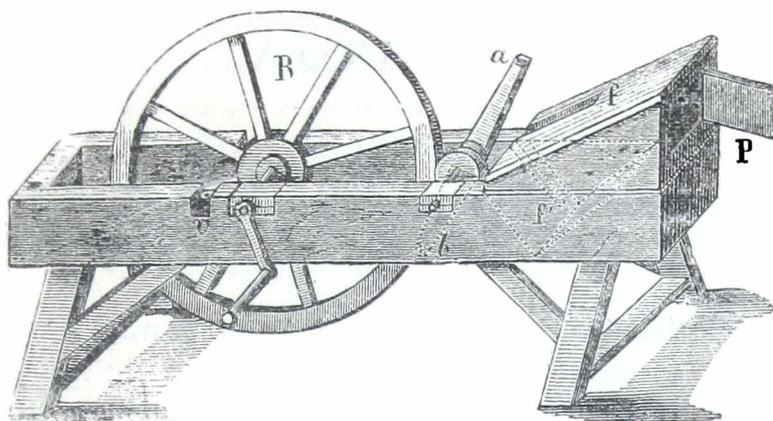


Fig. 264  
Aparato de Savart

— Finalmente *Koenig* pone como límite inferior 60 vibraciones y 40.000 como límite superior.

Los sonidos que da el *piano* están entre 54 y 8.400 vibraciones; los del *violín* entre 400 y 6.000 y los del *contrabajo* entre 80 y 8.500.

## CAPÍTULO V

## TEORIA FISICA DE LA MÚSICA

**423.—Cualidades del sonido musical.**—Cuando se producen *simultáneamente* dos ó más sonidos de altura distinta, el oído nos transmite una sensación *agradable ó desagradable*.

Si la sensación percibida es *agradable*, se dice que los sonidos son *consonantes* y si la sensación es *desagradable* se dice que hay *disonancia*.

**424.—Intervalos y acordes.**—*Cuanto más sencilla es la relación* que existe entre el número de vibraciones de dos ó más sonidos producidos simultáneamente, tanto más *agradable* será la sensación producida.

Esta relación ó *razón* entre el número de vibraciones se llama *Intervalo* entre dos sonidos.

La *producción simultánea* de dos ó más sonidos, toma el nombre de *Acorde*.

**425.—Unísono.**—*El acorde más sencillo* es aquel en que á los sonidos corresponde el mismo número de vibraciones, en cuyo caso, si llamamos **1** al número de vibraciones que corresponde á uno de los sonidos, la relación entre el número de vibraciones de los dos sonidos será

$$\frac{1}{1} = 1$$

En este caso los dos sonidos están al *unísono*.

**426.—Escala Musical.**—Consiste en una serie de 7 *sonidos* separados por *intervalos sencillos*, que cuando se hacen sonar uno después de otro presentan una *sucesión regular* y que después se reproducen más altos ó más bajos, pero siguiendo siempre el mismo orden.

Esta *série* de sonidos se ha denominado *Gama* ó *Escala Musical*, dándose el nombre de *notas* á cada uno de los sonidos.

—La primera *nota* que hemos tomado se llama la *Tónica* y los siete sonidos fundamentales se han denominado:

*do, re, mi, fa, sol, la, si.*

A partir de la *nota si*, vuelve á producirse otra *gama*, en la que cada una de las *notas* será la *octava aguda* de la *nota* del mismo nombre de la *gama* anterior.

—Para *formar* la *escala*, ó *determinar el número* de vibraciones que debían corresponder á cada *nota*, *no se ha empleado cálculo* alguno, sino que ha sido establecido por el *sentido musical* del hombre, es decir, ha sido establecido *fisiológicamente*.

—Producidos, pues, los sonidos de la *escala*, ha sido fácil por medio de la *Sirena*, *Rueda dentada*, etc., determinar el número de vibraciones por segundo que corresponde á cada una de las *notas*.

*Se encontró* que si se llama 1 el número de vibraciones que corresponde á la *nota do*, para las demás *notas* corresponderán las siguientes vibraciones:

$$do = 1$$

$$re = \frac{9}{8}$$

$$mi = \frac{5}{4}$$

$$fa = \frac{4}{3}$$

$$sol = \frac{3}{2}$$

$$la = \frac{5}{3}$$

$$sí = \frac{15}{8}$$

$do = 2$  escala aguda de  $do = 1$

—Por lo tanto, si suponemos que el *do* corresponde á 240 vibraciones, al *re* corresponderán  $\frac{9}{8}$  de 240, es decir, 270 vibraciones, al *mi*, corresponderán  $\frac{5}{4}$  de 240, es decir 300, y así sucesivamente tendríamos calculadas las vibraciones de la escala musical, cuya *tónica do* corresponde á 240 vibraciones.

Se tendría:

*do* = 240 vibraciones

*re* = 270 »

*mi* = 300 »

*fa* = 320 »

*sol* = 360 »

*la* = 400 »

*si* = 450 »

*do* = 480 »

**427. – Escala fundamental.**—Hasta ahora hemos formado la escala, dando al *do* un número arbitrario de vibraciones, lo cual tiene el inconveniente de no dar *base fija* para la construcción de los instrumentos, así como para las composiciones musicales.

Era, pues, necesario determinar el *número absoluto* de las vibraciones correspondientes á cada nota musical, para lo cual se decidió que el *do fundamental* fuera *dado por la cuerda mayor del violoncello* vibrando libre y que *equivale á 130,3 vibraciones simples por segundo*.

Conociendo el número de vibraciones del *do fundamental*, nos será fácil determinar el *número absoluto* de vibraciones que corresponde á cada nota de la *escala fundamental*, multiplicando el número de vibraciones 130,3 que corresponden al *do* por las relaciones.

$$\frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{4}{3} \dots$$

Luego tendremos el siguiente *cuadro del número de vibraciones de la escala*, con relación á la nota fundamental.

<i>Notas</i>	<i>Número de vibraciones</i>
<i>do</i> = 1	$\times 130,3 = \mathbf{130,3}$
<i>re</i> = $\frac{9}{8}$	$\times 130,3 = 146,5$
<i>mi</i> = $\frac{5}{4}$	$\times 130,3 = 162,8$
<i>fa</i> = $\frac{4}{3}$	$\times 130,3 = 173,7$
<i>sol</i> = $\frac{3}{2}$	$\times 130,3 = 195,4$

$$la = \frac{5}{3} \times 130,3 = 217,1$$

$$si = \frac{15}{8} \times 130,3 = 244,3$$

$$do = 2 \times 130,3 = 260,6$$

**428.**—Para obtener el *número absoluto de vibraciones* correspondiente á la escala que empieza por el *do agudo* del *do fundamental*, nos bastará *multiplicar por dos* cada uno de los números anteriores.

—Para la *tercera escala*, multiplicaríamos por  $2 \times 2 = 2^2$  y así sucesivamente.

—Si se tratara de la escala que empieza por el *do grave* del *do fundamental*, se *dividiría* el número de vibraciones por 2.

Se ha convenido en escribir

$$do_1 \quad re_1 \quad mi_1 \quad fa_1 \quad sol_1 \quad la_1 \quad si_1$$

la escala que parte del *do fundamental*

$$do_2 \quad re_2 \quad mi_2 \quad fa_2 \quad sol_2 \quad la_2 \quad si_2$$

la que parte del *do agudo*, y análogamente para las escalas subsiguientes se escribiría

$$do_3 \quad re_3 \quad mi_3 \quad fa_3 \dots$$

$$do_4 \quad re_4 \quad mi_4 \quad fa_4 \dots$$

.....

Del mismo modo, para las escalas *más graves* que la fundamental se escribe

$$do_{-1} \quad re_{-1} \quad mi_{-1} \quad fa_{-1} \dots$$

$$do_{-2} \quad re_{-2} \quad mi_{-2} \quad fa_{-2} \dots$$

.....

**429.**—Dado el número de vibraciones de la escala fundamental, nos será fácil calcular el número de vibraciones que corresponde á cualquier otra nota, *multiplicando* el número de vibraciones por 2, 2<sup>2</sup>, 2<sup>3</sup>... si se trata de escalas *ascendentes* con respecto á la fundamental y *dividiéndola* por 2, 2<sup>2</sup>, 2<sup>3</sup>,... si se tratara de escalas *descendentes*.

Por ejemplo, se tendría

$$\begin{aligned} do_2 &= 130,3 \times 2 = 260,6 \\ la_3 &= 217,1 \times 2^2 = 217,1 \times 4 = 868,4 \\ si_4 &= 244,3 \times 2^3 = 244,3 \times 8 = 1954,4 \\ re_{-1} &= 146,5 : 2 = 73,2 \\ sol_{-2} &= 195,4 : 4 = 48,8 \end{aligned}$$

**430.**—*Diapasón normal.*—Dijimos que se ha convenido en tomar por *do fundamental* el sonido producido por la cuerda más gruesa del violoncello vibrando libre.

Como se comprende, esto tampoco nos dá fijeza en la nota fundamental, pues, si se tiene *más ó menos* tensa esa cuerda, si la cuerda es más ó menos densa, si es más ó menos gruesa ó más ó menos larga, el sonido corresponde á un mayor ó menor número de vibraciones.

Para obviar este inconveniente, era necesario tener un instrumento que nos *diera constantemente la misma nota*, es decir, que nos *diera siempre* un sonido correspondiente á un *número constante de vibraciones*.

El gobierno francés, por decreto de fecha 16 de Febrero de 1859, marcó como *diapasón normal*, el diapasón de acero que dá 870 *vibraciones simples* por segundo y que corresponde á la nota *la<sub>3</sub>* de la escala musical, según hemos calculado anteriormente.

El número de vibraciones del diapasón de los distintos teatros, es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Opera de París} &= 870 \text{ vibraciones} \\ \text{Opera de Berlín} &= 897 \quad \text{»} \end{aligned}$$

<i>San Carlos</i> de Nápoles	= 890	<i>vibraciones</i>
<i>Scala</i> de Milán	= 903	»
<i>Italiano</i> de Londres	= 904	»
<i>Opera</i> de Buenos Aires	= 870	»

**431.—Intervalos y Tonos.**—Ya dijimos que se dá el nombre de *Intervalo al cociente* que resulta de dividir el número de vibraciones que corresponde á una nota por el número de vibraciones que corresponde á otra nota.

Podemos *calcular* cuales son los *intervalos* que existen entre dos notas consecutivas de la gama, valiéndonos de las fracciones indicadas en el párrafo (426), fracciones que representan el número relativo de vibraciones, siendo 1 las vibraciones del *do*.

Tendríamos que el intervalo entre:

$$do \text{ y } re = \frac{9}{8} : 1 = \frac{9}{8} \text{ Tono mayor}$$

$$re \text{ y } mi = \frac{5}{4} : \frac{9}{8} = \frac{10}{9} \text{ Tono menor}$$

$$mi \text{ y } fa = \frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{16}{15} \text{ Semitono mayor}$$

$$fa \text{ y } sol = \frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{9}{8} \text{ Tono mayor}$$

$$sol \text{ y } la = \frac{5}{3} : \frac{3}{2} = \frac{10}{9} \text{ Tono menor}$$

$$la \text{ y } si = \frac{15}{8} : \frac{5}{3} = \frac{9}{8} \text{ Tono mayor}$$

$$si \text{ y } do_2 = 2 : \frac{15}{8} = \frac{16}{15} \text{ Semitono mayor}$$

Observamos aquí, que las fracciones que encontramos son:

$$\frac{9}{8}, \frac{10}{9} \text{ y } \frac{16}{15}$$

*intervalos*, que toman el nombre respectivamente de *tono mayor*; *tono menor* y *semitono mayor*.

**432.**—Vemos entonces que los intervalos que nos presenta la escala de *do*, son *dos tonos* seguidos de *un semitono* y *tres tonos* seguidos de un *semitono*.

En música, no se dá al *tono mayor* y *tono menor* más que el nombre de *Tono*, pues, el intervalo que existe entre ellos

$$\frac{10}{9} \cdot \frac{9}{8} = \frac{80}{81}$$

es tan *pequeño*, que se puede despreciar.

Este intervalo que no difiere de la unidad más que  $\frac{1}{81}$  toma el nombre de *Coma*, y es *tan poco notable*, que ni los oídos más experimentados lo perciben.

**433.**—**Acordes.**—Dijimos que se llama *Acorde* la producción simultánea de varias notas, y que el acorde, es tanto más agradable cuanto más *sencilla* es la relación entre el número de vibraciones que corresponde á dichos sonidos.

Así el acorde más *perfecto* es el que corresponde al *unísono*, en cuyo caso, la relación está expresada por

$$\frac{1}{1} = 1$$

A este acorde que es el más sencillo, sigue el que corresponde á la *octava aguda*, cuya relación está ex-

presada por

$$\frac{2}{1} = 2$$

—Si se toman las notas *do*, *mi*, *sol*, cuyo número relativo de vibraciones está expresado por

$$1, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}$$

observaremos que el número de vibraciones de estas tres notas están en una relación *muy sencilla* pues, multiplicado por 4 esos números, resultarán los números

$$4, 5, 6$$

y tendremos así formado el acorde llamado *acorde perfecto mayor*.

**434.—Sostenidos y Bemoles.**—Hasta ahora solo hemos considerado la *escala de do*, es decir, la escala cuya *tónica es do*, pero puede suceder que el compositor desee ejecutar el trozo musical con notas más agudas ó más graves, en cuyo caso no habría más remedio que empezar la escala en *octavas* más agudas, ó más graves, lo cual es un gran inconveniente, pues es mucha la diferencia que hay entre una escala y su octava alta ó baja.

Para obviar esto, se tomó el recurso de *multiplicar* ó *dividir* por  $\frac{25}{24}$  el número de vibraciones de ciertas notas, y entonces siempre se tendrá una escala que guarda la relación marcada de *dos tonos un semitono tres tonos y un semitono* entre las ocho notas sucesivas, es decir, que se trata siempre de conservar los intervalos.

$$1, 1, \frac{1}{2}, 1, 1, 1, \frac{1}{2} \quad (1)$$

La fracción  $\frac{25}{24}$  toma el nombre de *semitono menor* y *el intervalo más pequeño* que se usa en la música. Gracias á este artificio se puede empezar la escala por cualquier nota.

135.—Supongamos, por ejemplo, que queremos formar la escala de *sol* tendremos

*sol, la, si, do, re, mi, fa, sol*

pero recordando los intervalos ó tonos entre *sol* y *la*, entre *la* y *si*... se tendrá la série

$$1, 1, \frac{1}{2}, 1, 1, \frac{1}{2}, 1$$

que *no guarda* el orden indicado en la (1), luego vamos *aumentar* de un semitono la *séptima nota*, es decir, el *fa* y entonces se tendrá que el intervalo entre *sexta* y *séptima* nota será, como debe ser, de *un tono*, y el intervalo de la *séptima* y *octava* será de solo *medio tono*.

Para *aumentar el medio tono de fa*, nos bastará sólo dijimos, multiplicar su número de vibraciones por  $\frac{25}{24}$ , lo cual se indica por el signo  $\sharp$  y se lee *sostenido*. Entonces, la escala sería

$$\begin{array}{cccccccc} \text{sol} & \text{la} & \text{si} & \text{do} & \text{re} & \text{mi} & \text{fa}^\sharp & \text{sol} \\ & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} \end{array}$$

de donde vemos que los tonos y semitonos guardan la *debe* posición.

136.—Supongamos que queremos formar la escala *ya tónica es fa*, y teniendo en cuenta los intervalos

ya indicados se tendrá

$$\begin{array}{cccccccc} fa & sol & la & si & do & re & mi & fa \\ 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & 1 & \frac{1}{2} & \end{array}$$

Aquí el intervalo que debiera existir entre *la* y *si* es de *medio* tono, y entre *si* y *do*, de *un* tono, y para conseguir eso, reduciremos de *medio* tono el *si*, lo que se consigue dividiéndolo por  $\frac{25}{24}$  y se indica como el signo  $\flat$  que se lee *bemol*.

Bemolizando, pues, el *si* se tendrá

$$\begin{array}{cccccccc} fa & sol & la & si \flat & do & re & mi & fa \\ 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & \end{array}$$

**437.**—Finalmente, tratemos de formar la escala de *re* que nos dará

$$\begin{array}{cccccccc} re & mi & fa & sol, & la, & si, & do, & re \\ 1 & \frac{1}{2} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & \end{array}$$

Como vemos, los intervalos no guardan la sucesión debida, lo cual se obtendrá convirtiendo en sostenidos el *do* y el *fa*, con lo que se tendrá

$$\begin{array}{cccccccc} re, & mi, & fa, \sharp & sol, & la, & si, & do, \sharp & re \\ 1 & 1 & \frac{1}{2} & 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} & \end{array}$$

**438.**—De lo dicho resulta, que siendo *siete* las notas de una octava y pudiendo ser ellas *sostenidas* y *bemolizadas*, resultaría que los *instrumentos á notas fijas* como el *piano*, *órgano*, etc. deberían tener *21 notas* para cada octava, lo cual como se comprende, *dificultaría* sobremanera la ejecución de las piezas musi-

cales, pero teniendo en cuenta que el oído no es capaz de apreciar la diferencia entre notas cuyo intervalo es muy pequeño, se convino en intercalar *solo cinco notas*, que sirven de *sostenidos* para las que las anteceden.

Esa escala de *doce notas* es la que se llama *Escala templada*.

Como los instrumentos á *sonidos continuos*, como el violín, puede dar *exactamente* los sostenidos y bemoles, es por eso que ellos producen *efectos musicales*, que no son capaces de producir los instrumentos á *sonidos fijos*.

**439.—Sonidos Armónicos.**—Toman este nombre los sonidos cuyo número de vibraciones están entre sí como la série natural de los números.

Llamando *do* el sonido fundamental, los primeros armónicos serán:

1	2	3	4	5	6
<i>do</i> <sub>1</sub>	<i>do</i> <sub>2</sub>	<i>sol</i> <sub>2</sub>	<i>do</i> <sub>3</sub>	<i>mi</i> <sub>3</sub>	<i>sol</i> <sub>3</sub>

Los instrumentns más agradables son aquellos que tienen sonidos armónicos, como el violoncello, el violín, la voz de la mujer, etc.

CAPÍTULO VI

---

VIBRACIONES DE LOS GASES

---

**440.—Tubos sonóros.**—Los tubos sonoros están formados generalmente por paredes sólidas y *rígidas*, pero que pueden ser de *cualquier sustancia*.

En el interior de los tubos hay una *masa de aire*, que *se pone en vibración*, al soplar hacia el interior, por medio de una abertura.

Ya dijimos que el cuerpo que entra en vibración *es el gas ó el aire interior*.

—La altura de los sonidos en los tubos, no depende absolutamente de que el tubo sea *recto ó curvo*. Tampoco tiene influencia sobre ellos la sustancia con que se construye el tubo. En este caso, solo se tendrá un *timbre* distinto.

—Es necesario que las paredes sean rígiditas, pues si ellas fueran *muy delgadas*, *tendrían influencia* sobre la altura.

—Los instrumentos á viento ó tubos sonoros, pueden ser *abiertos ó cerrados* en su fondo y se dividen también en *tubos de boca* y *tubos de lengüeta*, según sea su *embocadura* ó la abertura, por la cual el aire que se sopla *no entra de una manera continua* sino por *intermitencias*, pues de otro modo no habría vibraciones y por consiguiente *no habría sonido*.

**441.—Tubos de boca.**—Estos tubos pueden ser de madera ó metal, prismáticos ó cilíndricos, pero *su longi-*

*tud debe ser grande* con respecto á su sección (*figura 265*).

*P* es el pie por donde entra el aire de un fuelle, el cual al llegar pasa una hendidura *i* llamada *luz*, frente á la cual está colocada una abertura transversal que es la *boca*, cuyo *labio superior* es *a* siendo *b* el *labio inferior*.

La corriente de aire que llega por *P* pasa por la luz y al llegar al labio superior *a*, se divide en dos partes, una que sale al exterior por la *boca*, y otra que pasa al interior del tubo.

Cuando el aire choca contra el labio superior *a*, se produce una *compresión* que por elasticidad reacciona contra el aire que sigue llegando, *reacción* que *solo dura un instante*, pero lo suficiente para producir *condensaciones y dilataciones* de la masa gaseosa que está en el interior del tubo, condensaciones y dilataciones que producen *pulsaciones ó vibraciones*, que son las que producen el *sonido*.

Estas pulsaciones ó vibraciones serán *tanto más rápidas* cuanto mayor sea la *velocidad de la corriente* de aire y cuanto más cerca esté el *labio superior* de la luz.

Ejemplos de tubos sonoros de esta forma, tenemos en los *tubos de órgano*, el *pito*, etc.

La *flauta*, el *octavín*, etc., son tubos del mismo sistema, donde *la luz* está reemplazada por los *lábios del músico*, y el borde de la abertura lateral reemplaza el *labio superior*.

**442.—Tubos de lengüeta.**—Muy á menudo en los instrumentos de viento se usan láminas metálicas que permi-

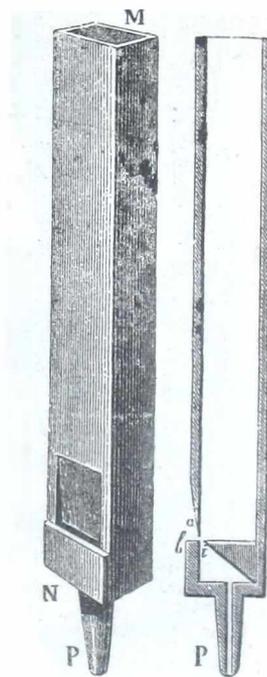


Fig. 265  
Tubos de boca

tiendo é impidiendo sucesivamente la entrada del aire, producen pulsaciones de la masa aérea que se traducen en sonido.

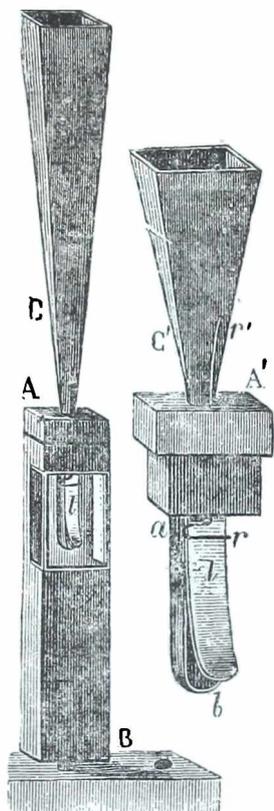


Fig. 266  
Tubos de lengüeta

—Existen tres clases de lengüetas: la *lengüeta batiente*; la *lengüeta libre* y la *lengüeta membranacea*.

La disposición de la *lengüeta batiente* está indicada en la *fig. 266*.

Se tiene un *porta-viento* *A B* que recibe el aire por su extremidad inferior *B*.

Su base superior está cerrada por una tapa *A'*, en cuyo centro tiene la *canaleta a b*, especie de cuchara, por la cual debe salir el aire que entra por *B*.

La *canaleta* está terminada superiormente por el tubo *C'*, en forma de pirámide invertida.

Sobre la *canaleta* se aplica la *lengüeta l*, cuya longitud se puede hacer mayor ó menor, por medio del resorte *r*.

Llega el aire al *porta-viento*, trata de salir por la *canaleta* y

como ésta tiene una abertura limitada, la *lengüeta l* se verá arrastrada y se ajustará contra los bordes de la *canaleta*.

Pero, enseguida, por su propia elasticidad reaccionará y volverá á permitir el paso de otra cantidad de aire.

Todo esto en tiempo brevísimo. Luego se producirá una salida *intermitente* del aire, lo que ocasionará una serie de vibraciones del mismo y por consiguiente un sonido, el cual será tanto más agudo cuanto más veloz sea la corriente de aire.

443.—El tubo á *lengüeta libre* es análogo al anterior (*fig. 267*), con la sola diferencia de que la canaleta es prismática y que la lengüeta *l* en vez de *chocar* contra los bordes de la abertura puede *oscilar* libremente á uno y otro lado.

Cuando penetra el aire al *porta-viento*, la lengüeta es arrastrada por la corriente permitiendo el paso á una cierta cantidad de aire, pero enseguida por su elasticidad vuelve á su primitiva posición, para volver nuevamente á ser arrastrada y así sucesivamente.

Se produce, pues, una *salida intermitente* de aire, que como sabemos *produce el sonido*.

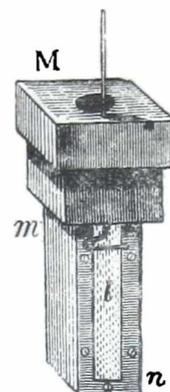


Fig. 267  
Lengüeta libre

444.—Finalmente se tienen los instrumentos de cobre, como el *pistón*, *trombón*, etc., que son instrumentos á *boquilla* y donde la *lengüeta* es reemplazada por los *labios*, que apretándose más ó menos, dan lugar á una corriente intermitente que produce los sonidos. Los instrumentos á *boquilla* suelen también llamarse á *lengüeta membranacea*.

445.—**Leyes de las vibraciones en los tubos cerrados.**—Estas leyes, debidas á *Bernouilli*, son las siguientes:

1º *A un tubo cerrado se le puede hacer producir una serie de sonidos, cuyo número de vibraciones varía como la serie 1, 3, 5, 7..... de los números impares.*

Esta ley se puede verificar *experimentalmente*, colocando el tubo sobre el fuelle y haciendo llegar por el movimiento de una llave corrientes de aire más ó menos veloces.

2º *El número de vibraciones dadas por varios tubos sonoros, está en relación inversa de la longitud de los tubos.*

Para comprobarla tomamos una serie de tubos cuyas

longitudes sean respectivamente:

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

Coloquemoslos sobre el fuelle acústico.

Haciéndolos sonar, *se notará* que los tubos *dan las notas* de la escala natural, cuyo número de vibraciones está expresado por:

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

que como vemos están en *razón inversa* de las longitudes.

3º *La columna de aire vibrante se divide en partes iguales por nodos y vientres de vibración, correspondiendo al fondo un nodo y á la embocadura un vientre.*

En los nodos *no hay movimiento*, pero se producen condensaciones y dilataciones que hacen *variar la densidad* del aire de esos puntos.

En los *vientres* la densidad es *constante*, pero es máxima la vibración.

4º *Cuando se produce un solo nodo, el tubo da el sonido fundamental y su onda tiene una longitud igual á cuatro veces la longitud del tubo.*

Esto es evidente, pues habiendo *un solo nodo* y siendo *cerrado* el tubo, se tiene que *el nodo está en el fondo* y el vientre en la embocadura: luego el tubo tendrá una longitud igual á la mitad de una *semionda*, luego la onda tendrá una longitud *cuatro veces mayor* que la longitud del tubo.

**446.—Leyes de las vibraciones en los tubos abiertos.**—1º *Los sonidos producidos por un tubo abierto en el cual se dirige una corriente de aire siempre creciente, están en-*

tre sí como la serie natural de los números 1, 2, 3, 4.

2° En un tubo abierto se producen nodos y vientres, correspondiendo á sus dos extremidades siempre un vientre.

3° La longitud de onda del sonido fundamental es igual al doble de la longitud del tubo.

4° El sonido fundamental de un tubo abierto está siempre á la octava aguda del sonido que sería producido por un tubo cerrado de la misma longitud.

Experimentalmente estas leyes de *Bernoulli* no son más que *aproximadas*.

**447.—Nodos y vientres de vibración en los tubos.**—Se puede demostrar experimentalmente la presencia de los nodos y vientres de vibración por medio de un tubo abierto (*fig. 268*) de forma prismática, donde una de las caras es una lámina de vidrio.

Producido un sonido, se introduce una cestita formada por una membrana tirante, dentro de la cual se coloca una cantidad de arena.

Bajando y subiendo el cestito mientras se produce el sonido, se verá que hay puntos en que la arena está *muy agitada* y puntos en que *no se observa movimiento* alguno.

Los primeros espacios serán los *vientres*, y los segundos, los *nodos*.

**448.**—Puede utilizarse el tubo indicado en la *fig. 269* una de cuyas caras está agujereada en los puntos que corresponden á los vientres y nodos de vibración.

Estos agujeros pueden obturarse y abrirse.

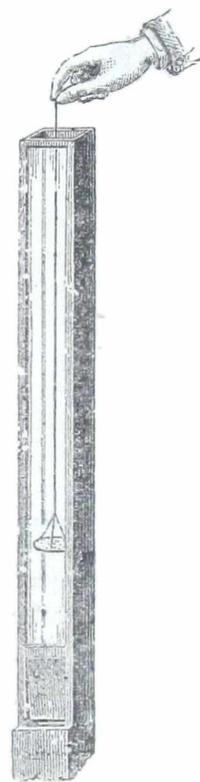


Fig. 268  
Nodos y vientres de vibración

Si abrimos los agujeros que corresponden á los *vientres*, como en estos puntos el aire está en vibración *pero no hay variación de densidad, no se notará alteración en el sonido.*

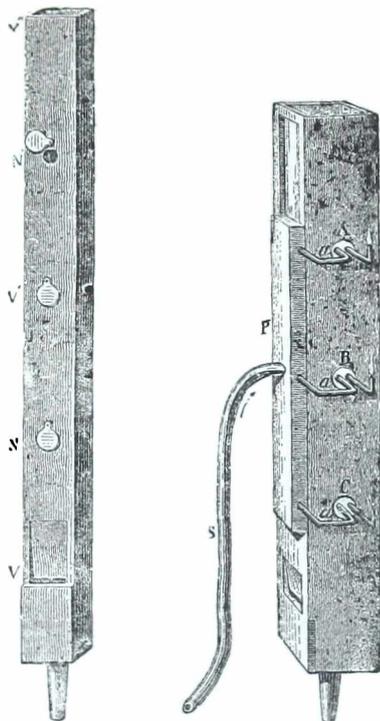


Fig 269  
Nodos y vientres de vibración

Fig 270

Pero si abrimos el agujero correspondiente á un *nodo*, inmediatamente el aire interior se pondrá en equilibrio con el exterior, luego *el nodo se convertirá en vientre* y el sonido se alterará.

449. — Finalmente podemos hacer uso del tubo representado en la *fig. 270*, en una de cuyas paredes se han colocado tres *cápsulas manométricas de Koenig*, correspondiendo las *A* y *C* á *dos nodos* y la *B* á un *vientre*.

Prendidos los mecheros y producido el sonido, se observará que la luz *B* que corresponde á un *vientre* queda inmóvil, y que las *A* y *C* que corresponden á *nodos* empezarán á oscilar y hasta podrán apagarse, debido á los *cambios de densidad y presión* que sufre el aire en los nodos.

450.—**Aplicaciones.**—Lo que hemos dicho sobre los tubos sonoros explica la construcción de los instrumentos de música.

Así, por ejemplo, la *flauta*, el *clarinete*, etc, dan diferentes sonidos, según se abran unos ú otros agujeros laterales. Es natural que estos agujeros *corresponden á nodos*.

La flauta es un tubo de boca.

El clarinete, oboe, etc., son tubos á lengüeta batiente.

El pistón, cornetín, etc., son tubos á lengüeta membranacea.

En los instrumentos de cobre se aplican también estos principios, ya sea soplando con más fuerza, ya sea acortando el tubo por medio de pistones y partes móviles.

---

## CAPÍTULO VII

---

### VIBRACIONES DE LOS SÓLIDOS

---

**451.—Vibraciones de las cuerdas.**—Cuando se fija por sus extremidades una cuerda metálica ú orgánica, y se le frota un arco, ó se desvía de su posición de equilibrio por un medio cualquiera, se producirá un sonido, que variará con la *longitud* de la cuerda, con su *naturaleza*, su *diámetro* y la *tensión* que sobre ella se ejerce.

Si llamamos:

$n$  el número de vibraciones *simples* por segundo

$l$  la *longitud* de la cuerda

$r$  el *radio*

$d$  la *densidad*

$P$  el *peso tensor*

el cálculo nos dá la siguiente fórmula:

$$n = \frac{1}{2r} \frac{1}{l} \sqrt{\frac{gP}{\pi d}}$$

donde sabemos que  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $\pi$  la relación del diámetro á la circunferencia, que son cantidades constantes.

**452.—Leyes de las vibraciones de las cuerdas.**—La fórmula anterior, traducida al lenguaje vulgar, nos da las siguientes leyes de las *vibraciones transversales* de las cuerdas:

1.º *El número de vibraciones de una cuerda está en razón inversa de su longitud.*

2.º *El número de vibraciones está en razón inversa del radio de la cuerda.*

3.º *El número de vibraciones es proporcional á la raíz cuadrada del peso que la tiende.*

4.º *El número de vibraciones es inversamente proporcional á la raíz cuadrada de la densidad.*

Estas leyes tienen su *aplicación* en los instrumentos de cuerda.

**453.—Sonómetro.**—Para demostrar experimentalmente estas leyes, nos valdremos del *Sonómetro*, que consta de una caja sonora, cerca de cuyos extremos hay dos *caballetes fijos* *A* y *B* entre los cuales hay una *regla dividida* de milímetro en milímetro (*fig. 271*).

Sobre estos *caballetes* se apoyan dos cuerdas. Una *m*

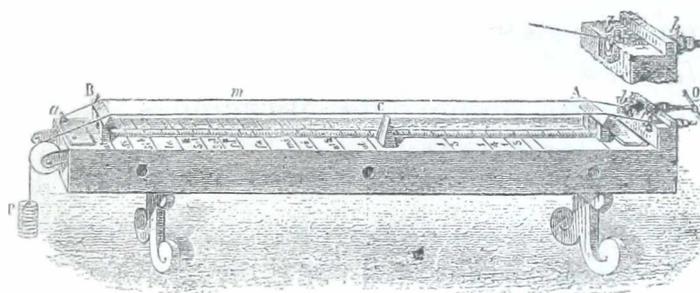


Fig. 271  
Sonómetro

cuyos *extremos están fijos* en *a* y *b*, pudiéndose por la llave *Q* aumentar la *tensión*.

La otra cuerda está *fija* en *r* y el otro extremo lleva un peso *P* que se puede aumentar ó disminuir para variar la *tensión*.

Además de los *dos caballetes fijos*, hay *otro móvil* *c* que se puede correr de un extremo á otro, para disminuir la *longitud* de la segunda cuerda.

**454.**—Veamos cómo se comprueban con este aparato las *leyes* anteriores.

*1.<sup>a</sup> Ley.*—Para comprobar la *ley de las longitudes* tendamos con la llave  $Q$  la cuerda  $m$ , hasta que dé el unísono con la segunda cuerda que vibra libremente en toda su longitud, estando tendida por un peso  $P$ .

Obtenido esto, colóquese el caballete móvil  $C$  en el *medio* de la segunda cuerda y veremos que haciendo vibrar una de esas *mitades*, el sonido que produce es la *octava aguda* del primer sonido.

Pero la *octava aguda* representa *doble número* de vibraciones, luego el número de vibraciones está en *razón* inversa de su longitud.

**455.**—*2.<sup>a</sup> Ley.*—Para comprobar la *ley de los radios* ó diámetros, nos basta poner al *unísono* las dos cuerdas del sonómetro, se saca la cuerda móvil, se pone otra que tenga *diámetro doble*, se pone el mismo peso para que la tensión sea la misma y se verá que *la cuerda móvil, da la octava grave* de la cuerda  $m$ , luego diámetro *doble* nos da número de vibraciones *mitad*, luego queda comprobada la ley.

**456.**—*3.<sup>a</sup> Ley.*—Para comprobar la ley de las *tensiones* pónganse las dos cuerdas al *unísono* y en seguida *cuadruplicárese* el peso, es decir, la *tensión*, y se tendrá que la cuerda móvil *dará la octava aguda*, luego *tensión cuadruple* produce *doble* número de vibraciones, luego el número de vibraciones es proporcional á la raíz cuadrada de la tensión.

**457.**—*4.<sup>a</sup> Ley.*—Para comprobar la cuarta ley colóquense dos cuerdas diferentes cuyas densidades  $d$  y  $d'$  se conocen.

Dése la misma tensión á las dos cuerdas y haciéndolas sonar, éstas darán sonidos diferentes.

Enseguida, *muévase el caballete móvil* bajo la cuer-

da *más densa*, hasta que nos *dé el unísono* con la otra cuerda.

*Se encuentra* que las longitudes  $l$  y  $l'$  y las densidades  $d$  y  $d'$  guardan la relación

$$\frac{l}{l'} = \sqrt{\frac{d}{d'}}$$

pero como según la *1.ª ley*

$$\frac{l}{l'} = \frac{n'}{n}$$

resultará

$$\frac{n'}{n} = \sqrt{\frac{d}{d'}}$$

que nos verifica la *cuarta ley*.

**458.—Sonidos armónicos de las cuerdas.**—Se llama *sonido fundamental* de una cuerda el sonido que produce la cuerda, cuando al vibrar produce *un vientre* en el centro de la cuerda y *dos nodos*, uno en cada extremo.

Ahora bien, una vez que una cuerda vibra *entera*, además del sonido fundamental, un oído ejercitado nota los armónicos 1, 2, 3, 4, 5.

Todos los cuerpos que vibran producen *armónicos*.

**459.—Vibraciones longitudinales de las cuerdas.**—Si en vez de hacer vibrar una cuerda transversalmente, la frotamos con un paño, según su longitud, se producirá también un sonido muy agudo.

Las leyes de las vibraciones longitudinales están expresadas por una fórmula análoga á la anterior:

$$n = \frac{1}{2rl} \sqrt{\frac{g \cdot e}{\pi d}}$$

donde en vez del peso  $P$  entra la cantidad  $e$  que se llama *coeficiente de elasticidad* de la sustancia, ó mejor dicho, la tensión ó peso que obrando sobre una cuerda de la misma sustancia y de 1 *milímetro* de sección, produciría un alargamiento igual á la longitud primitiva. Esto no se realiza en la práctica, pero se calcula.

**460.—Violín.**—En este instrumento, cuya descripción omitimos por supérflua, tienen aplicación todas las leyes enunciadas al estudiar las vibraciones de las cuerdas.

Efectivamente:

Los sonidos más agudos se hacen producir por cuerdas de *menor radio*.

Se hace variar la *longitud* de la cuerda, al aplicar los dedos sobre ellas.

Se hace variar la *tensión* de las mismas por medio de las clavijas.

Se aplican cuerdas de diferente *sustancia*, es decir, de diferente *densidad*.

Finalmente, se aplica el principio de la proximidad de los cuerpos sonoros, al hacer vibrar la *caja* del violín, de cuya construcción depende la bondad de dicho instrumento.

Las cuerdas se hacen vibrar *transversalmente* por medio del arco.

Este es el instrumento cuyo sonido es más agradable debido á que es el más rico en *armónicos*.

**461.—Piano.**—El piano es también un instrumento de cuerda encontrando en él aplicación todas las leyes enunciadas al estudiar las vibraciones de las cuerdas.

Cuerdas de diferente *sustancia*, de diferente *radio*, de diferente *longitud* y de diferente *tensión* se aplican también aquí.

Las vibraciones se obtienen por percusión.

Como en el violín la bondad del instrumento se consi-

gue con la *caja sonora*, cuya construcción, forma y dimensiones es el secreto de cada fabricante.

**462.—Vibraciones transversales de las varillas.**—Se designan con el nombre de *varillas* unos prismas rígidos que se pueden hacer vibrar longitudinal ó transversalmente, produciendo sonidos muy suaves.

Toma el nombre de *espesor* de las varillas aquella dimensión *paralela al plano* en el que se efectúan las vibraciones.

Al vibrar, se forman *nodos* y *vientres* de vibración.

--Las *leyes* de las varillas son las siguientes:

1.º *El número de vibraciones es inversamente proporcional á los cuadrados de las longitudes.*

2.º *El número de vibraciones es directamente proporcional al espesor.*

3.º *El número de vibraciones es independiente del ancho.*

**463.—El diapasón,** instrumento que ya conocemos, es una *varilla* encorvada que se pone en vibración, ya sea por medio de un arco, ó bien introduciendo un cilindro entre las dos ramas y haciéndolo salir vivamente por la extremidad libre.

Los peines de acero de las *cajas de música* son otra aplicación de las vibraciones de las varillas.

**464.—Vibraciones de las placas.**—Las *placas* son cuerpos rígidos, cuyo espesor es muy pequeño con relación á su largo y ancho.

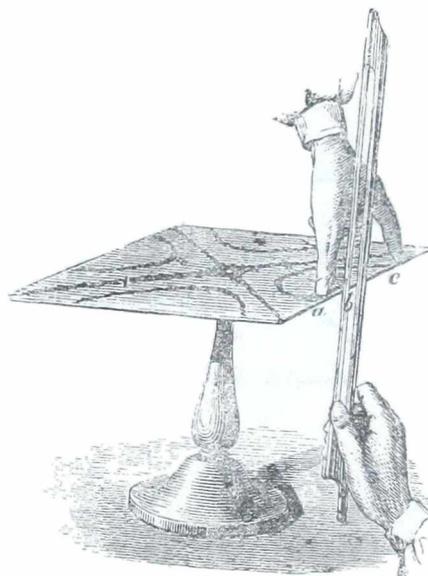


Fig. 272  
Vibraciones de las placas

Se construyen de vidrio, cobre, acero, etc., y se hacen vibrar, *fiándolas* ya sea en su centro ó en su borde (*fig. 272*) y frotando éste por medio de un arco.

En las placas se forman nodos y vientres de vibración, lo cual se comprueba echando una cantidad de arena sobre las mismas.

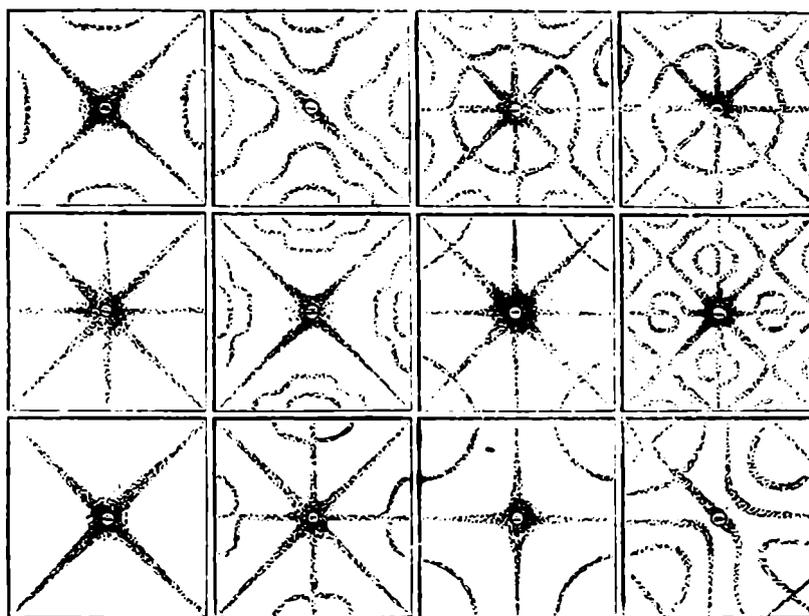


Fig. 273  
Figuras acústicas

Cuando se hace sonar, se verá que la arena se agita y se acumula según ciertas líneas, llamadas *líneas nodales*, porque al acumularse allí la arena prueba que en esas líneas *no hay vibración*.

Esas *líneas nodales* se disponen simétricamente siempre en número *par*, dando lugar á una serie de figuras *simétricas*, que se llaman *figuras acústicas* (*fig. 273*).

Se ha comprobado que el *mismo sonido no produce* las mismas figuras, pero *la misma figura es producida por el mismo sonido*.

**465.—Vibraciones de las membranas.**—Fijando pieles ú hojas de papel sobre marcos, y teniéndolas bien tensas, las membranas producen sonidos *tanto más agudos* cuanto más *tensa* está la piel, y cuanto *más pequeña es*.

Las membranas pueden vibrar por percusión y *por influencia ó por comunicación*, lo cual se puede comprobar, teniendo (*fig. 274*) una membrana tensa en un

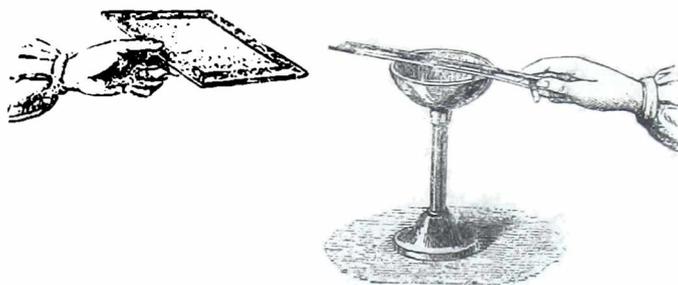


Fig. 274

Vibraciones de las membranas

marco de madera polvoreada de arena y acercándola á un cuerpo al que se hace producir un sonido.

Se nota que apenas producido un sonido, la arena empieza á saltar, formándose *figuras acústicas* distintas, según sea el sonido.

Esta vibración de las membranas por *comunicación* explica el *mecanismo del oído*.

## CAPÍTULO VIII

ANÁLISIS DE LOS SONIDOS

---

**466.—Sonidos simples y compuestos.**—En la naturaleza, muy rara vez se obtienen sonidos *simples*, es decir sonidos que no estén mezclados con *armónicos*, los que toman el nombre de sonidos *compuestos*.

Solamente se pueden conseguir sonidos *simples*, cuando se hace vibrar un diapasón, cuando se hace sonar un tubo cerrado ó cuando se pronuncia la *vocal u*.

Ya dijimos que en general, cuando se produce un sonido se producen simultáneamente los *armónicos* del sonido fundamental, es decir, sonidos cuyo número de vibraciones están como los números 1, 2, 3, 4..... con respecto al número de vibraciones del sonido *fundamental*.

**467.**—Para probarlo, *Koenig* indica el siguiente elegante experimento:

Tómese un diapasón de *grandes dimensiones* y *cuatro* ó *cinco* diapasones más, que correspondan á las primeras armónicas del sonido fundamental ó del sonido del diapasón grande, y colóquense á su alrededor.

Haciendo vibrar *todos* los diapasones, se produce *un solo* y único sonido que parece que no fuera *descomponible*.

Pero si en un instante dado, se pone la mano sobre el diapasón grande, es decir, se impide que siga sonando, inmediatamente se notará que suspendido el sonido

fundamental, los otros sonidos *se separan* del modo más claro.

**468.—Timbre.**—Ya dijimos que el timbre era una propiedad particular, en virtud de la cual una vez producido un sonido, era fácil conocer el cuerpo que lo había producido.

Si producimos la nota *la* con un *violín*, una *campana* y una *flauta*, á pesar de ser producida por el mismo número de vibraciones, nosotros *conoceremos con cual* de los tres instrumentos ha sido producida.

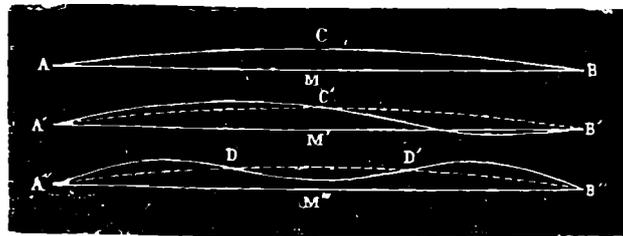


Fig. 275  
Forma del sonido

Los trabajos de *Helmholtz* han permitido concluir que *el timbre es debido á la forma* de las vibraciones que han producido el sonido.

En la *fig. 275*, tenemos en la *primera línea* la forma según la cual vibra una cuerda cuando se produce el sonido *fundamental*; en la *segunda línea* cuando además del sonido fundamental se produce la armónica 2; y en la *tercera línea*, cuando produce el sonido fundamental y la armónica 3.

Esas figuras se complicarían si en vez de una armónica, se produjeran *simultáneamente varias*.

Vemos que la *amplitud* de las vibraciones de las armónicas, es mucho *menor* que la amplitud del sonido fundamental, por cuyo motivo este es el que predomina, y los otros, *en su mezcla*, nos dan el *timbre*.

De lo dicho se deduce, que si el timbre es *debido á la*

*forma* de las vibraciones y si la forma de las vibraciones es debida á las armónicas, *el timbre* es debido á las armónicas que acompañan al sonido fundamental.

Cuanto *más armónicas* tiene un sonido, tanto *más brillante* es el efecto que produce.

**469 — Resonadores.**— Para poder *demostrar* la presencia de las armónicas en un sonido, es necesario poder *reforzar* cada una de estas armónicas, de manera que se pueda *percibir distintamente* á pesar del sonido fundamental y las armónicas que la acompañan.

Esto se puede conseguir por medio de los *resonadores*.

Ya indicamos que la proximidad de un cuerpo sonoro refuerza el sonido con tal que la caja sonora tenga dimensiones convenientes.

*Helmholtz* ideó unos resonadores (*fig. 276*) que constaban de una *esfera* de cobre con dos aberturas opuestas, una terminada en un tubo *b* que se introdu-



Fig. 276

Helmholtz

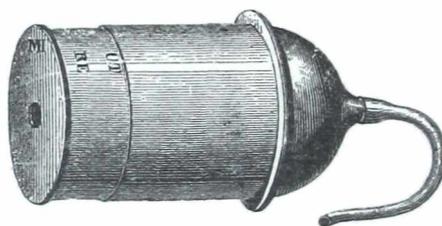


Fig. 277

Resonadores de

Koenig

ce en el oído, y la otra terminada por un cilindro *a* por medio del cual se recibe el sonido.

Cada resonador no sirve más que para *recibir una nota* y este *acuerdo* depende de las dimensiones del resonador y de la amplitud de la abertura *a*.

Si tenemos un resonador de *Helmholtz* que recibe la nota  $mi_2$ , por ejemplo, y lo colocamos en el oído, al producir cualquier sonido que no sea el  $mi_2$ , el resonador quedará *sordo*, pero, apenas se produzca *esa nota*, el

resonador *ampliara* su intensidad y el oído la percibiría perfectamente, aunque esté mezclada con otras notas.

470.--*Koenig* modificó el resonador anterior, dándole la forma cilíndrica (*fig. 277*) y haciendo que el cilindro esté formado de dos partes, que se pueden enchufar una dentro de otra, para poder modificar sus dimensiones.

471.--**Análisis de los sonidos.**—Para analizar un sonido, usando los resonadores *Helmholtz*, se toma *una serie*

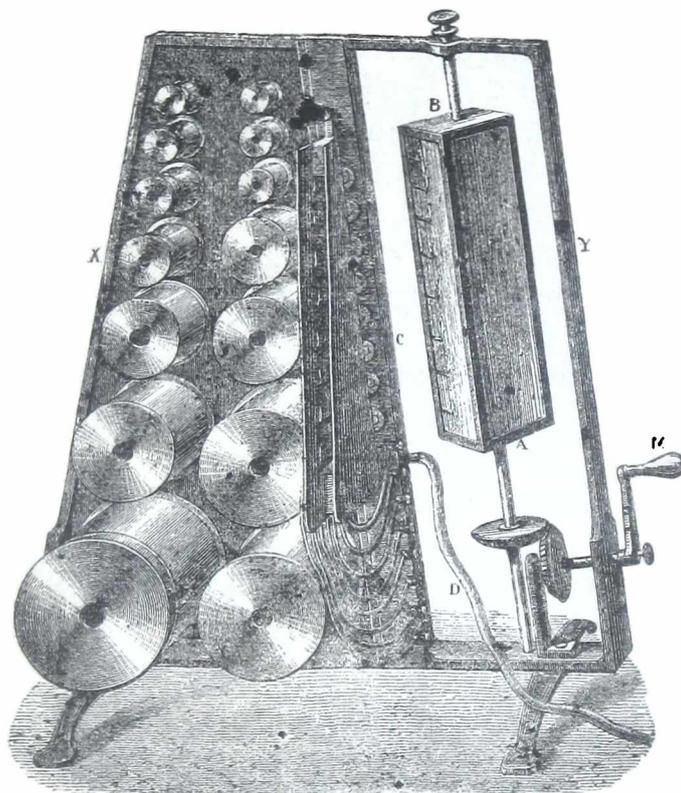


Fig. 278  
Análisis de los sonidos

de esos resonadores y enseguida, uno por uno se colocan en el oído, viendo *cuales de ellos han reforzado el sonido*, y por consiguiente cuales son las notas producidas.

—*Koenig* modificó este sistema, haciendo *ver los sonidos* que se producen.

El *aparato de Koenig* consiste en una serie de resonadores dispuestos de la manera indicada en la *figura 278*.

Cada uno de estos resonadores está dotado de su *cápsula manométrica* y su mechero de gas.

Supongamos que el primer resonador de abajo y á la izquierda esté dispuesto de manera que acuse la nota  $re_1$  y los otros resonadores sus armónicas.

Si producimos la nota  $re_1$  el resonador de la izquierda acusa su presencia y por consiguiente oscilará la llama de su mechero correspondiente, pero esa llama *solamente*.

Si además del  $re_1$ , se hubieran producido algunas de sus armónicas, oscilarían los mecheros de otros resonadores, luego se revelaría su presencia, y el sonido quedaría *analizado*.

—Los sonidos más ricos en armónicas son los producidos por la *voz humana*, las *cuerdas* y los *tubos*.

Por medio de este aparato se han podido *analizar* los sonidos de que está compuesto *el ruido* que produce el paso de un carruaje, una corriente de agua ó el silbido del viento.

**472.**—*Fonógrafo*.—El *fonógrafo* ideado por *Scott* nos permite *escribir los sonidos* que se producen.

Está basado en la propiedad que tienen las *membranas* de vibrar por *comunicación*.

Consiste (*fig. 279*) en una corneta acústica *A* que tiene la forma de un paraboloides de revolución que goza de la propiedad de *reflejar las ondas* sonoras que caen paralelamente á su eje, y *reconcentrarlas* en su foco.

En este foco se coloca una membrana tendida, en cuyo centro se ha colocado un *estilo* terminado por una *barba* de pluma.

Esta punta puede rozar sobre un cilindro *C* que se

puede hacer *girar* por medio de una manivela, y al mismo tiempo *avanzar* porque su eje es un tornillo que avanza entre dos tuercas.

Se coloca un papel ahumado con negro de humo sobre el cilindro, se hace coincidir perfectamente el extremo del estilo con el papel ahumado, se produce el sonido y se gira la manivela.

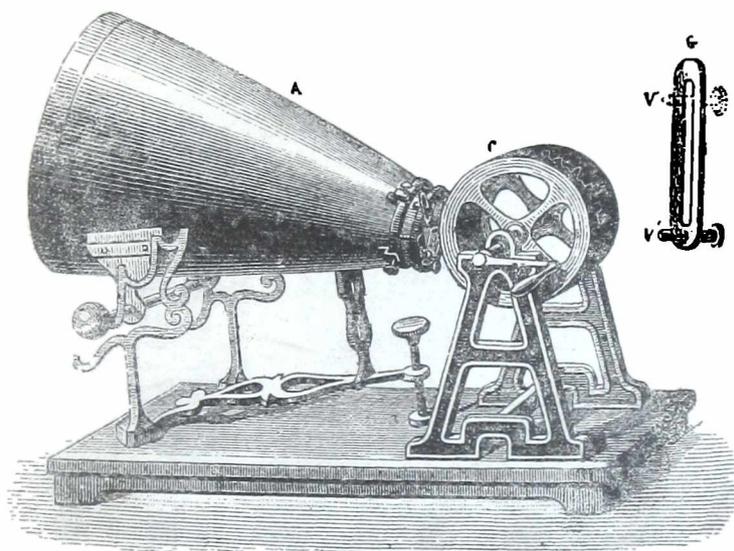


Fig. 279  
Fonotógrafo

El sonido transmitirá sus vibraciones á la membrana, la cual por medio de su estilo las *marcará* sobre el papel de plomo.

Se saca el papel y se tiene *escrito* el sonido.

Si se producen *simultáneamente varios sonidos*, la línea escrita será la *resultante* de los movimientos vibratorios.

**473.—Logógrafo.**—Este aparato imaginado por *Barlow*, *escribe* también los sonidos y es muy semejante al *Fonotógrafo*, con la diferencia de que la escritura se hace en un papel que marcha como en el receptor telegráfico de *Morse* y que el estilo está mojado en tinta.

*Barlow* piensa que podrá llegarse á *traducir* esa escritura.

**474.—Fonógrafo.**—El *Fonógrafo* no solo permite *escribir* los sonidos sino también *reproducirlos* cuantas veces se quiera.

El fonógrafo representado en las *figs. 280-281*, consiste en una embocadura *E*, cuyo fondo está formado

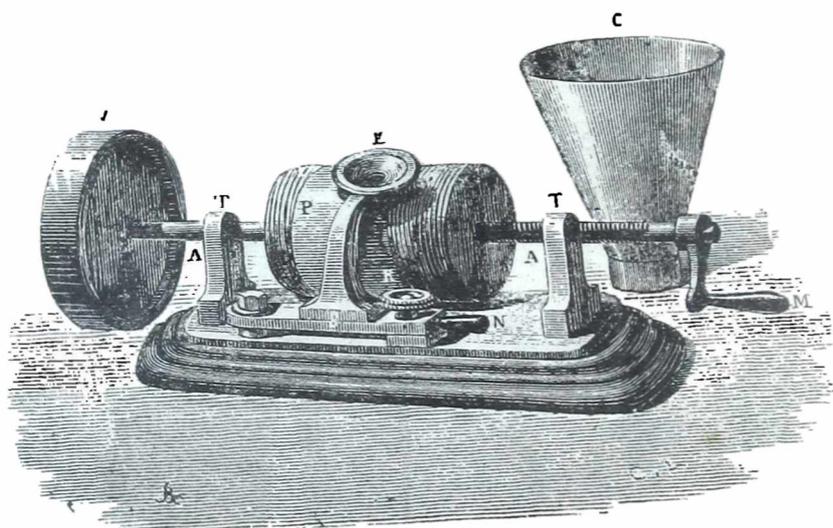


Fig. 260  
Fonógrafo

por un disco delgado de acero *L*, al cual se transmiten las vibraciones del sonido.

En el centro del disco hay una aguja *s* fija al extremo de una lámina flexible *r*, que se apoya sobre el disco de acero por intermedio de dos pedazos de goma.

La aguja *s* puede resbalar en una finísima ranura helicoidal trazada sobre un cilindro metálico *T* que puede por medio de la manivela *M* girar y avanzar al mismo tiempo.

Sobre el cilindro se ha colocado una hoja de estaño.

Producido el sonido y puesto en movimiento el cilindro, la aguja no trazará sobre el estaño una línea continua helicoidal, sino una línea formada de puntos cuyas distancias dependerán del *número de vibraciones* y cuya profundidad dependerá de la *amplitud* de las mismas.

—Existen hoy infinito número de fábricas de fonógrafos.

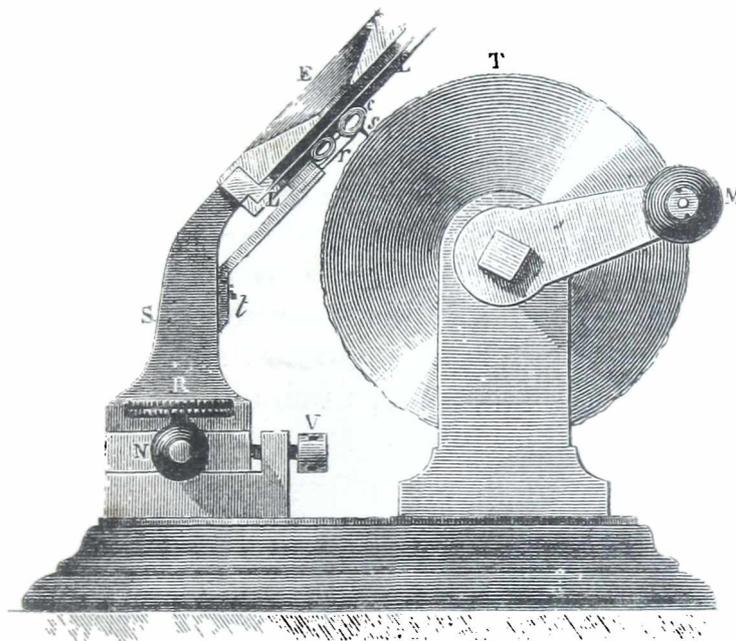


Fig 281  
Fonógrafo

Se han variado las placas sensibles, haciéndolas de diferente sustancia y de diferente forma, como circulares, rectangulares y cilíndricas.

Se ha perfeccionado el mecanismo para obtener el movimiento, usando motores eléctricos ó perfectos mecanismos de relojería, y finalmente dotándolos de un *porta-voz*, se ha conseguido que un número público oiga simultáneamente á un mismo fonógrafo.

**475.**—Teniendo así *escrito el sonido*, para reproducirlo, bastará llevar el cilindro á su primitiva posición

y volver á dar vuelta la manivela con la *misma velocidad* y entonces el estilo reproducirá las vibraciones que están escritas, vibraciones que transmitiéndose al disco de acero, pasarán por el aire á nuestro oído.

Estos sonidos pueden ser reforzados por medio de un *porta-voz C.*

Para mayor comodidad en la reproducción del sonido, *Edison* ha construido su *fonógrafo* de modo que la inscripción no se haga sobre la hoja cilíndrica sino sobre una hoja plana animada de un movimiento de rotación. La línea así trazada toma la forma de espiral.

Es necesario tener cuidado que el movimiento que se imprime á la manivela cuando se reproduce el sonido, tenga *igual* velocidad que la que tenía cuando se hizo la inscripción, pues como la *altura* del sonido depende del número de vibraciones, resultaría, que si se imprimiera mayor velocidad, el sonido sería más alto y al contrario, si la velocidad fuera menor.

La voz humana se reproduce bastante bien, pero con un timbre metálico.

**476.—Voz.**—El *mecanismo de la voz* es una de las maravillas de la creación, pues con elementos muy sencillos se tienen efectos prodigiosos.

La parte esencial del mecanismo de la voz consiste en un *tubo cartilaginoso* colocado en la parte anterior del cuello que se llama *laringe*, tubo que de uno y otro lado tiene *ligamentos flexibles* que pueden separarse ó acercarse á voluntad, llamadas *cuerdas vocales*. El espacio que dejan entre sí las cuerdas vocales toma el nombre de *abertura de la glótis*.

La laringe está continuada por la *traquea arteria*, y finalmente los *pulmones*.

El sonido es producido por la vibración de las cuerdas vocales, vibración que se efectúa lo mismo que en las *lengüetas membranosas*, por el paso intermitente de la corriente del aire que viene de los pulmones, que hacen el papel de *fuelle*.

El *tono* de la voz depende del largo y ancho de la abertura de la glotis, así como de la tensión, lo cual se obtiene voluntariamente.

Los niños y las mujeres que tienen una voz mucho *más aguda* que la de los hombres, tienen una laringe mucho más pequeña.

La voz de los hombres varía desde la nota *fa*<sub>1</sub>, que dá 87 vibraciones hasta el *do*<sub>3</sub>, que dá 2088 vibraciones, y entre las mujeres alguna ha alcanzado hasta 2779,20 vibraciones que corresponden á la nota *fa*<sub>3</sub>.

El *timbre de la voz* depende de las dimensiones de la laringe y también de la forma y dimensiones de la lengua, dientes, paladar, etc.

**477.—Oído.**—En el hombre y en general en los mamíferos, la percepción de los sonidos se hace por medio del órgano del *oído*.

Este órgano se divide en *oído externo*, *oído medio* y *oído interno*. (fig. 282).

El *oído externo* está constituido por la oreja ó *pabellón A*; por el *conducto auditivo B* que parte desde la *concha* del pabellón y la *membrana del tímpano C*.

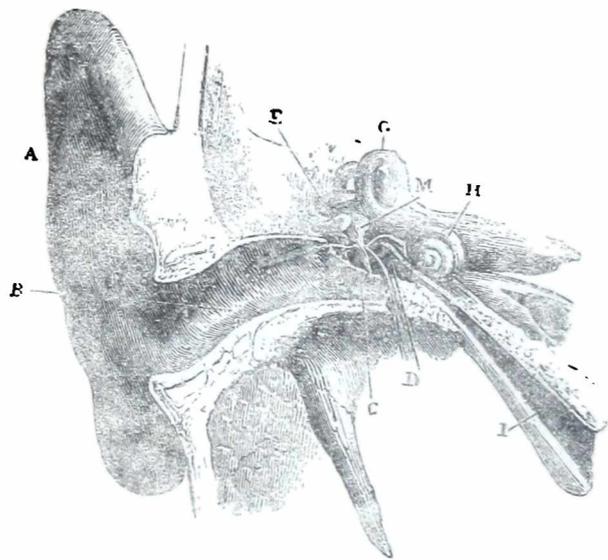


Fig. 282  
Oído

**478.**—El *oído medio* está constituido por la membrana del *tímpano C*, especie de *tambor* cuya otra base es otra membrana elástica que recubre dos pequeños agujero-

ros que tienen el hombre de *ventana oval* y *ventana redonda*, debido á su forma

La *caja del tímpano*, está en comunicación con la atmósfera y se pone en equilibrio con él, por medio de la *trompa de Eustaquio I*.

La *ventana oval* que está colocada sobre la *ventana redonda*, está en comunicación con la membrana del *tímpano* por medio de una cadena de huesecillos (*fig. 283*)

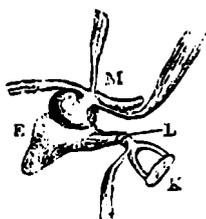


Fig. 283  
Huesecillos del  
oído

de los cuales el hueso *M* toma el nombre de *martillo* que *se apoya* sobre el tímpano por un lado y por el otro con el *yunque E*, el *lenticular L* y el *estribo K* que *se apoya* sobre la membrana tendida sobre la *ventana oval*.

Pequeños músculos permiten que se muevan el *martillo* y el *estribo*, y que por consiguiente se apoye más ó menos sobre las membranas.

479.—El *oído interno* que está defendido por los huesos más duros del cráneo, consta del caracol *H* (*figura 282*) del *vestíbulo* y de los *tres canales semi-circulares G*. Este conjunto suele tomar el nombre de *laberinto*.

El *vestíbulo* apoya sobre la *ventana oval*; el *caracol* sobre la *ventana redonda* y el *vestíbulo* y *caracol* comunican entre sí.

Todos estos huesos están recubiertos por una membrana que nada en un líquido gelatinoso, llamado *vítreo acústico* y dentro del cual están sumergidas las *innumerales terminaciones del nervio acústico*. Estas terminaciones toman el nombre de *fibras de Corti*.

480.—Veamos ahora el *mecanismo* de la *audición*.

El sonido que se produce, manda sus ondas sonoras en todas direcciones: algunas caen en el *pabellón* del oído externo, donde *reflejadas* se reúnen sobre la membrana del *tímpano*, pasando por el conducto auditivo.

---

Enseguida la *membrana* del tímpano entra en vibración por *comunicación*, vibración que se transmite al aire de la *caja del tímpano* y por consiguiente á la *ventana redonda*, y de aquí por medio de la *cadena de huesecillos*, á la *ventana oval*.

Las membranas de estas ventanas hacen vibrar el *vítreo acústico* que transmite dichas vibraciones á las *fibras de Corti* y por consiguiente al *nervio acústico*.

**481.**—Se puede quitar la membrana del tímpano, sin que deje de *oírse*, en cuyo caso el sonido se transmite directamente por las dos ventanas.

Parece que la cadena de huesecillos puede moverse á *voluntad*, con lo cual se obtiene una mayor ó menor *tensión* de la membrana del tímpano, para hacerla más sensible, según el tono y la intensidad de los sonidos que se reciben.

Según *Helmholtz* cada una de las *fibras de Corti* está acordada para *un solo* sonido, como los resonadores, y por consiguiente es sorda para todos los demás sonidos.

Esto explica perfectamente la audición de *múltiples sonidos*.

Si el sonido que recibe el oído es muy intenso, se experimenta una sensación dolorosa y es por ese motivo que se recomienda á los artilleros que abran la boca al hacer los disparos, pues de ese modo la membrana del tímpano recibe la sensación por el oído externo y también por la boca, por intermedio de la *trompa de Eustaquio*, con lo cual, el desplazamiento de la membrana es menor, y la sensación deja de ser dolorosa.

---

# LIBRO QUINTO

---

## ÓPTICA

---

### CAPÍTULO PRIMERO

---

#### PROPAGACIÓN DE LA LUZ

---

**482.**—**Luz.**—La *luz* es el agente que produce en nosotros el fenómeno de la visión, y se llama *Óptica* la parte de la física que estudia los fenómenos luminosos.

Las *fuentes de luz* pueden dividirse en dos clases; unas residen fuera de la tierra, como el *sol*, las *estrellas*, los *cometas*, etc., y otras tienen origen en la tierra.

Estas últimas pueden ser *naturales* y *artificiales*.

—Son *fuentes naturales* de luz, el *relámpago*, las *auroras boreales*, los *aereolitos*, los *volcanes* y la *fosforescencia* de algunos cuerpos.

—*Fuentes artificiales* tenemos en las *combustiones*, *arco voltaico*, etc.

**483.**—**Naturaleza de la luz.**—La *naturaleza* de la luz es aún *desconocida*, solo sabemos que por ella, es que estamos en relación con el universo.

Desde los tiempos más antiguos se han ideado *teorías* para explicar su naturaleza.

Solo daremos algunas ideas sobre las teorías *de la emisión, la de las ondulaciones y la de Oersted.*

**484.—Teoría de la emisión.**—Esta teoría debida á *Newton*, supone que las fuentes de la luz *lanzan* con velocidad unánime y en todas direcciones una infinidad de *moléculas materiales*, infinitamente pequeñas, las cuales llegan á nuestro *ojo* y *chocando* contra las fibras nerviosas de la retina, nos dan la *sensación* de la luz.

Los *colores* serían producidos por partículas de *diferente especie*.

Como esta teoría no puede explicar todos los fenómenos ópticos, ha sido abandonada.

**485.—Teoría de las ondulaciones.**—Esta teoría debida á *Descartes* y desarrollada por *Gassendi, Huyghens, Young, Fresnel*, etc., es la que hoy día está aceptada, pues por medio de ella, se *explican todos los fenómenos* ópticos, y hasta se ha podido, basándose en ella, indicar *à priori* hechos que la experiencia después ha constatado.

Según esta teoría, el cuerpo luminoso está animado de un *movimiento vibratorio*, análogo al movimiento que produce el sonido, y ese movimiento se transmite al ojo *por intermedio* de un cuerpo elástico, pero como la luz se propaga también en el *vacío*, ha sido necesario suponer también la existencia de un medio perfectamente elástico é imponderable, llamado *éter*, y que llena *todos los espacios* interplanetarios é intermoleculares.

**486.—Cuerpos luminosos, iluminados, diáfanos, traslucidos y opacos.**—Toman el nombre de cuerpos *luminosos* aquellos que emiten *luz propia*, como el *sol*, las *estrellas*, los cuerpos en ignición, etc.

—Además de los cuerpos luminosos, nosotros *vemos*

otros cuerpos que reciben la luz de fuentes luminosas, como la *luna* y todos los cuerpos que nos rodean.

Estos se llaman *cuerpos iluminados*.

—Cuerpos *diáfanos* ó *transparentes* son aquellos que *permiten el paso de la luz* y á través de los cuales se distinguen netamente los objetos. Tales son el *agua*, el *vidrio*, los *gases*, etc.

Estos cuerpos son transparentes, hasta *cierto límite*, pues veremos más adelante que cuando la luz atraviesa un cuerpo es en parte *absorvida* y esta absorción es tanto mayor *cuanto mayor es el espesor del cuerpo*.

Así se nota que la atmósfera no permite ver netamente los objetos, á una distancia mayor de 60.000 metros.

En el agua un disco *blanco* sumergido á la profundidad de 45<sup>m</sup> desaparece.

Un disco amarillo desaparece á los 17<sup>m</sup>.

Toman el nombre de cuerpos *translucidos*, aquellos que permiten el paso de la luz; pero á través de los cuales *no se ven* los objetos, tales son el vidrio esmerilado, el papel, el cuerno, el alabastro, la leche, etc.

—Finalmente toman el nombre de cuerpos *opacos* aquellos que *no permiten* el paso de la luz, como los *metales*, la *madera*, etc.

Si á los cuerpos *opacos* se les da espesores pequeñísimos, *se convierten* en translucidos.

Un ejemplo notable se tiene en las laminillas de oro, que usan los doradores, cuyo espesor es de *un diezmilésimo de milímetro*, las que permiten el paso de la luz que toma un color verde.

Gracias á esta propiedad de ser translucidos y transparentes los cuerpos de un pequeñísimo espesor, se han podido estudiar los infusorios, las fibras textiles, etc.

**487. —Propagación de la luz.**—Cuando la luz se propaga en un *medio homogéneo*, es decir que tiene la misma

densidad y composición química en todos sus puntos, la propagación *se hace en línea recta*.

Para comprobarlo, mírese un punto luminoso, é interpóngase un cuerpo opaco entre el cuerpo luminoso y el ojo, colocándolo en la *recta* que une esos dos puntos. El punto luminoso *no se verá más*.

Mírese un cuerpo luminoso por el interior de un tubo de goma recto. Si se *encorva* el tubo ya no se verá el cuerpo luminoso.

--Finalmente permitase la entrada de la luz solar, por un pequeño agujero hecho en una pared de una habitación cerrada por todos lados, y se notará que al penetrar la luz por el agujero, *márca su camino iluminando las partículas del polvo que están en suspensión en la atmósfera*.

Y además se nota que la parte iluminada es un cono con sus lados perfectamente *rectilíneos*.

**488.—Rayo. Haz y Cono luminoso.**—Se llama *rayo* luminoso la línea según la cual se considera que se propaga la luz.

—*Haz* luminoso es la reunión de varios rayos paralelos.

—*Cono* luminoso es un conjunto de rayos luminosos que parten del mismo punto.

**489.—Sombra.**—Ya dijimos que los cuerpos *opacos* se oponen al paso de la luz.

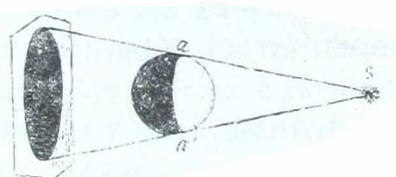


Fig. 284  
Sombra

Entonces, si imaginamos tener *un punto* luminoso S (*fig. 284*), y un cuerpo opaco M, resultará que lanzando el punto luminoso *rayos* en todas direcciones, estos rayos iluminarán el

cuerpo M, pero al chocar contra el mismo quedarán *interceptados*, luego habrá del otro lado del cuerpo un espacio *sin luz*, que es lo que se llama *sombra* del cuerpo.

Parte del cuerpo estará *iluminada*, y la otra parte *oscura*, y la línea *a a'* que separa estas dos partes, está dada por la intersección del cuerpo, con el *cono luminoso* lanzado desde el punto *s*.

La parte oscura del cuerpo se llama *sombra propia* pero si detrás del cuerpo se coloca una pantalla, una parte de ella no estará iluminada; eso constituye la *sombra proyectada*.

Para obtener la *sombra proyectada* nos bastará imaginar una *tangente s a* prolongada hasta la pantalla y hacerla girar de manera que se forme un *cono luminoso* en la parte anterior, y *oscuro* en su prolongación.

Cuando la fuente de luz es *un punto*, como supusimos en este caso, la *línea de separación* de la *sombra* y la *luz*, es perfectamente definida y neta.

**490.—Penumbra.**—El caso anterior no se verifica *nunca* en la naturaleza, pues siempre la fuente luminosa tendrá *dimensiones finitas*.

En este caso (*fig. 285*) la *superficie del cuerpo* iluminado se dividirá en tres *partes*.

1<sup>a</sup> Una parte en la que *todos* sus puntos están iluminados por *toda* la superficie luminosa.

2<sup>a</sup> Una parte que no recibe *ningún* rayo luminoso.

3<sup>a</sup> Una zona intermedia, que recibe rayos luminosos de sólo una *parte* de la superficie luminosa.

—Igual cosa sucede con la *sombra proyectada*.

Esa superficie que recibe solo *parte* de los rayos está en *penumbra*.

El *espacio* situado detrás del cuerpo se divide también en dos conos, uno en *sombra* y el segundo en *penumbra*.

Cuando el cuerpo luminoso es *menor* que el opaco, el cono de *sombra* es *divergente*.

Cuando los dos cuerpos son *iguales*, se tiene un *cilindro* de *sombra*.

Cuando el cuerpo luminoso es *mayor* que el opaco, el

cono de sombra es convergente, forma su vértice y sigue en una segunda napa, como cono divergente.

Cuando *más cerca* están los dos cuerpos, tanto *mayor* es la penumbra, y análogamente, cuanto *más lejos* está la pantalla.

**491.**—Para comprender mejor la formación de la *penumbra* imaginemos trazado el cono *envolvente* de los dos cuerpos, como cuya intersección con el cuerpo y la pantalla nos dará las líneas  $aa'$  y  $AA'$  después de las cuales existe la *sombra*.

Imaginemos ahora trazado un segundo cono, haciendo girar la tangente interior  $RcC$  y tendremos trazadas dos líneas  $cc'$  y  $CC'$  después de las cuales tanto el cuerpo como la pantalla están por completo *iluminados*.

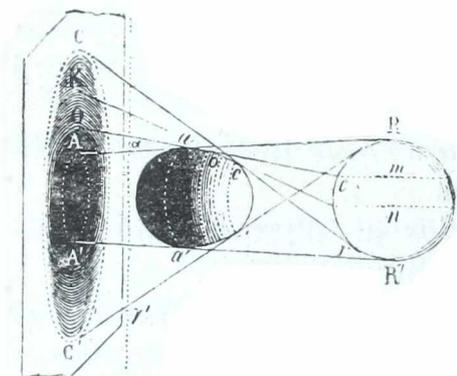


Fig. 265  
Penumbra

Si tomamos un punto  $K$  entre las dos líneas  $AA'$  y  $CC'$  y por ese punto  $K$  trazamos la tangente  $Kn'$  se tiene que el punto  $K$  *solo recibe* luz de la parte  $Rn$  de la superficie luminosa, luego, ese punto *no puede estar tan iluminado* como los puntos que están fuera de la línea  $CC'$ .

Si tomamos otro punto  $O$  más cerca de la línea  $AA'$  y trazamos la tangente  $Om$ , resultará que ese punto  $O$  sólo recibirá luz de la parte  $Rm$  que es menor que la  $Rn$  luego ese punto  $O$  está *menos iluminado* que el punto  $K$ , de donde deducimos que la parte comprendida entre  $AA'$  y  $CC'$  *no está igualmente iluminada en todos sus puntos*, y que por consiguiente la penumbra va siendo gradualmente más intensa á medida que se acerca á la línea  $AA'$

**492.—Imágenes producidas en las cámaras oscuras.**— Si en la pared de una cámara oscura se reciben los rayos luminosos que vienen de un cuerpo, pasando por una *abertura muy pequeña*, en la pared se verá una *imagen invertida* del cuerpo, y la *forma de la abertura no tendrá influencia alguna*.

Esto es una consecuencia de que la luz se propaga en línea recta.

Sea un cuerpo luminoso  $AB$  (*fig. 286*), é imagine mos que de los infinitos rayos que parten del punto  $A$ ,

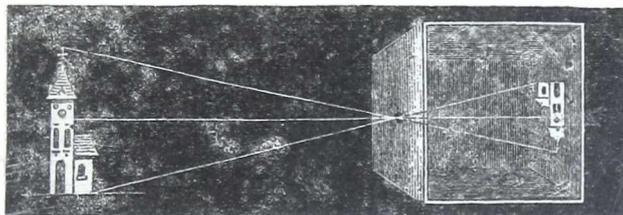


Fig. 286  
Cámara oscura

uno siga la dirección  $AO$ . Penetrando por el agujero  $O$  nos dará en  $a$  sobre la pared de la cámara oscura, la imagen del punto  $A$ .

Análogamente otro rayo  $BO$ , penetrando por el agujero nos dará la imagen  $b$  del punto  $B$ , y lo mismo para los demás puntos del cuerpo luminoso, luego se tendrá en  $ab$  la *imagen invertida* del cuerpo luminoso  $AB$ .

En realidad no es esto lo que sucede, porque de cada uno de los puntos del cuerpo luminoso parten *haces*, que forman sobre la pantalla una imagen *semejante* á la abertura, pero cuya superposición nos dá la imagen del cuerpo luminoso.

Que la forma de la abertura no influye en la imagen del cuerpo, lo vemos continuamente en la sombra que proyectan los árboles, pues vemos que los rayos solares que penetran por el follaje nos dan proyectada la imagen *circular* del sol, cuando el terreno es perpendi-

cular á los rayos solares, é imagen *elíptica* cuando los rayos son oblicuos.

**493.—Velocidad de la luz.**—En la antigüedad se creía que la luz se transmitía *instantáneamente*.

Sin embargo, varios filósofos admitían que la propagación se hacía *progresivamente*, y *Empédocles* sostuvo con lucimiento esta teoría.

En los tiempos modernos *Bacon* y *Galileo* sostuvieron lo mismo, y *Galileo* quiso comprobarlo experimentalmente, para lo cual se colocó él y un ayudante con una linterna cada uno, á una distancia de 1.800 metros.

Producían eclipses y medían los tiempos, pero no encontraron la comprobación que suponían por la pequeña distancia á la cual operaban.

Los Académicos de Florencia repitieron el experimento colocándose á una distancia triple y tampoco les dió resultado.

**494.—Método de Roemer.**—*Cassini* formó unas *tablas* en que estaban *calculados* los momentos de los eclipses del primer satélite de Júpiter.

Notó después que en la observación algunos eclipses eran retardados, y lo atribuyó á que la luz tardaba más ó menos tiempo en recorrer la distancia entre el satélite y la tierra, según las posiciones en que se encontraba.

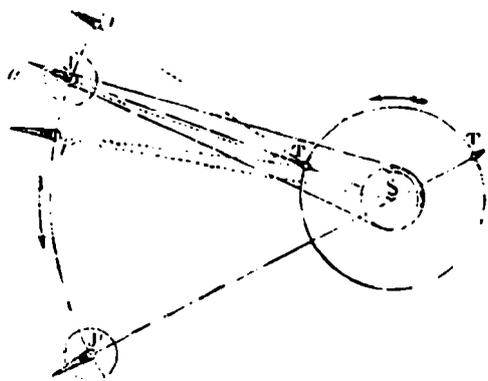


Fig. 287  
Método de Roemer

Abandonó esta idea porque queriendo hacer la comprobación

con los otros tres satélites, no tuvo el mismo resultado debido á causas complejas.

—Más tarde *Roemer*, analizando las tablas de *Cassini*, comprobó que en las *oposiciones*, es decir (*fig. 287*) cuando la tierra *T* estaba entre el sol *S* y Júpiter *J*, los eclipses se *adelantaban*; que en las *conjunciones*, es decir, cuando el sol estaba entre Júpiter *J'* y la tierra *T'*, los eclipses se *retardaban* y finalmente que en las posiciones intermedias el *adelanto ó atraso era proporcional* á las variaciones de distancia de la Tierra á Júpiter.

Basta ver la figura para comprobar que cuando se verifica la conjunción, la distancia *J' T'* es mayor que la distancia *J T* cuando se verifica la oposición y que la diferencia entre las dos distancias es la longitud del diámetro de la órbita terrestre, ó sea próximamente 305 millones de kilómetros.

Como el atraso de las conjunciones era de  $16^m26^s$ , dividió el diámetro de la órbita terrestre por ese tiempo que la luz emplea en recorrerlo, y encontró que la velocidad de la luz era aproximadamente de 308.000 kilómetros por segundo.

**495.—Método de Fizeau.**—Este físico determinó directamente la velocidad de la luz, midiendo el tiempo que empleaba un rayo luminoso en *ir y venir* de *Suresnes á Montmartre en París*, cuya distancia era de 8.633 metros.

Al efecto, por medio de una combinación de espejos y lentes (*fig. 288*), hacía que un rayo luminoso que parte de *S* que estaba en *Suresnes*, fuera á caer sobre un espejo *m* colocado en *Montmartre*, de donde era *reflejado* y volvía siguiendo el mismo camino á caer en el ojo del observador.

A la ida y á la vuelta el rayo luminoso se veía obligado á pasar *entre los dientes* de una rueda dentada *r r'* cuya proyección se ve en *A, B* y *C*.

Esta rueda dentada se puede animar de un movimiento de rotación rapidísimo.

Empezada la operación y dejada en *reposo* la rueda, el observador *veía la luz* reflejada entre los dientes como en *A*.

Imprimiendo un movimiento á la rueda, *la luz que vuelve* ya no encuentra un espacio libre entre dos dientes, si la velocidad es conveniente, pero ella se encontrará con *un diente* y chocando con él *ya no se verá* como se representa en *C*. Para llegar á esto, *el brillo de la luz habrá ido poco á poco disminuyendo* como se ve en *B*.

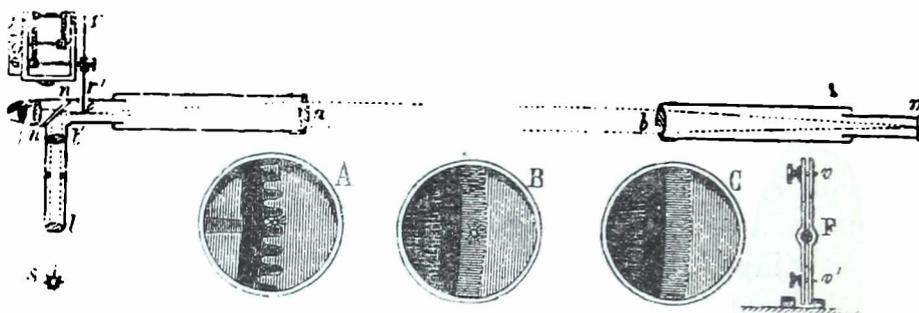


Fig. 288  
Método de Fizeau

Si se sigue aumentando la velocidad, volverá á aparecer la luz, y si la velocidad es *doble* ó *triple* de la que tenía en su primer *eclipse*, también se eclipsará; del mismo modo volverá á aparecer otras tantas veces, cuando la velocidad se haga doble ó triple de la primera aparición.

Teniendo en cuenta la velocidad de la rueda, sus dimensiones, la distancia entre las dos estaciones, etc., *Fizeau* llegó al resultado que *la velocidad de la luz* es de 312.000 *kilómetros* por segundo.

En 1874, *Cornú* repitió los experimentos de *Fizeau* con elementos más perfeccionados, y encontró como velocidad de la luz 300.400 *kilómetros*.

**496.—Resultados**—De estos resultados y de los de *Foucault* que operando con un procedimiento cuyas distan-

---

cias no pasaban de 1<sup>m</sup>, obtuvo 298.000 kilómetros, resulta que la velocidad de la luz es *aproximadamente* de 300.000 *kilómetros* ó 60.000 *leguas kilométricas*.

Se comprobó también que la velocidad de los rayos luminosos de *distinto color* es la misma ó que la diferencia es muy pequeña.

La luz de la luna llega á la tierra en 1<sup>s</sup>; la del sol en 8<sup>m</sup>13<sup>s</sup>; la de las estrellas más cercanas en ¡cinco años! y la de las estrellas que forman las nebulosas tardan ¡*siglos* y *miles de años!* así que puede suceder que nosotros tengamos *catalogadas* estrellas que ya han desaparecido por cualquier cataclismo cósmico.

---

## CAPÍTULO II

### FOTOMETRÍA

**497.—Definiciones.**—Se llama *intensidad* de la luz toda la luz que irradia un foco luminoso.

**498.**—Si en el centro de una esfera hueca de radio  $r$  colocamos un foco de luz de intensidad  $I$  y si llamamos  $E$  la cantidad de luz que cae sobre la unidad de superficie se tendrá

$$E = \frac{I}{4\pi r^2}$$

Esta  $E$  representa la **Iluminación**, que es la relación entre la intensidad de la luz y la extensión de la superficie sobre que actúa.

—Si la intensidad de la luz fuera siempre  $I$  y el radio  $r'$  se tendría

$$E' = \frac{I}{4\pi r'^2}$$

luego comparando

$$\frac{E}{E'} = \frac{\frac{I}{4\pi r^2}}{\frac{I}{4\pi r'^2}}$$

es decir

$$\frac{E}{E'} = \frac{I \times 4\pi r'^2}{I \times 4\pi r^2}$$

luego

$$\frac{E}{E'} = \frac{r'^2}{r^2} \quad (1)$$

que nos dice que: «la iluminación producida por un foco luminoso está en razón inversa del cuadrado de la distancia».

Esto es suponiendo que la luz caiga normalmente sobre la superficie.

—La luz irradiada en un *ángulo sólido igual a 1* se llama **corriente de luz** y como *unidad* se toma la corriente de luz de **una bugía**.

A esta unidad se le dá el nombre de **Lumen**.

—Bajo el nombre de *ángulo sólido* se designa cualquier espacio de una esfera de radio = 1, que abarca la unidad de superficie estando el vértice en el centro.

Como la superficie de una esfera es  $4\pi r^2$  y hemos supuesto que  $r = 1$  resultará que una esfera tiene  $4\pi$  ángulos sólidos.

—La *intensidad* de la luz de una bugía sería, pues,  $4\pi$  **Lumen**.

Podemos ahora expresar la iluminación por

$$E = \frac{\text{Lumen}}{\text{Superficie}}$$

ó sea

$$E = \frac{4\pi I}{4\pi r^2}$$

es decir

$$E = \frac{I}{R^2}$$

—La iluminación de  $1 \text{ cm}^2$  por un *lumen* se llama **Lux**.

—La iluminación de  $1 \text{ m}^2$  por un lumen se llama **metro-bugía**.

Como

$$1 \text{ m}^2 = 10.000 \text{ cm}^2$$

resulta

$$1 \text{ Lux} = 10.000 \text{ m. b}$$

**499.—Unidades.**—Las unidades de intensidad de luz son varias.

—En *Francia* es el **Carcel** que es la intensidad que produce una lámpara *Carcel* que quema 42 gr. de aceite de colza refinado, en una hora.

—En la conferencia internacional de 1884, se estableció una unidad práctica llamada **Violle**, que es la luz de un centímetro cuadrado de platino llevado al punto de fusión.

—El congreso de electricistas de 1889 adoptó la **bugía decimal** que equivale á  $\frac{1}{20}$  Violle.

—En *Inglaterra* se usa el **Candle** ó **Parliamentary Standard**, que es la intensidad de una bugía de Spermaceti de  $\frac{7}{8}$  de pulgada de diámetro que quema por hora 120 gr.

—Finalmente en *Alemania* se tiene el **Kersen**, que es la intensidad de una bugía de parafina de 20 mm. de diámetro que arde con una llama de 5 cm. de altura.

Damos á continuación una tabla de equivalencias de los diferentes tipos:

ETALÓN	Bugia Decimal	Violle	Kersen	Carcel	Candle
Bugia decimal.....	1	0.05	1.13	1.04	0.88
Violle.....	20	1	22.6	2.08	17.5
Kersen.....	0.885	0.042	1	0.092	0.78
Carcel.....	9.62	0.481	10.9	1	8.4
Candle.....	1.14	0.057	1.28	0.119	1

**500.—Fotómetros.**—Los fotómetros son los aparatos destinados á determinar la intensidad de la luz, pero como sabemos que

$$E = \frac{I}{r}$$

y si suponemos tener otro foco  $I'$  á la misma distancia  $r$ , su iluminación será  $E'$  y se tendrá

$$E' = \frac{I'}{r^2}$$

y comparando

$$\frac{E}{E'} = \frac{\frac{I}{r}}{\frac{I'}{r^2}}$$

luego

$$\frac{E}{E'} = \frac{I r^2}{I' r^2}$$

es decir

$$\frac{E}{E'} = \frac{I}{I'}$$

es decir que «la misma relación existe entre las iluminaciones y entre las intensidades».

Luego, comparando las iluminaciones, se tendrá la

comparación de las intensidades, y eso es lo que se hace por medio de los fotómetros.

**501.—Fotómetro de Rumford.**—Este aparato consiste en una pantalla de vidrio esmerilado (*fig. 289*) delante de la cual se coloca una varilla *m*.

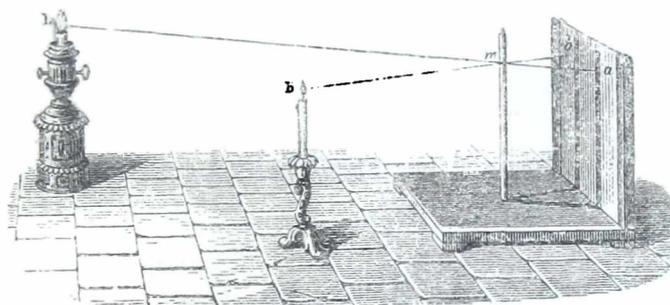


Fig 289  
Fotómetro de Rumford

Frente a ella se coloca *una bugía B*, que proyectará sobre la pantalla una sombra *b* de la varilla *m*.

Análogamente próxima a la perpendicular trazada a la pantalla por el punto *m*, se coloca el foco luminoso *L* cuya intensidad se quiere medir, y ésta proyecta una segunda sombra *a*, que no tendrá la misma intensidad.

Entonces se moverá la luz *L*, *hasta que las sombras a y b* tengan la misma intensidad, es decir que los dos focos den la misma iluminación.—Se miden las distancias y se aplica la fórmula.

**502.—Fotómetro de Bouguer.**—El fotómetro de *Bouguer* (*fig. 290*), se diferencia del de *Rumford* en que no existe la varilla, sino una pantalla opaca vertical, a cuyos lados se colocan la luz *unidad* y la que se quiere analizar.

Con este fotómetro, no se comparan las *intensidades de las sombras*, sino las *intensidades de la luz* recibida por las dos *medias pantallas*, que son respectivamente iluminadas por los dos focos luminosos.

Cuando después de varios tanteos, se obtiene la *mis-*

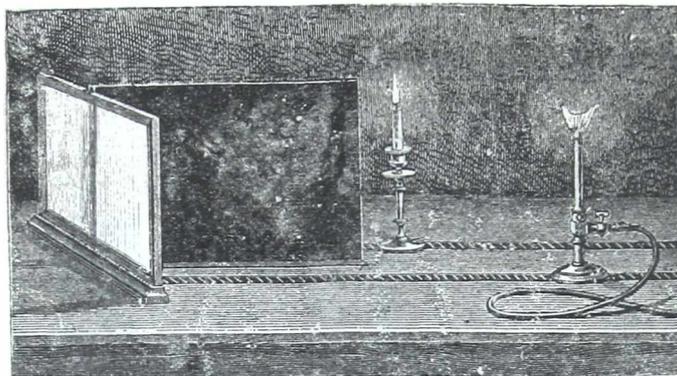


Fig. 290  
Fotómetro de Bouguer

ma intensidad, se miden las distancias y se aplica la fórmula (1).

**503. — Fotómetro de Ritchie.** — Este es análogo al de *Bouguer* (*fig. 291*), con la diferencia de que la pantalla *nn* es horizontal y que la luz es proyectada sobre ella después de haberla recibido so-

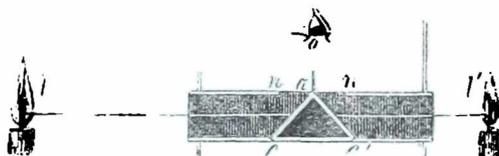


Fig. 291  
Fotómetro de Ritchie

bre dos espejos inclinados á  $45^{\circ}$ , que están dentro de una caja abierta por dos extremidades, frente á las cuales se colocan las luces que se comparan.

Suele usarse, quitando la pantalla horizontal y sustituyendo los espejos por dos hojas de papel, cuya *iluminación* es la que se compara.

**504. — Fotómetro de Bunsen.** — Consiste en una pantalla de papel (*fig. 292*) sobre la cual se ha hecho una *mancha de aceite*.

Si se coloca una bugía *detrás* de la pantalla, la man-

cha será *blanca*, y si de este lado de la pantalla colocamos el foco luminoso cuya intensidad queremos determinar, y si esta intensidad es *mayor* que la de la bugía, la mancha será *oscura*, pero si alejamos este foco luminoso, llegará un momento en que la mancha *habrá desaparecido*, lo cual solo sucederá cuando las *intensidades de las dos luces son iguales*.

Se miden las distancias y se aplica la 1ª ley.

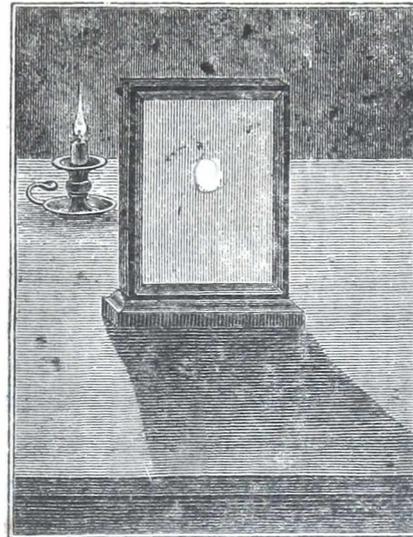


Fig. 292  
Fotómetro de Bunsen

**505. — Fotómetro de Wheaststone.** — Este elegante aparato (*figura 293*), consiste en una caja cilíndrica *C* terminada superiormente por una circunferencia dentada. En esta rueda dentada engrana un *piñón a*, que lleva un disco *d* el que á su vez sostiene una *perla brillante m*, cuyo tamaño natural está representado en *M*.

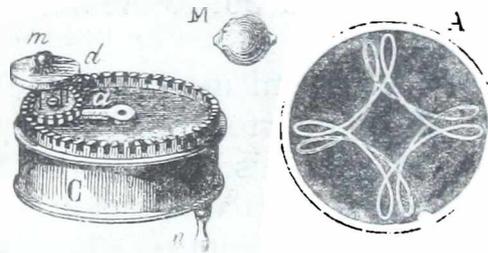


Fig. 293  
Fotómetro de Wheaststone

Por medio de una manivela *n* se imprime al piñón un rápido movimiento.

Si la perla *m* estuviera en el *centro del disco d*, la perla describiría una circunferencia, pero como está colocada en un borde del disco, describirá una curva á cuatro ramas como se vé en *A*.

Si ponemos el fotómetro frente á una fuente luminosa.

la luz se reflejará sobre la perla como un *punto* brillante y si producimos el movimiento de la perla, el punto brillante trazará una línea *luminosa* como se vé en *A*.

Si en vez de una bugía colocamos frente al fotómetro *la bugía y la luz* que se quiere analizar, tendremos *dos líneas* luminosas cuyas intensidades es fácil comparar y hacer que sean *iguales*, alejando una ú otra fuente luminosa.

—Recomendamos como notable por su facilidad de aplicación y extrema exactitud el Fotómetro de *Lumenn-Brodhum*.

**506.—Resultados.**—Por medio de los Fotómetros se han constatado los siguientes resultados:

1° *La llama es transparente*, pues si en el experimento indicado en la *figura 288* colocamos las luces dando frente á la pantalla ó las colocamos una detrás de otra, la intensidad acusada es la misma.

2° *Bouguer* encontró que *una luz hace desaparecer otra luz 64 veces menor*. De donde se deduce que si de día no vemos las estrellas, es porque la atmósfera nos envía una luz por lo menos *64 veces mayor* que la de las estrellas.

Es por la misma razón que de día *no se ve* nada dentro de un cuarto á obscuras, cuando se mira desde el exterior y lo mismo de noche, cuando de una habitación con luz se mira al exterior.

3° Cuando las llamas de dos bugías *se tocan*, se produce *más* intensidad que la suma de las dos intensidades, principios que ha sido aplicado por *Arago y Fresnel* en la construcción de las lámparas para faros, construyéndolas con *varias mechas* concéntricas.

4° Todas las municipalidades tienen estaciones con fotómetros, con el objeto de examinar noche á noche el *equivalente de iluminación* de la luz, que las empresas expenden al público.

---

## CAPÍTULO III

---

### REFLEXIÓN DE LA LUZ

---

**507.—Fenómeno de la reflexión.**—Cuando los rayos luminosos, encuentran la superficie de un cuerpo, *parte de ellos* es rechazada y esa parte será tanto mayor cuanto más *pulimentada* sea la superficie.

—Este fenómeno es el de la *reflexión de la luz*, y la parte de la Física que lo estudia se llama *Catóptrica*.

—Cuando la superficie del cuerpo es bien lisa y tersa, como la del mercurio, la de las aguas, la del vidrio, etc., la luz que cae sobre dicha superficie *no nos hará ver esa superficie*, sino que nos hará ver los objetos luminosos ó iluminados que están delante de ella.

En ese caso se producen *imágenes* de los cuerpos; y las superficies reflectoras toman el nombre de *espejos*.

La forma y dimensiones de las imágenes dependen de la forma del espejo.

Toma el nombre de *rayo incidente* el rayo que partiendo del foco luminoso cae sobre el espejo; *rayo reflejado* es el rayo luminoso rechazado: *normal* es la perpendicular *al espejo*, levantada en el punto en que se supone que choque el rayo luminoso, punto que toma el nombre de *punto de incidencia* y el ángulo que forma el rayo reflejado con la normal se llama *ángulo de incidencia*.

**508.—Leyes de la reflexión de la luz.**—El fenómeno de la reflexión de la luz está sujeto á las siguientes leyes:

1º *El ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son iguales.*

2º *El rayo incidente y el rayo reflejado están contenidos en el mismo plano normal á la superficie reflectora.*

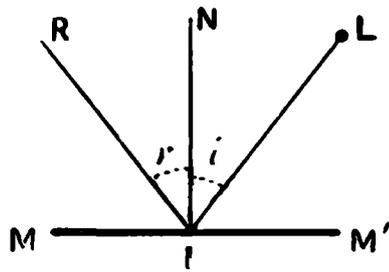


Fig. 294  
Reflexión de la luz

Este rayo  $LI$  será el *rayo incidente*, siendo  $I$  el *punto de incidencia*.

Si levantamos la perpendicular  $IN$  en el punto de incidencia, tendremos que el rayo reflejado  $IR$  formará

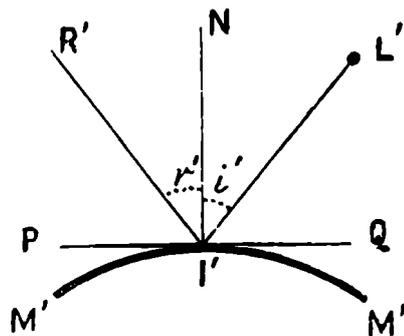


Fig. 295  
Reflexión de la luz

Aquí también el ángulo de incidencia  $i'$  será igual al ángulo de reflexión  $r'$ .

Esto es lo que dice la *primera ley*.

La *segunda ley* dice que los rayos  $LI$ ,  $RI$  y la normal  $IN$  están en un *mismo plano*.

—Supongamos tener un punto luminoso  $L$  (fig. 294) y entre los infinitos rayos luminosos que lanza, podemos considerar uno  $LI$  que cae sobre un *espejo* cuya sección es  $MM'$ . Este

con la normal un ángulo  $r$  de reflexión igual al ángulo  $i$  de incidencia.

Si el espejo en vez de ser *plano* fuera *curvo* (fig. 295) la normal  $IN$ , será la perpendicular levantada en el punto  $I'$  al plano  $PQ$ , tangente al espejo curvo en el punto de incidencia.

**509.—Demostración experimental.**—Para demostrar experimentalmente estas dos leyes, haremos uso del aparato de *Silbermann*, (fig. 296), que consiste en un círculo

de cobre, graduado, que está mantenido verticalmente por la acción de tres tornillos, que forman los pies del aparato.

En *A* está el cero de la graduación la cual se ha hecho á *ambos lados*, en orden ascendente.

Girando alrededor del centro se ven dos alidadas *K* é *I* que llevan dos tubitos *i* y *c* que están constantemente dirigidos hacia el centro del círculo, en el cual está fijo un espejito *m* que será *horizontal* cuando el círculo graduado sea *vertical*.

La alidada *I* lleva además otro espejo *M* que se puede girar á voluntad.

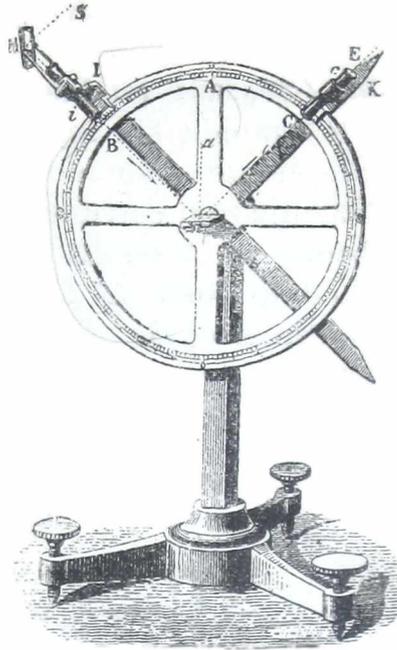


Fig. 296  
Aparato de Silbermann

**510.**—Para operar, se coloca bien vertical el círculo vertical lo cual se obtendrá por el movimiento de los tornillos de la base, se recibe sobre el espejo *M* un rayo luminoso que se dirige de manera que pase por el tubo *i*, luego ese rayo luminoso caerá sobre el espejo *m* donde será reflejado.

Enseguida se mueve la alidada *K*, hasta tanto que el rayo que ha sido reflejado en *m* pase por el tubito *c*, siendo recibido por el ojo del observador que está colocado en *E*.

Se lee la graduación correspondiente á los arcos *AB* y *AC* y se verá que éstos son iguales, pero estos arcos miden los ángulos *ami* y *amc* que son los ángulos de incidencia y de reflexión, luego queda constatada la *primera ley*.

Como los anteojos *i* y *c* están *colocados en un mismo plano* paralelo al círculo vertical y como este círculo es

*normal* al espejo  $m$ , resulta que los rayos incidente y reflejado estarán colocados en un *mismo plano normal* al espejo, lo cual verifica la *segunda ley*.

**5II. —Segunda verificación experimental.**—Se puede verificar también las leyes de las reflexiones de la luz, por medio de observaciones astronómicas.

Se elige una estrella brillante, y después de haber *estacionado* un teodolito se mide el ángulo  $\beta$  que forma el rayo luminoso  $L' C$  que viene de esa estrella  $L'$  con el *horizonte* (fig. 297).

Enseguida se coloca cerca del teodolito y en una posición conveniente, una caja  $M$  que contiene mercurio ó aceite ennegrecido, es decir un *espejo horizontal*.

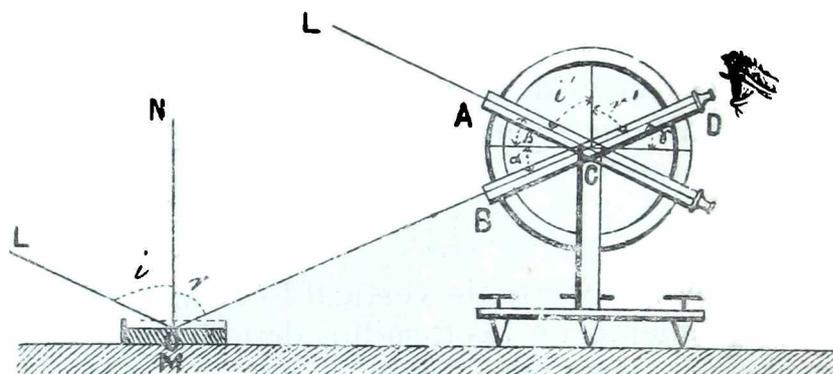


Fig. 297

Verificación experimental de la reflexión de las leyes

Podemos hallar otro rayo luminoso  $L O$  que viene de la *misma estrella* y que será *paralelo* al rayo  $L' C$  por la enorme distancia á que está la estrella y por lo cercanos que son esos dos rayos luminosos.

Ese rayo luminoso al caer sobre el espejo, se reflejará y dirigiendo el anteojó en la direccióu  $B D$ , recibiremos el rayo reflejado  $M D$ .

Se mide el ángulo  $\gamma$  que forma ese rayo con el horizonte y *se observará* que

$$\alpha = \beta$$

Ahora bien como  $\alpha = \gamma$  por opuestos por el vértice, resultará

$$\beta = \gamma$$

Luego los ángulos  $i'$  y  $r'$  que son complementarios de  $\beta$  y de  $\gamma$  nos darán

$$i' = r'$$

Pero  $i' = i$  por ser ángulos que tienen sus lados paralelos y dirigidos en el mismo sentido y  $r' = r$  por correspondientes, luego

$$i = r$$

que es lo que deseaba demostrar.

**512.—Difusión.**—La luz reflejada por un espejo, se dice que lo es *regularmente ó especularmente*, pero la luz que reflejan los cuerpos no pulidos ó ásperos, es reflejada *irregularmente* y la luz así reflejada se llama *luz difusa*.

En este caso *se aplican* también las leyes de la reflexión de la luz, pero los rayos de la luz *difusa* se dirigen en todas direcciones y por esa razón la *superficie iluminada* se comporta á nuestros ojos como si tuvieren luz propia.

Más adelante veremos que además de *difundir la luz*, muchas superficies la devuelven con un *color distinto* de la incidente, lo cual da lugar al *color* de los cuerpos.

Un espejo bien pulido *es invisible*, porque no difunde la luz, pero si empañamos el espejo, ya *habrá difusión*, y el espejo se hará visible.

Los espejos no pueden modificar la coloración de la luz.

Por obra de la luz difusa en una habitación tenemos todos los objetos iluminados, aunque esos objetos no estén iluminados directamente por un foco luminoso.

La *intensidad* de la luz reflejada *aumenta* con el pulimento del espejo y con el ángulo de incidencia.

Varía también con la sustancia de la superficie reflectora, así como con el medio en que está sumergido el espejo

---

## CAPÍTULO IV

## ESPEJOS PLANOS

**513.—Reflexión sobre los espejos.**—Ya dijimos que en óptica, se llama *espejo* cualquier superficie pulida capaz de reflejar la mayor parte de la luz que recibe.

Los espejos se dividen en *planos* y *curvos*, según sea la forma de la superficie.

Se dividen también en espejos *metálicos* y *no metálicos*.

Estos últimos están formados de una lámina de *vidrio* en cuya cara posterior se aplica un amalgama de mercurio y estaño.

Se han construido espejos de vidrio para los telescopios, recubriéndolos con una capa de plata.

Los espejos *metálicos* se construyen generalmente de *bronce* formado por una parte de *estaño* y dos partes de *cobre*.

En los estudios que siguen, *supondremos* siempre que los espejos sean metálicos.

**514.—Imágen de un punto.**—Supongamos que  $M M'$  sea la sección de un espejo plano (*fig. 298*) y  $L$  un punto luminoso.

Consideremos un rayo luminoso  $L I$  y tracemos la *normal*  $N I$  del punto de incidencia. El rayo reflejado seguirá la dirección  $O I$  formando el ángulo de incidencia  $L I N$  igual al ángulo de reflexión  $N I O$  y por

consiguiente *el ojo colocado en O*, verá la imagen del punto *L* en la *prolongación* del rayo reflejado *O I*.

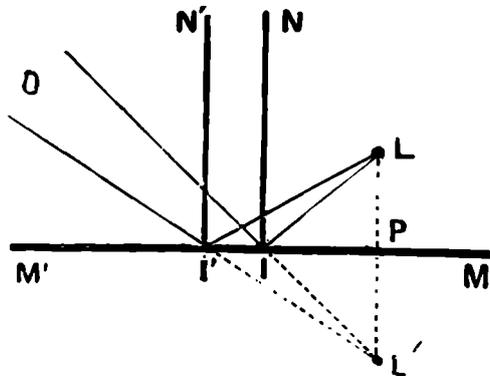


Fig. 298  
Imágen de un punto

Si desde el punto luminoso *L* imaginamos trazada la perpendicular *LP* y prolongamos esta línea hasta encontrar la *prolongación* del rayo reflejado en *L'*, este punto será un *foco* y el ojo *O* verá este *punto imaginario L'* como si

existiera realmente.

Este punto *L'* es la *imágen del punto L*.

515.—El punto *L'* es *simétrico* de *L* con respecto al espejo *MM'* es decir, que  $LP = L'P$ .

Para demostrarlo, consideremos los dos triángulos *LIP* y *L'IP'* que tiene al lado *IP* común, los ángulos en *P* iguales por rectos y los ángulos *LIP*, y *PIL'* iguales por complementos de los ángulos de incidencia y reflexión que son iguales, luego esos dos triángulos tienen un lado común y dos ángulos iguales, luego *los dos triángulos son iguales*, lo que nos dá  $LP = L'P$  que es lo que queríamos demostrar.

Análogamente se demostraría que cualquier otro rayo como *LI'*, forma su imágen en el *mismo punto L'*.

516.—*Imágen de un objeto*.—Para hallar la imágen de un objeto *ab*, se repetirá para *cada punto* del objeto (*fig. 299*) la misma operación como lo indica la figura y así tendríamos formada la imágen *a'b'* del otro lado del espejo y también *simétrica* con respecto al espejo *MM'*.

La imagen obtenida en los espejos planos es del *mismo tamaño* que el objeto.

Cuando una persona se ve reflejada sobre un espejo, el lado *derecho* de la imagen reproduce el lado *izquierdo* de la persona y vice-versa.

Por esta razón se encuentra tanta dificultad en atarse la corbata mirándose en el espejo. Se invierten todos los movimientos.

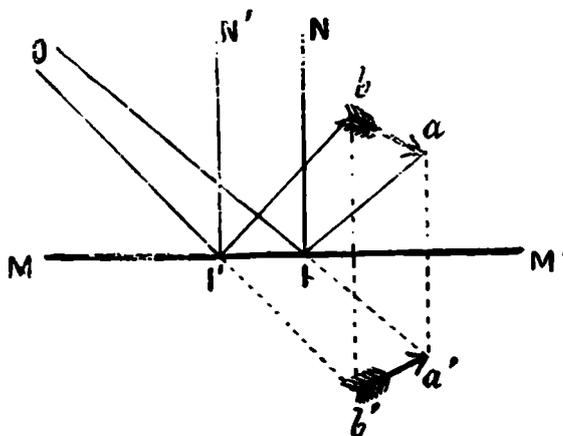


Fig. 299  
Imagen de una recta

**517.—Imágenes reales y virtuales.**—En la reflexión sobre los espejos planos pueden distinguirse dos casos; que los rayos reflejados sean *divergentes* ó que sean *convergentes*.

Cuando los rayos reflejados son *divergentes*, estos rayos luminosos no se encuentran, pero si los consideramos *prolongados del otro lado del espejo*, se encontrarán en un punto que será la *imagen* del punto luminoso.

Esta imagen formada por la *prolongación* de los rayos luminosos es una *imagen virtual*. Es la imagen que producen los espejos planos.

Cuando los rayos reflejados son *convergentes*, entonces estos rayos *concurrer en un mismo punto* que estará colocado con respecto al espejo, *del mismo lado que el objeto*, y allí formará la *imagen real* del objeto, imagen que *se puede recibir* sobre una pantalla.

Las imágenes *reales*, es decir, formadas directamente por los rayos reflejados, se obtienen por medio de los *espejos cóncavos*.

**518.—Campo de un espejo plano.**—Sea un punto luminoso  $A$  (fig. 300) que reflejándose sobre el espejo  $MM'$  nos produce la imagen  $A'$ .

Si marchamos á derecha é izquierda del punto  $A$ , habrá momentos en que la imagen es *visible* y momentos en que no lo será.

Cuando *se vé* la imagen el ojo está en el *campo del espejo*.

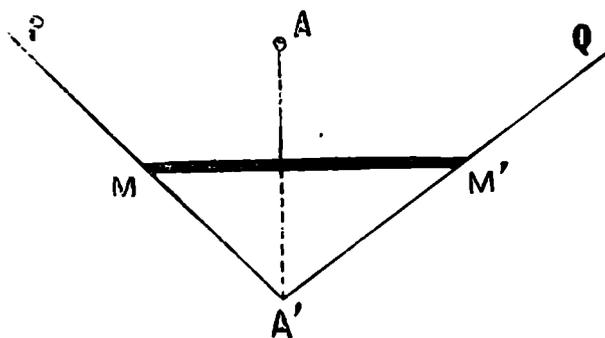


Fig. 300  
Campo de un espejo plano

Para determinarlo, imaginemos líneas que pasando por el punto  $A'$  vayan rozando los límites del espejo, como las líneas  $A'P$  y  $A'Q$ , con lo cual se engendrará la superficie de un tronco de cono cuya sección en la figura es  $PM M'Q$ .

El espacio  $PM M'Q$  es el *campo del espejo correspondiente al punto  $A$* , y dentro de ese espacio, estarán todos los puntos desde los cuales *es visible la imagen  $A'$* .

**519.—Imágenes en dos espejos paralelos.**—Sea un punto  $L$  colocado entre dos espejos paralelos  $MN$  y  $PQ$  (figura 301) y supongamos que también el  $O$ , esté colocado entre los dos espejos.

Al reflejarse el punto  $L$  sobre el espejo  $PQ$  nos dará la  $1^{\text{a}}$  imagen  $L'$  á una distancia  $LC$  y  $L'C$ .

Esta imagen  $L'$  será un punto luminoso para el espejo  $MN$  y por consiguiente reflejándose sobre  $MN$  nos dará la  $2^{\text{a}}$  imagen  $L_1$ , á una distancia  $L'B = BL_1$ .

A su vez el punto  $L_1$  será un *punto luminoso* para el espejo  $PQ$  y reflejándose sobre el espejo nos dará una *3ª imagen*  $L''$  á una distancia  $LC = CL_1$ , y así sucesivamente tendríamos una *primera serie de imágenes*.

Como el punto luminoso  $L$  sufre también una *primera reflexión* sobre el espejo  $MN$ , resultará que podríamos construir una *segunda serie* de imágenes, cuyo número así como los de la primera serie, será *infinito*.

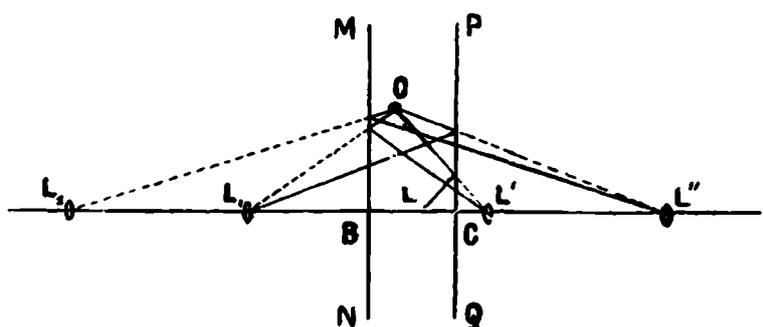


Fig. 301  
Imágenes en dos espejos paralelos

En realidad el número de imágenes es *limitado*, lo cual es debido á que *no reflejándose totalmente* la luz, las imágenes irán poco á poco perdiendo la intensidad hasta que al fin *desaparecerán*.

Se aplican los espejos paralelos, para hacer *la ilusión* de la mayor amplitud de un salón.

Si se quiere hacer notable las *dos series* de imágenes bastará colocar un objeto presentando á cada espejo un *color diferente*.

**520.—Imágenes de dos espejos inclinados.**—Cuando los espejos forman un *ángulo*, el número de imágenes es *limitado*.

Consideremos el caso en que formen un *ángulo recto*.

Sean  $MP$  y  $NP$  las secciones de los dos espejos (*fig. 302*), y supongamos que en  $L$  está el punto luminoso y en  $O$  el observador.

Si consideramos el rayo luminoso  $LA$  que cae sobre el espejo  $MP$ , tendremos una *primera* imagen  $L'$  del objeto  $L$ .

Análogamente, considerando otro rayo luminoso  $LB$  que cae sobre el espejo  $PN$ , tendremos una *segunda* imagen  $L''$ , y finalmente, si consideramos otro rayo  $LC$

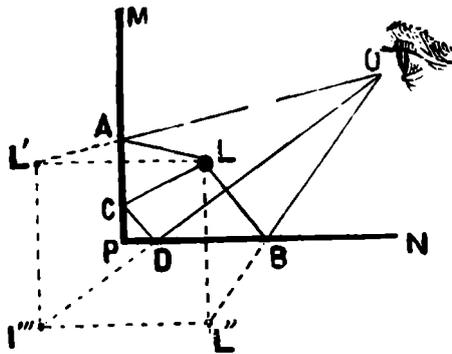


Fig. 302

Imágenes en dos espejos inclinados

éste se reflejará según  $CD$ , donde encontrando el espejo  $PN$  se volverá a reflejar según  $DO$  y nos dará una *tercera* imagen  $L'''$  del punto luminoso  $L$ .

Si se considerase otro rayo luminoso que cayera sobre el espejo  $PN$  y sufriera una *segunda* reflexión sobre el espejo  $PM$ , la imagen se vendría a formar también en el mismo punto  $L'''$ .

La distancia de las imágenes  $L'$ ,  $L''$  y  $L'''$  a la intersección  $P$  de los espejos son iguales entre sí e iguales a la distancia  $PL$ .

Lo mismo sucederá cualquiera sea el ángulo de los espejos.

**521.**—Hemos visto que si el ángulo de los espejos es recto, las imágenes son tres.

Si el ángulo de los espejos fuera de  $60^\circ$ , daría cinco imágenes; si fuera de  $45^\circ$  daría siete imágenes, y en general, si el ángulo de los espejos es submúltiplo de una circunferencia, ó sea de  $360^\circ$ , el número de imágenes estará representado por la expresión  $n-1$ , siendo  $n$  el número de veces que el ángulo de los espejos está contenido en  $360^\circ$ .

Así, si el ángulo fuera de  $30^\circ$ , habría once imágenes, porque  $30^\circ$  está contenido doce veces en  $360^\circ$ .

Si el ángulo de los espejos fuera de  $24^\circ$ , habría cator-

ce imágenes porque  $24^\circ$  está contenido quince veces en  $360^\circ$ .

**522.—Aplicaciones de la reflexión de la luz en espejos planos.**—Innumerables son las *aplicaciones* que la reflexión de la luz en los espejos planos ha recibido.

Daremos ideas generales del *Porta-luz*, *Determinación de alturas*, *Espejo mágico*, *Polemóscopo de Hevelius*, *Espetros impalpables*, *Anteojo mágico*, *Kaleidoscopio* y *Cajas catóptricas*, dejando de lado las aplicaciones superiores, como los *sextantes*, *goniómetros* y *helióstatos*, cuya sola descripción haría muy extenso este capítulo.

**523.—Porta-luz.**—Este aparato está destinado á hacer entrar un haz de *rayos solares* al interior de la *cámara obscura*, conservando siempre la *misma dirección*, á pesar del movimiento aparente del sol.

Los *helióstatos* obtienen el mismo resultado *automáticamente*, es decir, siguen el movimiento del sol por el movimiento de ciertos órganos, movidos por un aparato de relojería, que se regula según *la latitud* del lugar, el *día* del año y la *hora*.

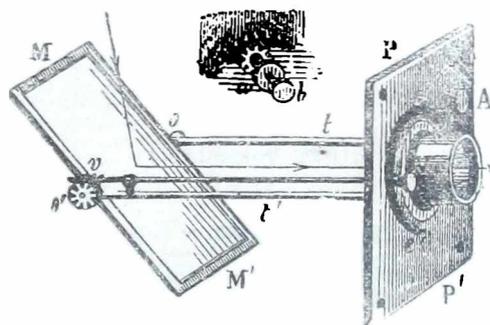


FIG. 303  
Porta luz

El *Porta-luz* consiste en un espejo plano *M* (fig. 303), sostenido por dos montantes *t* y *t'* y un eje *OO'* que puede moverse por la acción de un *tornillo sin fin* *v* y una rueda dentada *O'* fija al eje. El movimiento del *tornillo sin fin* se obtiene haciendo girar la cabeza *V* de la varilla *Vv*. Moviéndose el tornillo sin fin se mueve el eje *OO'* y con él el espejo *M*.

Este espejo tiene otro movimiento *perpendicular* al

primero, y esto se consigue por el movimiento de la cabeza  $A$  de un *piñón* que hace que los montantes  $t$  y  $t'$  se muevan á lo largo de una hendidura circular  $e e'$  hecha en una chapa  $PP'$  que se fija á una puerta ó ventana de la cámara oscura.

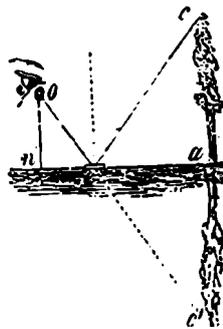


Fig. 304  
Medida de alturas

Se comprende cómo con el movimiento combinado de los botones  $A$  y  $V$  se puede obligar á los rayos de la luz solar á que entren á la cámara oscura según una dirección dada.

**524.—Medida de alturas.**—Supongamos que-  
rer medir la altura de una torre, un edificio ó  
un árbol (figura 304).

Se coloca un espejo  $e$  en el suelo, y el obser-  
vador se mueve hasta tanto que colocado el ojo  
en  $o$ , se vea la imagen  $c'$  del punto culminante  $c$ .

Se mide la distancia  $ne$ , la distancia  $ea$  y la altura  $on$  y como los triángulos rectángulos  $one$  y  $eac$  son semejantes, tendremos

$$ea : no :: ae : en$$

y despejando

$$ea = \frac{no \times ae}{en}$$

que es la altura buscada.

**525.—Espejo mágico.**—Toma este nombre una combinación de espejos que nos produce efectos difíciles de explicar para el vulgo.

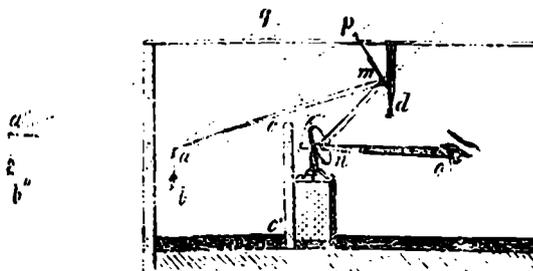


Fig. 305  
Espejo mágico

Consiste general-  
mente en una combi-  
nación de dos espejos  
 $m$  y  $n$  (fig. 305), cuya  
inclinación es tal que  
permite por doble re-  
flexión ver un objeto  
 $ab$  colocado detrás de  
un obstáculo  $c'$ .

La construcción de

la figura nos muestra la marcha de los rayos.

Vemos, por ejemplo, que el punto  $a$ , reflejándose sobre el espejo  $m$ , da una imagen  $a'$  simétrica respecto al plano del espejo  $m$ .

Esta imagen  $a'$  se convierte en punto luminoso para el espejo  $n$ , y reflejándose sobre él, nos produce la imagen  $a''$  simétrica de  $a'$  con respecto al plano del espejo  $n$ ; luego el observador colocado en  $o$  verá en  $a'' b''$  la imagen del objeto  $a b$ .

En vez de ver el objeto  $a b$  puede representarse detrás del obstáculo  $c c'$  una escena cualquiera.

**526 — Polemóscopo de Hevelius.**—Por medio del polemóscopo de Hevelius se podría observar en tiempo de guerra el movimiento del enemigo, quedando el observador oculto tras de un obstáculo como el  $c c'$ .

Se trata de una combinación análoga á la del espejo mágico, que, por lo tanto, no creemos necesario explicar.

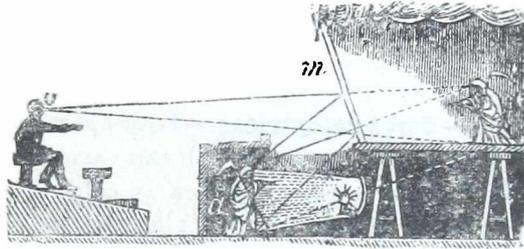


Fig. 306  
Espectros impalpables

**527.—Espectros impalpables.**—Es un experimento que se hace generalmente colocando en la boca del proscenio un

espejo inclinado  $m$  (fig. 306), el cual da para el espectador  $o$  la imagen  $a'$  del objeto  $a$ , que está fuertemente iluminado.

Por el aumento ó disminución de la luz y por el movimiento de la fuente de luz, puede completarse la ilusión haciendo aparecer y desaparecer paulatinamente el espectro.

**528.—Anteojo mágico.**—Consiste en un anteojo dividido en dos partes  $m$  y  $m'$  (fig. 307), entre las cuales se interpone una pantalla  $n$ , á pesar de lo cual el observador colocado en  $m$  puede ver los objetos colocados delante del extremo  $m'$ .

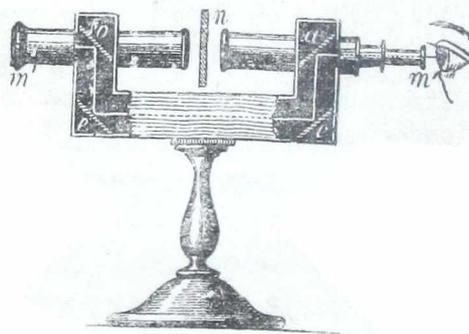


Fig. 307  
Anteojo mágico

Todo estriba en una serie de espejos  $o, c, c', a$ , inclinados á  $45^\circ$ , y que recibiendo un rayo luminoso por  $m'$  lo emite por  $m$ , haciendo que el observador pueda ver los objetos apesar de la pantalla  $n$ .

**529.—Kaleidoscopio.**—El kaleidoscopio consiste en un tubo de cartón que contiene dos espejos inclinados  $a$  y  $b$  (fig. 308), cuya inclinación puede variar por la acción de un tornillo  $n$ .

En uno de los extremos  $O$  del tubo se aplica el ojo, y el otro extremo está terminado por dos láminas de vidrio  $V$  y  $V'$ , una de las cuales,  $V'$ ,

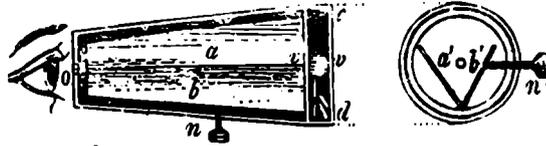


Fig. 308  
Kaleidoscopio

está esmerilada, y entre las cuales se coloca una cantidad de vidrios ó papeles de colores.

Mirando por el extremo  $O$ , se ven los vidrios coloreados y

sus imágenes, que forman figuras simétricas muy curiosas.

Se emplean los kaleidoscopios para obtener dibujos para los géneros impresos.

**530. — Cajas catóptricas.** — Este aparato es análogo al *kaleidoscopio*, pero en vez de dos espejos se colocan varios.

Dentro de la caja se coloca un caballo, un árbol, etc., en miniatura, y se ven, mirando por una abertura *ad-hoc*, *infinidad de caballos, árboles*, etc.

Combinando los espejos de una sala, pueden obtenerse efectos maravillosos, *reproduciendo las luces al infinito*.

## CAPÍTULO V

## ESPEJOS ESFÉRICOS

**531.—Reflexión sobre una superficie curva.**—Si en vez de considerar la reflexión que se verifica sobre una superficie plana, suponemos que un rayo luminoso caiga sobre una *superficie curva*, también se aplicarán las leyes de la reflexión de la luz, pero el punto de incidencia forma parte del *plano tangente* á la superficie curva en ese punto.

Como es natural, las *diferentes curvaturas* de esa superficie dará lugar á fenómenos especiales producidos por la diferente convergencia de los rayos reflejados.

Pocas son las superficies curvas que dan imágenes nítidas de los objetos, como las superficies esféricas y parabólicas.

Sólo estudiaremos los *espejos esféricos*.

Estos se dividen en *espejos cóncavos* y *espejos convexos*, según que los rayos incidentes se reciban sobre la superficie cóncava ó la superficie convexa.

**532.—Espejos esféricos cóncavos.**—Los espejos esféricos se consideran formados por un casquete de esfera  $MON$ , cuyo centro es  $C$  (*fig. 309*).

El plano  $MN$  forma la *base* del espejo, y el radio  $CO$  *perpendicular* á la base forma el eje principal. El punto  $O$  en que el eje principal corta el espejo es el *vértice* del espejo.

Toda línea como la  $BCP'$  que pasa por el *centro*, es un *eje secundario*.

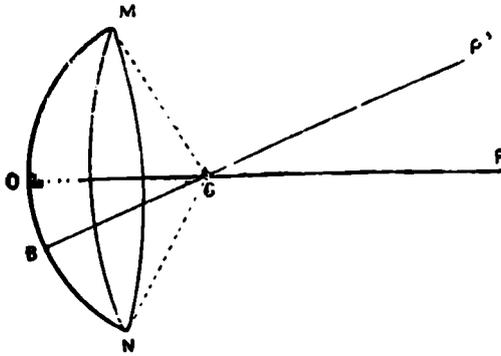


Fig. 309  
Espejos cóncavos

Todo lo que digamos de los espejos esféricos se referirá á espejos cuya *apertura*, que es medida por el ángulo  $MCA$ , sea *muy pequeña*.

**533.—Foco principal.**—Consideremos un espejo es-

férico cóncavo  $MN$  (fig. 310) y un punto luminoso  $L$  que no está sobre el eje principal.

Imaginemos un punto luminoso  $L$  *paralelo al eje principal*.

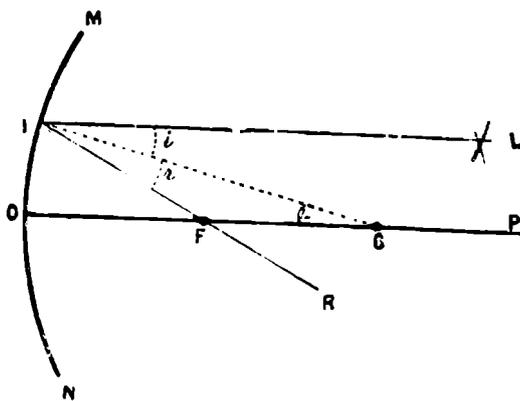


Fig. 310  
Foco principal

Este rayo se *refleja*, siguiendo las leyes de la reflexión, luego, si trazamos la normal del punto de incidencia, esta normal será el radio  $IC$ , pues los radios de una esfera son perpendiculares á los *planos tan-*

*gentes* que pasan por sus extremos.

Sea  $i$  el ángulo de incidencia y formemos el ángulo  $r$  de reflexión *igual* al de incidencia, el rayo reflejado  $IR$  cortará el eje principal en el punto  $F$ .

Este punto  $F$ , intersección del radio reflejado con el eje principal, constituye el *Foco principal*.

— Si el espejo es de una abertura *muy pequeña*, el foco principal  $F$ , está próximamente en el *punto medio del radio*  $OC$ .

Efectivamente el *ángulo al centro*  $ICO$  es igual al ángulo  $i$  por alternos internos y como este ángulo  $i$  es igual al de reflexión  $r$  resulta que el ángulo  $ICO = r$ .

Luego el triángulo  $IFC$  es *isósceles*, lo que nos da  $IF = FC$ .

Siendo, pues, el espejo de abertura *pequeñísima*, se puede tomar con *mucha aproximación*  $IF = FO$ , luego en la igualdad anterior tendríamos

$$OF = FC$$

-- La distancia  $OF$  toma el nombre de *distancia focal principal*, luego la distancia focal principal es igual á la *mitad del radio* del espejo, cuando este es de abertura *muy pequeña*.

*Todos los rayos que caen sobre el espejo  $MN$  paralelamente al eje principal, se reflejan pasando todos por el foco principal.*

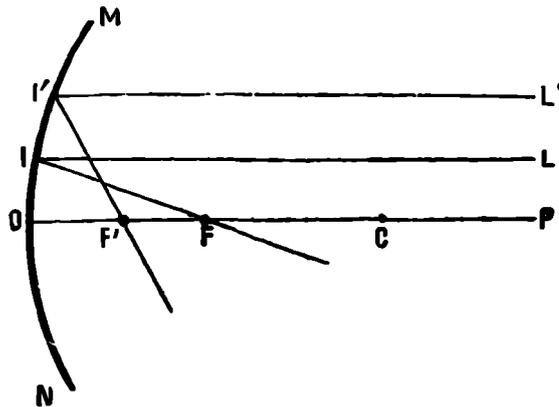


Fig. 311  
Cáustica por reflexión

**534. — Cáustica por reflexión.**—Lo que hemos dicho

respecto al *foco principal* se refiere al supuesto de que el espejo sea *muy pequeño*.

La cáustica se producirá cuando *la abertura del espejo no es pequeña*.

Efectivamente supongamos tener un espejo esférico cóncavo  $MN$ , (*fig. 311*) de una abertura grande.

Consideremos un rayo incidente  $LI$  paralelo al eje principal y cercano á él, el cual nos dará un rayo reflejado  $IF$  que pasa por el foco principal.

Si consideramos otro rayo  $L'I'$  también paralelo al eje principal, pero que incide cerca de los bordes del espejo, el rayo reflejado  $I'F'$  cortará al eje principal

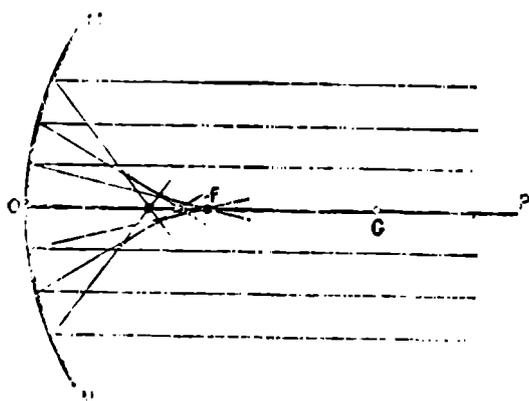


Fig. 312  
Aberración de esfericidad

en otro punto  $F'$  más próximo al vértice  $O$  del espejo y cuanto más separado sea el rayo incidente del eje principal, tanto más cerca del vértice  $O$  pasará el rayo reflejado.

—Si ahora consideramos *un haz*

*de rayos paralelos* (fig. 312), que caen sobre el espejo  $MN$  estos rayos incidentes producirán un cierto número de rayos reflejados que se entrecruzarán, dando lugar, sobre un plano que pase por el eje, á una *curva luminosa* compuesta de dos ramas simétricas.

Esta superficie curva, más luminosa que el resto, toma el nombre de *Cáustica por reflexión*.

*Este defecto de la no convergencia* de los rayos al foco principal, es lo que se llama *Aberración de Esfericidad*.

Puede obtenerse la *cáustica de reflexión*, colocando una lámina de fierro encorvada sobre una mesa y haciendo que sobre ese espejo curvo cilíndrico caiga la luz que penetra por una puerta ó ventana.

**535.—Focos conjugados.**—Consideremos ahora el caso en que *el punto luminoso está colocado sobre el eje principal*.

Sea  $P$  (fig. 313) el punto luminoso, y entre los infinitos rayos que lanza, consideremos uno cualquiera  $PI$ , el que se reflejará según  $IP'$  formando el ángulo  $i = r$ .

El punto  $P'$  en que el rayo reflejado corta el eje principal, es el *Foco Conjugado* del punto luminoso  $P$ .

Este punto *debe* estar colocado *entre el centro y el foco principal*.

Esto es evidente, pues siendo el ángulo de incidencia  $PI C$  *menor* que el de incidencia del rayo paralelo  $L I G$ , también el ángulo de reflexión

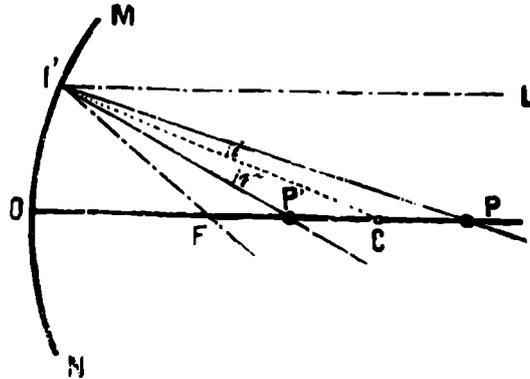


Fig. 313  
Focos conjugados

$C I P'$  tiene que ser *menor* que  $C I F$ , luego los rayos  $L I$  e  $I F$  abrazan á los rayos  $P I$  e  $I P'$  luego el punto  $P'$  *estará entre C y F*.

El punto luminoso  $P$  y el foco  $P'$  *son recíprocos*, es decir, si se coloca el punto luminoso en  $P'$  el foco conjugado *se formará* en  $P$ .

536.—**Fórmula de los espejos cóncavos.**—Un cálculo muy sencillo nos permitirá determinar la posición relativa de los focos conjugados respecto al espejo.

Siendo el rayo  $C I$  *bisector* del ángulo  $P I P'$ , se tiene por geometría la siguiente relación:

$$\frac{PC}{P'C} = \frac{PI}{P'I} \quad (1)$$

—Hagamos ahora

$$\begin{aligned} OP &= p \\ OP' &= p' \\ OC &= 2f \end{aligned}$$

siendo  $f$  la distancia *focal principal*.

La construcción de la figura nos dá

$$\begin{aligned} PC &= PO - OC = p - 2f \\ P'C &= OC - OP' = 2f - p' \end{aligned}$$

y teniendo presente que  $PI$  y  $P'I$  pueden considerarse iguales á  $PO$  y  $P'O$  por ser la *abertura* del espejo muy pequeña, la expresión (1) se convertirá en

$$\frac{p - 2f}{2f - p'} = \frac{p}{p'}$$

y quitando dominadores

$$p'(p - 2f) = p(2f - p')$$

ó bien

$$pp' - 2p'f = 2pf - pp'$$

luego

$$pp' + pp' = 2pf + 2p'f$$

ó sea

$$2pp' = 2pf + 2p'f$$

ó bien

$$2p'f + 2pf = 2pp'$$

ó también

$$p'f + pf = pp'$$

y dividiendo por  $pp'f$ , resulta

$$\frac{p'f}{pp'f} + \frac{pf}{pp'f} = \frac{pp'}{pp'f}$$

y simplificando

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

--Expresión muy *fácil de recordar* y que nos permite fijar inmediatamente el punto  $P'$  cuando nos dá la distancia focal  $f$  y la distancia  $p$  del punto luminoso al espejo.

--Para hallar la distancia  $p'$  en la fórmula (2) volvamos á la expresión.

$$p'f + pf = pp'$$

en la cual transponiendo términos sale

$$pf = pp' - p'f$$

ó bien

$$pf = p'(p - f)$$

ó también

$$p'(p - f) = pf$$

y por consiguiente

$$p' = \frac{pf}{p-f} \quad (3)$$

que es lo que deseábamos hallar.

**537.—Discusión de la fórmula de los espejos cóncavos.**—Vamos á ver cuál será la posición del punto  $P'$  cuando se hace mover el punto luminoso  $P$  á lo largo del eje principal.

Puede suceder que

$$\begin{aligned} p &= \infty \\ p &> 2f \\ p &= 2f \\ p &< 2f \text{ y } > f \\ p &= f \\ p &< f \\ p &= 0 \end{aligned}$$

1<sup>er</sup> Caso.—Si  $p = \infty$ , la fórmula (3) nos dará

$$p' = \frac{\infty \times f}{\infty - f}$$

pero

$$\infty - f = \infty$$

luego

$$p' = \frac{\infty \times f}{\infty}$$

y simplificando el quebrado

$$p' = f$$

por consiguiente, *cuando el punto luminoso está en el infinito, la imagen se forma en el foco principal.*

2<sup>o</sup> Caso.—Cuando  $p < 2f$  hemos visto que la *imagen se forma entre el centro y el foco principal.*

3<sup>er</sup> Caso.—Cuando  $p = 2f = R$ ,

$$p' = \frac{2f \times f}{2f - f} = \frac{2f^2}{f}$$

ó bien simplificando

$$p' = 2f$$

lo que nos dice que *cuando el punto luminoso está en el centro, la imagen se forma también en el centro.*

Esto es evidente, por otra parte, pues estando el punto luminoso en el centro, los rayos luminosos caerán según los radios de la superficie esférica, y como los radios son normales á dicha superficie esférica, resultará que el rayo reflejado *volverá sobre sí mismo*, y el punto y su imagen *se superpondrán.*

4<sup>o</sup> Caso.—Cuando se tiene  $p < 2f$ , resulta que el *denominador* de la expresión (3) será *menor* que en el caso

anterior; luego *el quebrado será mayor* que en el segundo caso, y por consiguiente

$$p' > 2f$$

es decir, *que cuando el punto luminoso está entre el centro y el foco, la imagen se forma del otro lado del centro, cosa que ya habíamos visto al hablar de los focos conjugados  $F$  y  $P'$ .*

**5º Caso.**—Si  $p = f$ , la fórmula (3) nos dá

$$p' = \frac{f \times f}{f - f} = \frac{f^2}{0}$$

luego

$$p' = \infty$$

es decir, *cuando el punto luminoso está en el foco principal, la imagen se forma en el infinito, ó mejor dicho, los rayos reflejados son paralelos al eje principal.*

**6º Caso.**—Si  $p < f$ , el denominador del quebrado (3) será *negativo*, es decir

$$p' < 0$$

En el párrafo siguiente traduciremos esta expresión.

**7º Caso.**—Si  $p = 0$ , la expresión (3) nos dará

$$p' = \frac{0 \times f}{0 - f} = \frac{0}{-f}$$

luego

$$p' = 0$$

es decir, *no habrá imagen.*

**538.—Foco virtual.**—Vimos en el sexto caso de la discusión anterior que cuando  $p < f$ , es decir, *cuando el*

*punto luminoso está entre el foco principal y el espejo*

$$p' < 0$$

Supongamos tener un punto luminoso  $P$  en esas condiciones (*fig. 314*).

Consideraremos un rayo incidente  $PI$ , el cual se reflejará según  $IR$ , formando con la normal  $IC$  el ángulo de incidencia  $PIC$  igual al de reflexión  $CIR$ .

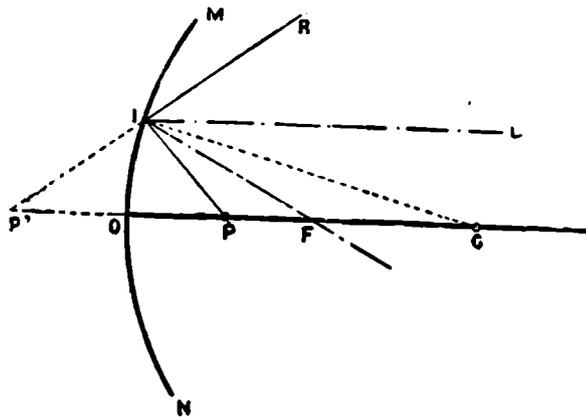


Fig. 314  
Foco virtual

Este rayo no podrá *nunca* encontrar al eje principal  $OC$ , es decir, será *divergente* con él, lo cual es evidente, pues según el 4º caso, cuando el punto luminoso está en el foco, los rayos

reflejados *son paralelos* al eje principal, y como aquí el ángulo de incidencia  $PIC$  es *mayor* que el ángulo de incidencia  $FIC$ , resultará también que el ángulo de reflexión  $CIR$  *será también mayor* que el ángulo  $CIL$ , luego el rayo  $IR$  será *divergente* con el incidente  $PI$ .

Pero si bien este rayo reflejado  $PI$  no puede encontrar al eje principal  $OC$ , puede encontrarlo en  $P'$  en su prolongación, y ese punto  $P'$  será el *foco conjugado* del punto  $P$ , y será un *foco virtual*, pues está formado por la prolongación de los rayos.

Los focos obtenidos en los casos anteriores son *reales*, y *se podrán recibir sobre una pantalla*.

¿ Ahora comprendemos lo que significa

$$p' < 0$$

es decir,  $p'$  *negativo*. Esto quiere decir que si antes se contaban las distancias á partir del vértice  $O$  del espejo *hacia la derecha*, ahora se deben contar *hacia la izquierda* y el valor de  $p'$  se obtendría sin más que poner  $-p'$  en vez de  $p$  en la fórmula (2), lo que nos dará

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

de donde se sacaría

$$p' = \frac{pf}{f - p}$$

**539 —Punto luminoso fuera del eje principal.**— Supongamos que el punto luminoso  $L$  esté colocado fuera del eje principal (*fig. 315*).

Tracemos la línea  $AL$  que *pasa por el centro  $C$*  y ésta constituirá un *eje secundario* del espejo, el cual tiene *todas las propiedades* del eje principal. Para mejor comprender eso, nos bastará imaginar que la superficie esférica se ha prolongado de  $N$  hasta tanto que  $A$  esté en el *vértice* del espejo.

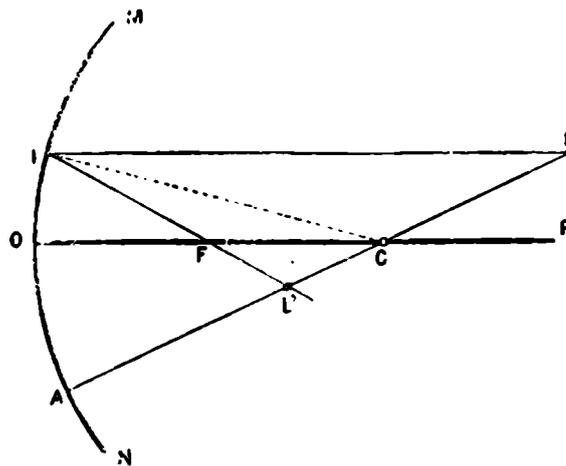


Fig. 315  
Imágen de un punto  $L$  cualquiera

Por lo tanto, cuanto más separado esté el punto  $L$  del eje principal  $OP$ , tanto más *aberración de esfericidad* habrá.

*Para hallar el foco conjugado* del punto  $L$  sobre el

eje secundario  $LA$ , imaginaríamos un rayo incidente  $LI$ , trazariamos la normal  $IC$ , formaríamos el ángulo de reflexión igual al de incidencia y el punto  $L'$  donde el rayo reflejado encuentra al eje secundario  $LA$ , será el foco conjugado del punto  $L$ .

Todos los rayos luminosos que parten de  $L$ , vendrían al foco  $L$ .

**540.**—Se facilita la determinación del foco conjugado  $L'$  sobre el eje secundario, trazando el rayo  $LI$  paralelo al eje principal, el cual, como sabemos, se refleja pasando por el foco principal  $F$ , luego uniríamos  $I$  con  $F$ , prolongando esta línea  $IF$  hasta encontrar en  $L'$  el eje secundario correspondiente al punto  $L$ .

Las mismas fórmulas nos servirán en este caso.

**541.**—**Imágen de un objeto en los espejos cóncavos.**—Sabien-do determinar la *imágen de un punto*, nos será fácil determinar la imágen de un objeto, pues nos bastará determinar la imágen de varios puntos del objeto, sobre todo si éste tiene forma geométrica.

Pueden presentarse *seis casos*, es decir, que el objeto puede tener las siguientes posiciones:

- 1º *En el infinito.*
- 2º *Entre el infinito y el centro del espejo.*
- 3º *En el centro.*
- 4º *Entre el centro y el foco.*
- 5º *En el foco.*
- 6º *Entre el foco y el espejo.*

**542.**—**Primer caso.**—Cuando el objeto luminoso está en *el infinito*, la imágen será *un punto* colocado en el foco principal del espejo, pues cada punto del objeto dará rayos luminosos *paralelos al eje principal*, los cuales, al reflejarse, *pasarán por el foco* principal del espejo.

543.—Segundo caso.—Si el objeto *está entre el infinito y el centro*, como el objeto *AB* (*fig. 316*), determinaremos la imagen de dos puntos *A* y *B* y uniremos esos dos puntos.

Para esto tracemos el rayo *AI* paralelo al eje principal, el que se reflejará según *IF* pasando por el foco. En seguida tracemos el eje secundario del punto *A*, y el punto de encuentro del eje secundario y el rayo reflejado nos dará la imagen *a* del punto *A*.

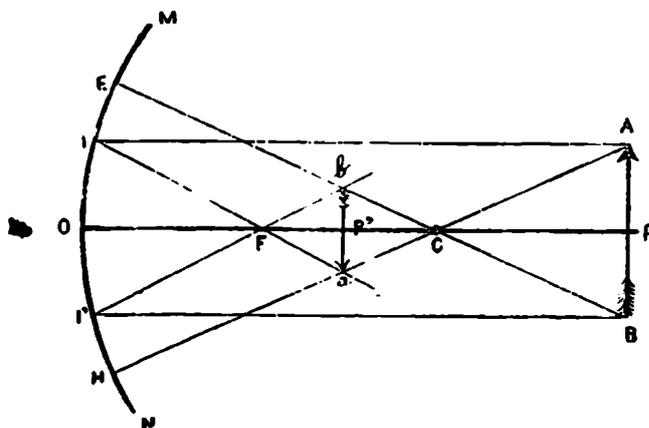


Fig. 316  
Imágen de un objeto colocado más allá del centro

--Análogamente tracemos el rayo *BI'* del punto *B*, su rayo reflejado *I'F* y el eje secundario *BE* del punto *B*, y en la intersección del rayo reflejado *I'F* y el eje secundario *BE* tendremos el punto *b*, imágen del punto *B*.

Entonces en *ab* tendremos la imágen de *AB*.

Luego en este caso la imágen es *real*, se forma *entre el foco y el centro*, es *invertida* y *menor* que el objeto.

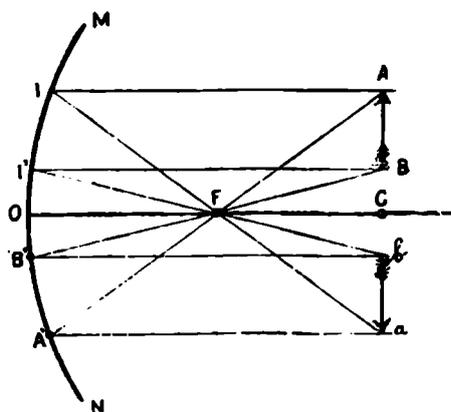


Fig. 317  
Imágen de un objeto colocado en el centro

544.—Tercer caso.—Cuando el objeto *está en el centro* como *AB* (*fig. 317*), ya no podemos trazar el eje secun-

dario, pero nos valdremos de la *intersección* de dos rayos reflejados.

Trazaremos el rayo  $AI$  paralelo al eje principal, y su rayo reflejado. Enseguida trazaremos el rayo  $AA'$  pasando por el foco, el que se reflejará *paralelamente* al eje principal.

El punto  $A$ , intersección de este rayo reflejado con el rayo reflejado  $IF$  nos dará la imagen  $a$  del punto  $A$ .

Análoga cosa haremos con respecto al punto  $B$  y determinaremos en  $b$  su imagen, luego tendremos en  $ab$  la imagen de  $AB$ .

En este caso, la imagen es también *real*, *simétrica del objeto* respecto al eje principal, *invertida* y del *mismo tamaño* que el objeto.

**545.—Cuarto caso.**—Si el objeto  $AB$  (fig. 318) está colocado entre el centro y el foco principal, haremos una

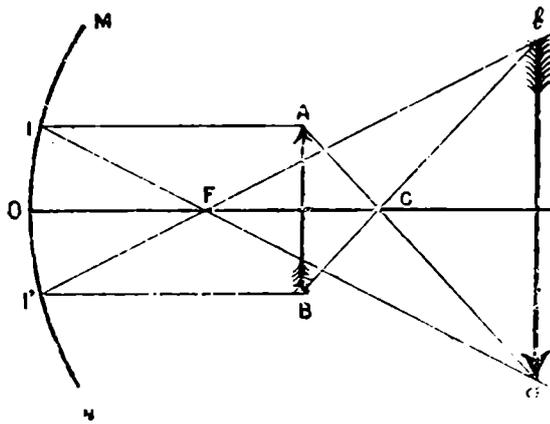


Fig. 318

Imágen de un objeto colocado entre el foco y el centro

construcción análoga al 2º caso, trazaremos por  $A$  el rayo paralelo al eje principal su rayo reflejado  $IF$  que pasa por el foco principal, enseguida el *eje secundario*  $AC$  del punto  $A$  y

en la intersección  $a$  se tendrá la imagen del punto  $A$ .

Lo mismo en  $b$  tendremos la imagen del punto  $B$ , luego en  $ab$  se tendrá la imagen *del objeto*  $AB$ .

Luego, en este caso, la imagen es *real*, colocada del otro lado del centro, *invertida* y *mayor* que el objeto.

Cuanto más se acerca el objeto al foco, *mayor será* la imagen.

**546.—Quinto caso.**—Cuando el objeto *está en el foco principal* como *A B* (fig. 319), debemos hacer una construcción análoga.

Para determinar la imagen del punto *A*, trazaremos el rayo *A I* paralelo al eje principal y su rayo reflejado *I F*. Enseguida trazaremos el eje secundario *A C* y como *A I* es sensiblemente igual á *F O*, resultará que *A I = F C*, luego la figura *A I F C* es un paralelogramo

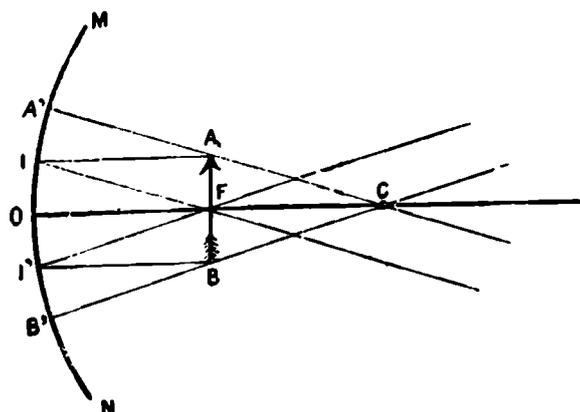


Fig. 319

Imágen de un objeto colocado en el foco

luego *I F* y *A C* son paralelos y por consiguiente se cortan en el infinito, luego la imágen del punto *A* se forma en el infinito, y como lo mismo sucederá con el punto *B*, la imágen del objeto se formará en el infinito y por consiguiente no habrá imágen.

**547.—Sexto caso.**—Finalmente si el objeto *A B* está (fig. 320) entre el foco principal y el espejo para construir la imágen del punto *A*, trazaremos el rayo *A I* paralelo al eje principal, su rayo reflejado *I F* y el eje secundario *A C*. Prolongaremos estas dos últimas líneas del otro lado del espejo y tendremos en *a* la imágen virtual del punto *A*.

Del mismo modo determinaremos la imágen *b* del punto *B*, luego en *ab* tendremos la imágen virtual del objeto *A B*.

En este caso la imagen es *virtual, derecha y mayor* que el objeto.

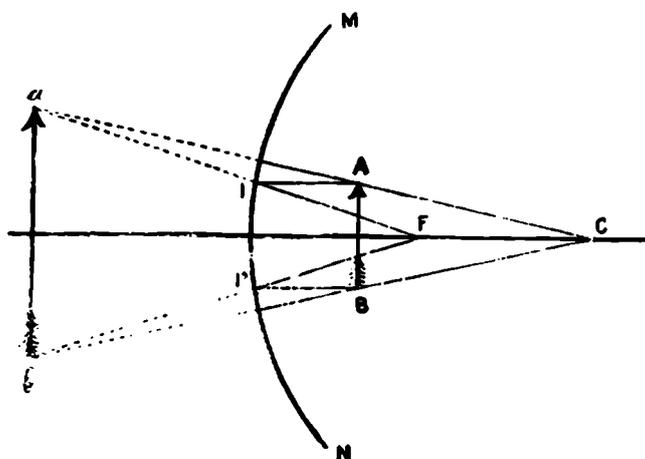


Fig. 320

Imágen de un objeto colocado entre el foco y el espejo

**548.—Tamaño de la imágen.**—Para determinar el tamaño de la imágen, nos bastará considerar los triángulos semejantes  $A B C$  y  $a b C$  (fig. 316) los que nos dan

$$\frac{A B}{a b} = \frac{P C}{P' C} \quad (1)$$

pero

$$\begin{aligned} P C &= P O - O C = p - 2f \\ P' C &= C O - P' O = 2f - p' \end{aligned}$$

luego sustituyendo en la (1), donde podemos hacer también  $A B = O$  (objeto),  $a b = i$  (imágen), resultará

$$\frac{O}{i} = \frac{p - 2f}{2f - p'}$$

de donde

$$i = \frac{O(2f - p')}{p - 2f}$$

en cuya ecuación en lugar de  $p'$  podemos sustituir el valor que tenemos en la ecuación (3) del párrafo 536.

## CAPÍTULO VI

## ESPEJOS ESFERICOS CONVEXOS

**549.—Foco principal.**—El estudio de los espejos esféricos *convexos* tiene una íntima analogía con lo que hemos dicho respecto á los espejos *cóncavos*.

Supongamos tener (*fig. 321*) un rayo  $L, I$  que cae sobre el espejo con-

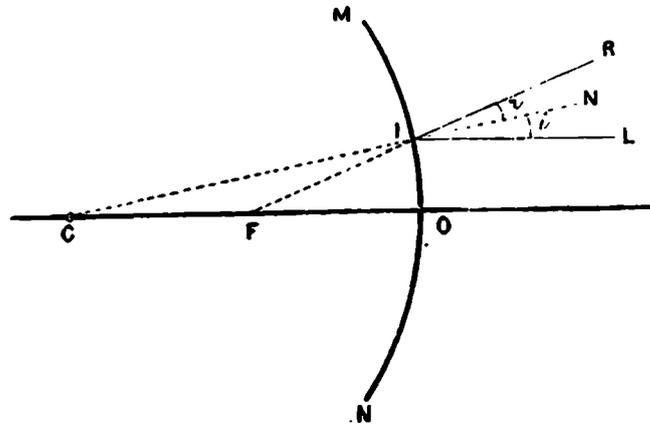


Fig. 321  
Foco principal

vexo  $M, N$ , paralelamente al eje principal.

Este rayo se reflejará formando un ángulo de reflexión  $r$  igual al ángulo  $i$  de incidencia.

También la *normal* en un punto de los espejos convexos, es el *radio* de la esfera  $C, I$  prolongado.

Si nosotros prolongamos al rayo reflejado  $I, R$  hasta encontrar al eje principal en  $F$ , este punto  $F$  será el *foco principal* del espejo convexo, que es virtual, como fácilmente se comprende.

Todos los rayos que caen sobre el espejo paralelamente al eje principal, se reflejarán de tal modo que su prolongación vendrá á caer en el foco principal  $F$ , que está á igual distancia del *centro* y del *vértice* del espejo.

Esto se podría demostrar de una manera análoga á la que empleamos en los espejos cóncavos.

Debemos tener presente que *esta posición del foco principal es solo aproximada y para el caso en que el espejo es de abertura muy pequeña.*

**550.—Focos conjugados.**—Si suponemos ahora que el punto luminoso esté *sobre el eje principal*, como en *I'* (fig. 322), hallaremos su *imagen* trazando un rayo luminoso *PI*, cuyo rayo reflejado *IR* prolongado cortará al eje principal en un punto *P'* comprendido *entre el foco y el espejo.*

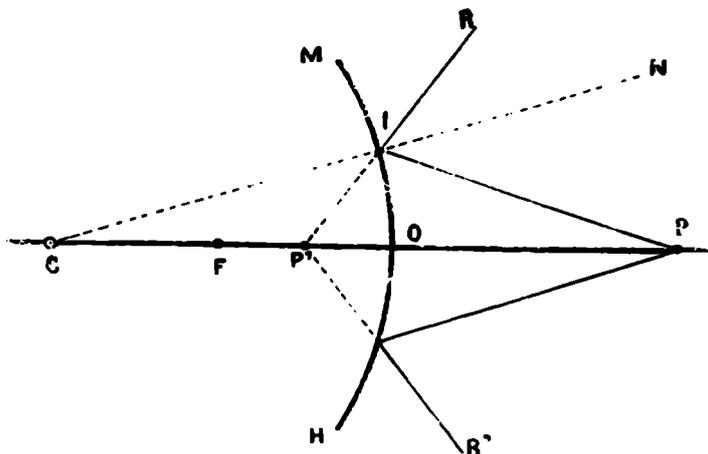


Fig. 322  
Focos conjugados

Este punto *P'* es un *foco virtual* del punto *P* y la prolongación de cualquier otro rayo emitido por *P* al reflejarse, vendrá á concurrir á este mismo punto *P'*.

Los puntos *P* y *P'* son *focos conjugados y recíprocos*, pues si nosotros consideramos un haz de rayos luminosos que *convergen* al punto *P'* como los *R'P'*, *R''P'*, etc., estos rayos al reflejarse concurrirían á un mismo punto *P* que sería un *foco real*. Es el único caso en que se puede conseguir un *foco real* en los espejos cóncavos.

**551.—Imagen de un punto que está fuera del eje principal.**—Puede demostrarse como se ha hecho para los espejos cóncavos que todo punto luminoso colocado fuera del eje principal tiene un *foco conjugado virtual*, situado sobre el *eje secundario* correspondiente.

La determinación de este foco conjugado se hace de una manera análoga como veremos á continuación.

552. — **Imágen de un objeto.**—Supongamos tener que determinar la imágen de un objeto *A B* (fig. 323) colocado dentro de un espejo convexo, á una distancia cualquiera de él.

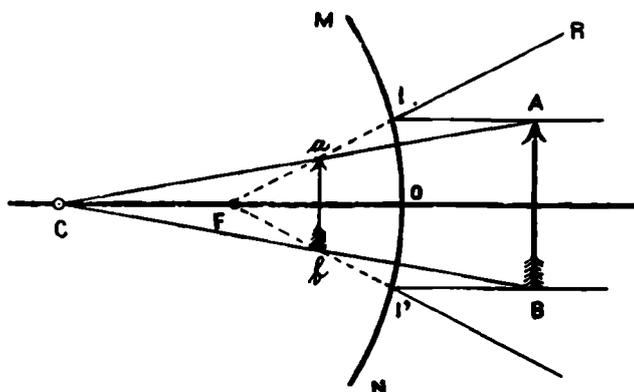


Fig. 323  
Imágen de un objeto

Para conseguirlo, basta imaginar un rayo luminoso *A I* paralelo al eje principal, el cual reflejándose, dará un rayo *I R* que prolongado pasará por el foco.

Enseguida tracemos el eje secundario *A C* del punto *A* y el punto *a* intersección del eje secundario con la prolongación del rayo reflejado *I R*, será la imágen virtual del punto *A*.

De una manera análoga determinaremos la imágen *b* del punto *B*, luego en *a b* se tendrá la imágen del objeto *A B*, que como vemos, es una imágen virtual, derecha y más pequeña que el objeto.

553.—**Fórmula de los espejos convexos.**—Como se ha procedido al tratar de los espejos cóncavos, se deduce la relación que nos da la posición de la imágen, cuando se conoce la distancia del objeto al espejo y la distancia focal de éste.

La ecuación, muy parecida á la anterior, sería

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f}$$

de donde quitando denominadores

$$p f - p' f = p p'$$

ó bien

$$- p' f - p p' = - p f$$

ó sea

$$p' (f + p) = p f$$

luego

$$p' = \frac{p f}{p + f} \quad (1)$$

554.—En la posición que puede tener el objeto con respecto al espejo, pueden suceder *tres casos* expresados por

$$p = \infty$$

$$p = 0$$

$$p > 0$$

1.º Si  $p = \infty$ , los rayos caen sobre el espejo *paralelamente* al eje principal, luego la imagen se forma en el *foco principal*, es decir

$$p' = f$$

2.º Si  $p = 0$ , la ecuación (1) nos dá

$$p' = 0$$

luego, cuando el objeto toca al espejo *no hay imagen*.

3.º Finalmente, cuando  $p > 0$ ;  $p'$  tiene un valor real y se formará una *imagen virtual* como hemos visto antes.

Cuanto *más lejos* está el objeto del espejo, tanto *menor* será la imagen.

555.—**Determinación experimental del foco principal.**—Si se trata de un *espejo cóncavo*, basta exponerlo á los rayos de la luz solar, los que se pueden considerar como *paralelos* y enseguida con una pantalla de porcelana ó papel, buscar cuál es el punto en que los rayos reflejados *se concentran* en un más pequeño espacio. Allí estará el *foco*.

Se mide la distancia de la pantalla al *vértice* del espejo y esa será la *distancia focal*, y duplicándola, se tendrá el *radio* del espejo.

556.—Si se trata de los *espejos convexos*, el problema es más complicado.

Se toma un disco circular de papel negro, que se aplica en  $A O B$  sobre el espejo (*fig. 324*).

En este papel se hacen dos pequeños agujeros  $A$  y  $B$  tan cercanos, que se pueda tomar el arco  $A O B$  por la cuerda  $A B$ .

Enseguida á una pequeña distancia y perpendicularmente al eje principal, se coloca una pantalla de porcelana  $PQ$  con una abertura circular que deja entrada á los rayos solares  $S S'$  sobre el espejo.

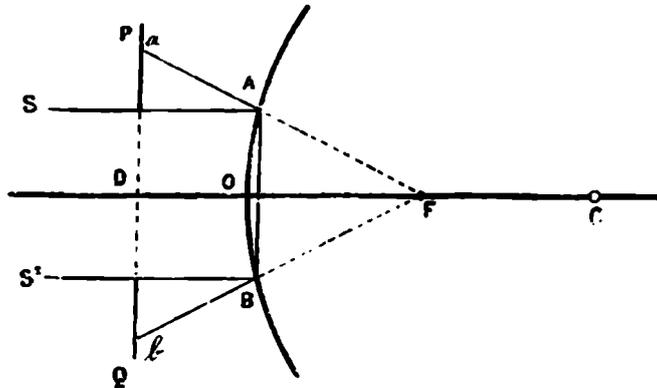


Fig. 324

Determinación experimental del foco principal de un espejo convexo

Como este no tiene más puntos brillantes que  $A$  y  $B$ , los rayos que caen sobre ellos se reflejarán según  $Aa$  y  $Bb$ , dando sobre la pantalla en  $a$  y  $b$  dos puntos luminosos.

Midase  $ab$ ,  $AB$  y  $OD$  y entonces los triángulos semejantes  $abF'$  y  $ABF'$  nos darán

$$\frac{AB}{ab} = \frac{FO}{F'D}$$

pero  $F'D = FO + OD$ , luego la proporción anterior se puede escribir

$$\frac{AB}{ab} = \frac{FO}{FO + OD}$$

de donde sacamos

$$AB \times (FO + OD) = ab \times FO$$

ó bien haciendo la multiplicación

$$AB \times FO + AB \times OD = ab \times FO$$

ó sea

$$AB \times OD = ab \times FO - AB \times FO$$

y sacando  $F O$  factor común

$$A B \times O D = F O (a b - A B)$$

ó bien

$$F O (a b - A B) = A B \times O D$$

y finalmente

$$F O = \frac{A B \times O D}{a b - A B}$$

que nos da la *distancia focal*  $F O$ , en función de cantidades conocidas.

**557.—Espejos cilíndricos y cónicos, convexos.**—Si un objeto se refleja sobre un espejo cilíndrico, la imagen tendrá

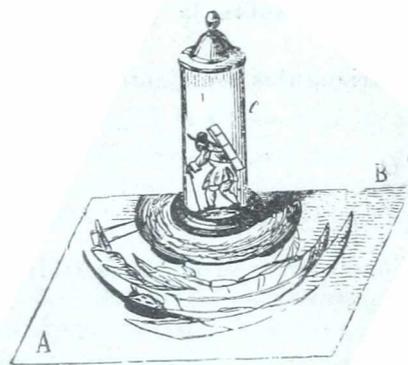


Fig 325  
Espejo cilíndrico

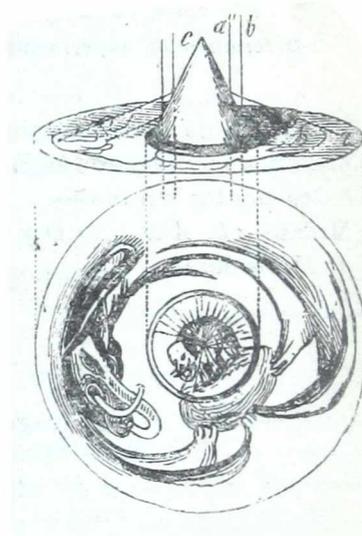


Fig 326  
Espejo cónico

la *misma dimensión que el objeto* en el sentido de las aristas y será *más estrecha* en el sentido transversal.

Es evidente, pues los rayos que se reflejan sobre una arista, están en la misma condición que los que se reflejan sobre un *espejo plano*, y los que se reflejan sobre una sección transversal, están en la condición de los ra-

---

yos que se reflejan sobre un espejo esférico cuyo radio es el radio de la base del cilindro.

Análoga cosa sucede con los *espejos cónicos*, con la diferencia de que la deformación es *tanto mayor*, cuanto más cerca del vértice se hace la reflexión.

--Basándose en estas deformaciones que se producen en las imágenes obtenidas en los espejos cónicos y cilíndricos, se han construido algunos dibujos que se llaman *anamórfosis*, los cuales vistos en el papel no nos dan idea de ningún objeto, pues no se ve más que una serie de líneas y colores, pero vistos como lo indican las (*figuras 325 y 326*), resultan bien definidas.

Estos dibujos se hacen según reglas determinadas.

## CAPÍTULO VII

### REFRACCIÓN DE LA LUZ

**558.—Dióptrica.**—Cuando un rayo luminoso pasa de un medio transparente á otro medio de distinta naturaleza, cayendo oblicuamente sobre la superficie de separación, el rayo luminoso sufre una *desviación* en su dirección primitiva. Este fenómeno toma el nombre de *Refracción*.

Su estudio constituye la *Dióptrica*.

—Además de la *desviación* del rayo luminoso, se observa una *coloración*, fenómeno que toma el nombre de *Dispersión* y cuyo estudio llámase *Cromática*.

—Finalmente hay casos en que *al penetrar* un rayo luminoso en un cuerpo transparente, sufre una *doble refracción* cosa que estudiaremos más adelante.

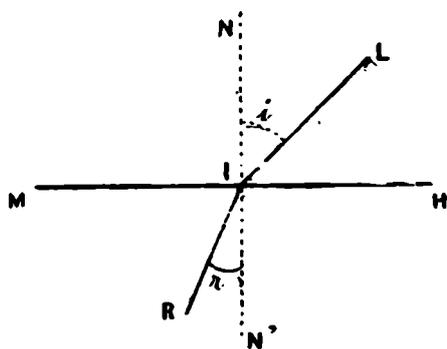


Fig. 327  
Refracción de la luz

**559.—Leyes de la refracción de la luz.**—Sea

$MH$  la *superficie de separación* entre los dos medios transparentes (*fig. 327*) y supongamos que tenemos un punto luminoso  $L$ .

Imaginemos un rayo *incidente*  $L I$  oblicuo al plano y sea  $i$  el ángulo de incidencia.

Al pasar el rayo  $L I$  al otro medio, sufre una desviación, *acercándose ó alejándose* de la normal  $N N'$ .

En este caso hemos supuesto que el rayo  $I R$  refractado se acerca á la normal. El ángulo  $r$  que *no es igual* al incidente, toma el nombre de *ángulo de refracción*.

—Cuando el rayo luminoso cae *perpendicularmente* á la superficie de separación *no hay refracción*.

—*En general* cuando un rayo luminoso pasa de un medio *menos denso* á otro *más denso*, el ángulo de refracción *es menor* que el incidente, es decir, el rayo refractado *se acerca* á la normal.

—Las *leyes de la refracción* definitivamente establecidas por *Descartes*, son las siguientes:

1º *El rayo incidente, el refractado y la normal están siempre en un mismo plano.*

2º *El seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción están en una relación constante, con tal que se trate de los mismos medios.*

Estas dos leyes pueden verificarse experimentalmente por medio del aparato de *Soleil y Silbermann*.

**560.—Demostración Experimental.**—El aparato destinado á la demostración experimental de las leyes de refracción, consiste en un círculo graduado vertical, sostenido por una columna, que á su vez, se apoya sobre tres pies á tornillo (*fig. 328*).

En el centro de ese cilindro vertical se coloca un recipiente  $R$ , semi-cilíndrico, de vidrio, el cual se llena de *agua hasta que el nivel del líquido coincida con el centro  $O$*  del círculo.

Sobre la columna vertical puede resbalar una regla dividida  $A B$  horizontal, la que se sujeta por un tornillo de presión.

Además, se tienen dos alidadas  $M O F$  y  $O K$  que pueden resbalar recorriendo el círculo dividido.

Para operar, se recibe en el espejo  $M$  un rayo lumino-

so, el cual se hace reflejar de manera *que caiga en el centro  $O$* , sobre la superficie del líquido.

Llegado allí, el rayo luminoso se refractará pasando por el agua. Entonces se moverá la alidada  $K$  hasta que se reciba el rayo refractado.

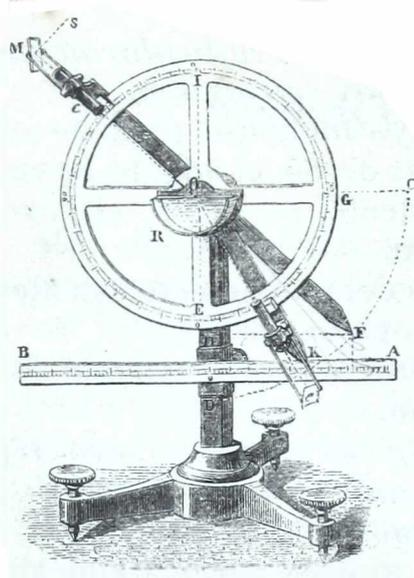


Fig 328  
Aparato de Silbermann

Ese rayo refractado no es influenciado al pasar la pared de vidrio del recipiente  $R$ , pues incidiendo el rayo *en el centro*, recorre *un radio* de la base del cilindro, luego corta á esa pared de vidrio *normalmente* por lo cual no produce refracción.

El ángulo de incidencia está medido por  $F O D$  que es igual á  $M O I$  y el ángulo de refracción está medido por  $K O D$ .

Hagamos ahora resbalar la regla dividida  $A B$  de modo que mida la distancia  $F H$  y la distancia  $K L$ . Estas dos distancias son los *senos* de los ángulos de incidencia y de refracción.

Si se varía el ángulo de incidencia  $M O I$  y se repite la operación, volviendo á medir los senos del ángulo de incidencia y de refracción, *la relación de estos dos senos será la misma* que la de los dos primeros, luego *la relación de los dos senos es constante*.

Esta relación se indica por la expresión

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n$$

que comprueba la 2ª ley.

**561.—Índice de refracción.**—Esta *relación* entre el ángulo de incidencia y de refracción toma el nombre de *índice ó coeficiente de refracción*.

Cuando se trata de un rayo de luz que pasa *del vacío* á un medio transparente toma el nombre de *índice de refracción absoluto*, y cuando pasa de un *medio á otro* toma el nombre de *índice de refracción relativo*.

El índice de refracción del *agua*, con respecto al aire es de  $\frac{4}{3}$  y el del *crown-glass* ordinario es de  $\frac{3}{2}$ .

Cuando como en estos casos, el índice es *mayor que la unidad*, el ángulo de incidencia es *mayor* que el de refracción y en ese caso *el segundo medio es más refringente que el primero*.

Cuando el *índice es menor que la unidad*, el ángulo de incidencia *es menor* que el de refracción, es decir, que el rayo refractado *se aleja* de la normal, y en este caso, el segundo medio es *menos refringente* que el primero.

**562.—Índice inverso.**—Suponiendo ahora que en vez de estar el punto luminoso en el aire como en el experimento anterior, esté *en el agua*, y que el rayo incidente sea el rayo refractado que teníamos antes, al salir del agua y pasar al aire, el rayo luminoso se refractará *siguiendo un camino inverso*, es decir que el rayo incidente actual, será el rayo refractado anterior, y el rayo refractado actual será el rayo incidente primitivo.

—Esto constituye la *ley de reciprocidad*, que dice, que *la luz que atraviesa un sistema de medios transparentes, recorre siempre el mismo camino, cualquiera que sea el sentido en que se propaga*.

En este caso el índice de refracción sería  $\frac{1}{n}$  el cual toma el nombre de *índice inverso*, en contraposición del índice  $n$  que es el *índice directo*.

Entonces el *índice inverso* del *agua* sería  $\frac{3}{4}$  y el del *vidrio* sería  $\frac{2}{3}$  puesto que para el *agua*  $n = \frac{4}{3}$  y para el *vidrio*  $n = \frac{3}{2}$ .

**563.—Fenómenos debidos á la refracción.**—Estamos, pues, en condición de explicarnos algunos fenómenos antes incomprensibles.

1° Si en el fondo de una vasija (*fig. 329*) ponemos una moneda *m* y colocamos el ojo *O* en una posición tal que

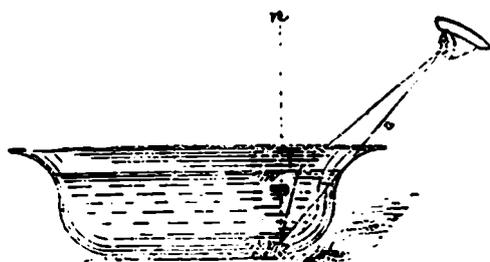


Fig. 329  
Refracción de la luz

solo podamos ver parte de la moneda, como se observa en la figura y si en seguida vertemos una cantidad de agua en la vasija, se verá *por completo* la moneda en una posición *m'* más elevada y sensiblemente

colocada sobre la vertical levantada en el punto *m*.

Este fenómeno se explica, sabiendo que los puntos de la moneda iluminada *m*, envía rayos luminosos en todas direcciones, algunos como el *m I*, al pasar del agua al aire se desviarán separándose de la normal y caerán sobre el ojo según la dirección *I O*, luego el objeto

se verá en la prolongación de estos últimos rayos como en *m*.

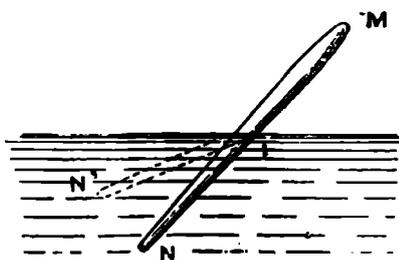


Fig. 330  
Bastón quebrado

—2° Un fenómeno análogo se tiene al introducir un bastón (*fig. 330*) en el agua, en cuyo caso, viéndose el extremo *N* en la posición *N'* más alto que el punto en que

realmente está, nos dá la apariencia de un bastón quebrado *N' I M*.

—Por la misma razón, se vé el fondo de los ríos mucho más alto de lo que es en realidad.

3° Otro fenómeno mucho más importante es el que se observa con los astros.

Supongamos tener un astro en el punto  $E$  (fig. 331). Al penetrar un rayo luminoso  $ES$  en la atmósfera, sufrirá una desviación acercándose á la normal por pasar de un medio *menos denso* á otro *más denso*, y como á medida que el rayo luminoso se acerca á la tierra va encontrando capas cada vez *más densas*, resulta que ese rayo luminoso sufrirá una serie de refracciones, hasta llegar al ojo  $A$  según el último rayo refractado  $OA$ , luego el observador colocado en  $A$  verá la estrella en la prolongación de este último rayo, es decir en  $E'$ .

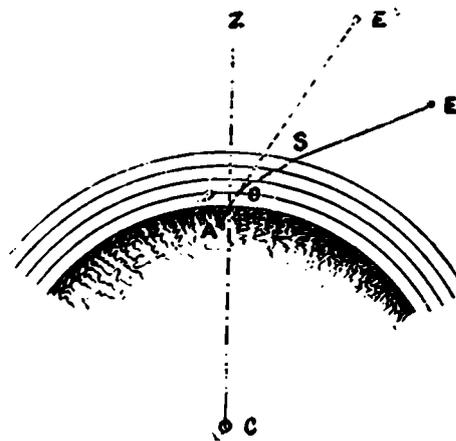


Fig. 331  
Altura aparente de un astro

—Esto constituye el *error* que se comete en las observaciones astronómicas, llamado *error de refracción*, que se corrige haciendo uso de tablas especiales, calculadas según las *alturas aparentes* del astro.

Debido á esta refracción, el sol se ve *sobre el horizonte antes* de llegar á él, y análogamente se ve en el Oeste también sobre el horizonte, *después* de haberlo pasado.

**564.—Ángulo límite.**—Hemos visto que si un rayo luminoso (fig. 332)  $LI$  atraviesa un plano de separación de dos *medios*, pasando de un medio *más denso* á otro *menos denso*, se refracta según  $IR$  formando un ángulo  $r$  *mayor* que el incidente  $i$ .

Si suponemos ahora que el ángulo de incidencia aumenta, el rayo incidente  $LI$  tomará la posición  $L'I$  y se refractará según  $IR'$  formando un ángulo de refracción *mayor* que el de incidencia, y llegará un momen-

to, como cuando está en  $L' I$  que el rayo se refractará según  $I R''$  es decir, *siguiendo la dirección del plano* de

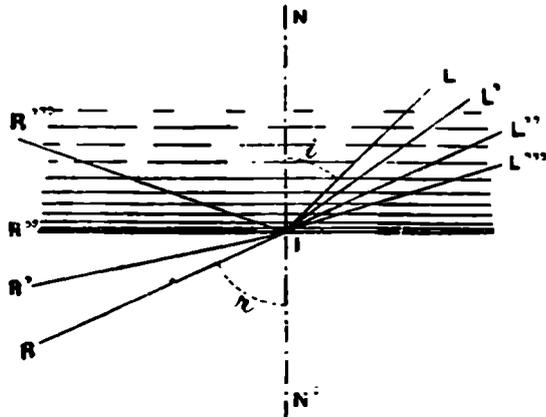


Fig. 332  
Reflexión total

separación de los dos medios.

Si finalmente consideramos un rayo  $L''' I$ , que forma un *ángulo mayor que el ángulo  $N I L''$* , el rayo luminoso que ya no pasará al segundo medio, sino que *se reflejará* y se tendrá así el fe-

nómeno de la *Reflexión total*. El ángulo de incidencia  $N I L'$  para el cual el *ángulo de refracción  $N I R'$  es recto*, toma el nombre de *ángulo límite*, es decir, ángulo pasado el cual, *no hay ya refracción sino reflexión*.

—En la fórmula

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{1}{n} \quad (1)$$

que nos da el índice de refracción cuando un rayo luminoso pasa de un medio *más denso* á otro *menos denso*, si suponemos que  $r = 90'$ , es decir que tenemos el ángulo límite, se sabe por *trigonometría* que  $\text{sen } r = 1$ , luego se tiene en la fórmula (1) que

$$\frac{\text{sen } i}{1} = \frac{1}{n}$$

ó bien

$$\text{sen } i = \frac{1}{n}$$

es decir, que *el seno del ángulo límite es inverso del índice de refracción*.

Para el *agua* el ángulo límite es  $48^{\circ}35'$ , y para el *vidrio* ordinario es  $41^{\circ}48'$ .

Debemos tener presente que *la refracción de la luz nunca es completa*, pues parte de esa luz es *reflejada*, y es por esa razón que los cuerpos transparentes como el vidrio *proyectan sombra*.

**565.--Reflexión total.**—Hemos visto en el párrafo anterior que cuando la inclinación de los rayos incidentes pasa de un cierto límite, ya no se produce el fenómeno de refracción sino el de *Reflexión total*.

Podemos comprobar experimentalmente y explicar algunos fenómenos.

1<sup>o</sup> Supongamos tener un disco flotante de corcho *T T'* (fig. 333) en cuya *base inferior* se ha colocado un alfiler *A* y que esté flotando en la superficie del agua contenida en una vasija de vidrio.

Se constata que si colocamos el ojo en un punto más arriba de la superficie del líquido, *no se ve* el alfiler, pero si colocamos el ojo en un punto *B*, el alfiler *reflejándose* en la superficie del agua, nos hará ver una imagen *A'* que parece estar colocada en la *base superior* del disco de corcho.

El alfiler *parece más largo* debido á la *refracción* que sufren los rayos luminosos en *K*, al atravesar la pared de vidrio.

2<sup>o</sup> Un *buzo* situado en *O* (fig. 334) *no podrá ver* fuera

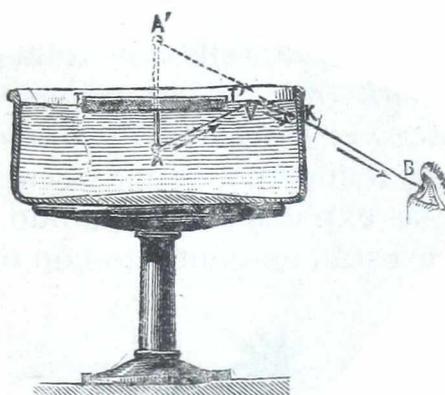


Fig. 333  
Reflexión total

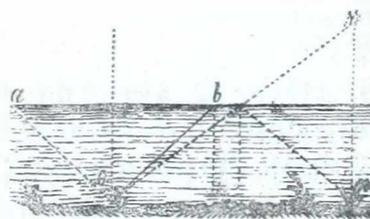


Fig. 334  
Visión desde el fondo del mar

del agua sino los objetos que están colocados *dentro de la base del cono* formados por la revolución del triángulo rectángulo determinados por la normal, á la superficie del líquido y el rayo  $o b$  que tiene la *inclinación del ángulo límite*, es decir, que verá todos los objetos comprendidos dentro de la base  $a o b$  formando las líneas  $o a$  y  $o b$  un ángulo *doble* del ángulo límite.

Fuera de esas líneas  $a o$  y  $o b$  no se verá nada, sino los objetos del *fondo* del mar como  $n$ , que se verá por reflexión total.

3º Por la reflexión total se explica el fenómeno del *Miraje* (*fig. 335*) que consiste en una *ilusión óptica* que hace ver *debajo del suelo* los objetos lejanos.

El fenómeno es más general en las llanuras arenosas y se explica reflexionando que las capas atmosféricas que están en contacto con el suelo *muy caliente*, tienen

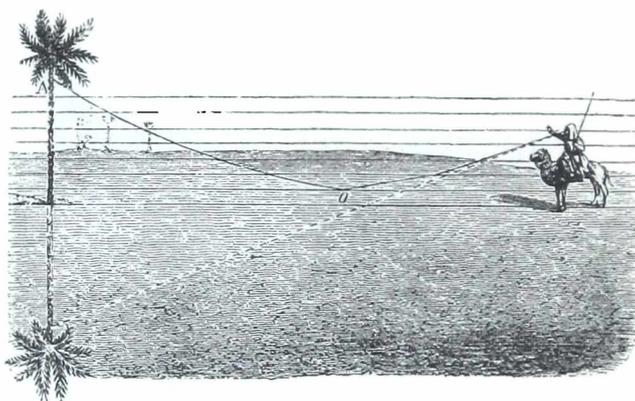


Fig 335  
Miraje

muy *poca densidad* y que esta densidad va aumentando de abajo hacia arriba.

Entonces un rayo luminoso que parte de la copa de un árbol, por ejemplo, sufrirá una serie de refracciones pasando de un medio *más* á otro *menos* denso, luego el rayo luminoso se irá cada vez apartando más de la normal, hasta que llegará un momento en que el rayo luminoso incidirá sobre una capa *con un ángulo mayor que*

el ángulo límite como en  $O$ , y entonces se verificará el fenómeno de la *reflexión total*, siguiendo desde ese momento el rayo luminoso una marcha *inversa á la primitiva* y por consiguiente el observador verá la imágen del objeto en la prolongación del *último rayo refractado*, produciendo la ilusión de que ese árbol se refleja sobre un lago.

Un fenómeno análogo se verifica en el mar en cuyo caso las capas más densas son las inferiores

**566.—Construcción del rayo refractado.**—Supongamos tener un rayo luminoso  $LI$  cuyo ángulo de incidencia  $i$  es conocido, y supongamos que también se nos ha dado el índice de refracción  $n$ .

Imaginemos (*fig. 336*) por el punto de incidencia  $I$  la recta  $IA$  perpendicular á la  $LI$ , y en seguida tracemos una línea  $AB$  que manteniéndose *paralela* á  $LI$ , tenga una *longitud igual á la unidad* (arbitraria), conservando sus extremos sobre la línea  $IA$  y sobre la línea  $IB$  de separación de los dos medios.

Haciendo centro en  $I$  tracemos una semi-circunferencia con un radio  $IC = \frac{1}{n}$  y por el punto  $B$ , tracemos la tangente  $BC$ .

Unamos el punto de incidencia  $I$  con el punto de tangencia  $C$ , y tendremos que  $IC$  es el *rayo refractado*.

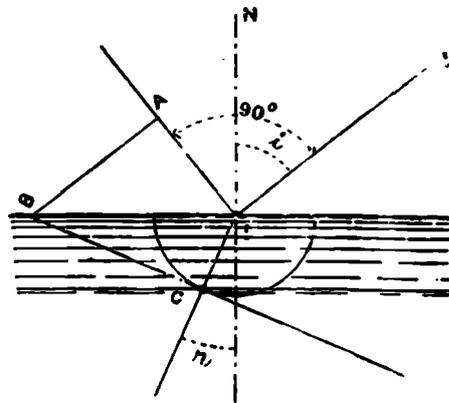


Fig. 336  
Construcción del rayo refractado

**567.—Marcha de un rayo de luz que atraviesa un medio terminado por planos paralelos.**—Supongamos en  $L$  un punto luminoso que debemos ver á través de un *vidrio* por ejemplo.

Si nos colocamos en  $L''$  (*fig. 337*), de modo que la línea  $LL''$  sea *normal* al espejo, la luz que parte de  $L$  llegará al ojo  $L''$  *sin sufrir* ninguna *desviación*, luego veremos el punto  $L$  en su verdadera posición.

Pero si imaginamos un rayo luminoso  $LI$  *oblicuo* al

vidrio, este rayo se refractará en  $I$  acercándose á la

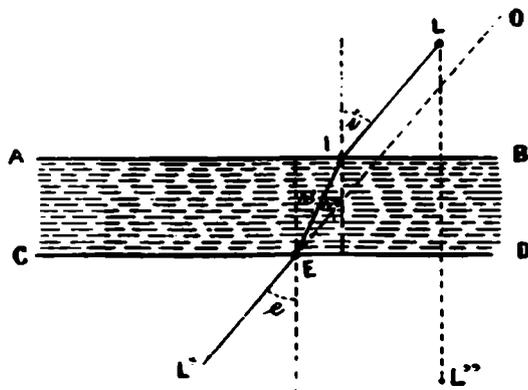


Fig. 337

Marcha de un rayo de luz en un medio de caras paralelas

normal, llegará á la cara  $CD$  y allí sufrirá una segunda refracción alejándose de la normal y emergerá según  $E L'$  en una dirección paralela á la dirección  $L$ ,  $I$  es decir, que nosotros veremos el objeto luminoso en la dirección  $L'$ ,

$O$  ó bien que el objeto tendrá un *desplazamiento aparente*, debido á las dos refracciones sufridas.

Si en vez de *un medio* fueran varios, el desplazamiento sería igual á la suma algebraica de los desplazamientos producidos en cada lámina.

**568.**—Para demostrar que las líneas  $L I$  y  $E L'$  son paralelas debemos recordar que en  $I$  el rayo luminoso sufre una *primera refracción* cuyo índice es

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} \quad (1)$$

Análogamente en  $E$  se verifica una *segunda refracción*, cuyo índice será

$$\frac{\text{sen } r'}{\text{sen } e}$$

Pero el *índice* de refracción del vidrio con respecto al aire es *igual* al *índice invertido* del aire con respecto

al vidrio, luego invirtiendo la (1) sale

$$\frac{\text{sen } r}{\text{sen } i} = \frac{\text{sen } r'}{\text{sen } e}$$

pero el ángulo  $r = r'$  porque los dos normales son paralelas, luego  $\text{sen } r = \text{sen } r'$  y por consiguiente los denominadores también son iguales, luego

$$\text{sen } i = \text{sen } e$$

de donde

$$i = e$$

es decir, que *ángulo de incidencia y el de emergencia son iguales*, luego las rectas  $LI$  y  $EL'$  son paralelas.

**569.—Reflexiones múltiples en los espejos amalgamados.**—Si sobre un espejo de vidrio amalgamado colocamos una vela, y miramos la imagen oblicuamente al espejo, veremos *varias imágenes* de distinta intensidad.

Para comprender este fenómeno, supongamos tener un espejo  $LI$  (fig. 338) donde la cara inferior  $L'$  está amalgamada y coloquemos delante de él un punto luminoso  $a$ .

Consideremos un rayo luminoso  $an$ , el cual se reflejará en parte sobre la cara  $L$  y nos dará una imagen  $a'$ , pero la mayor parte del rayo luminoso habrá penetrado en el vidrio según el rayo refractado  $nB$ , el que se reflejará sobre la cara amalgamada  $L'$  según el rayo  $Bn$ .

Allí parte de él se reflejará según  $Nb'$  y la mayor parte emergerá según  $N'R$  y nos hará ver una segunda imagen  $A$  del objeto  $a$ .

Análogamente se tendrán las imágenes  $a''$ ,  $a'''$ ...

La segunda imagen  $A$  es la más intensa, y las otras van cada vez siendo más débiles, á medida que se alejan del espejo.

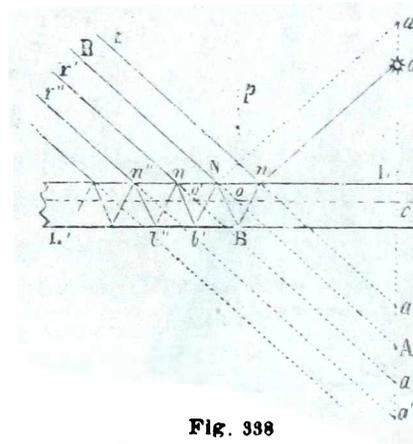


Fig. 338  
Espejo amalgamado

## CAPÍTULO VIII

## PRISMAS

**570.—Definiciones.**—Toma el nombre de *prisma* todo medio transparente, comprendido entre dos caras no paralelas, es decir, que forma un cierto ángulo.

Así el medio limitado por las dos caras oblicuas entre sí,  $AB$  y  $CD$  (fig. 339) constituye un prisma.

Al ángulo  $AOD$  que forman las dos caras oblicuas, toma el nombre de *ángulo refringente*.

La línea intersección de las dos caras oblicuas  $AB$  y  $CD$  toma el nombre de *arista ó vértice* del prisma y

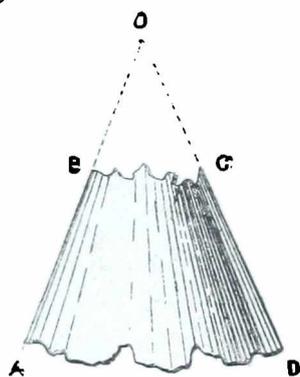


Fig. 339

Prisma

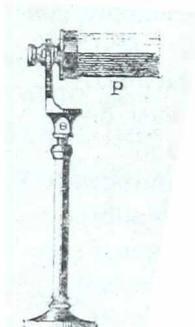


Fig. 340

una sección  $ABCD$ , perpendicular a la arista, toma el nombre de *Sección principal*.

La cara  $AD$  opuesta a la arista, constituye la *Base* del prisma.

Esta base puede ser plana, curva, etc., transparente ó opaca, es decir, que no desempeña rol alguno en el estudio del prisma.

En los gabinetes, generalmente, se usa el *prisma triangular* (fig. 340) tal cual se define en geometría, el que se sostiene con un pie por medio de una armadura que permite comunicarle movimientos en todos sentidos.

571.—**Marcha de un rayo luminoso en un prisma.**—Consideremos un *punto luminoso L* (fig. 341) y un rayo luminoso *L I* que incide en un punto *I*. Si suponemos que el punto luminoso está en el *aire* y que el prisma es de *vidrio*, el rayo luminoso penetra en el prisma formando el ángulo de refracción *r* menor que el ángulo de incidencia *i*, pues pasa

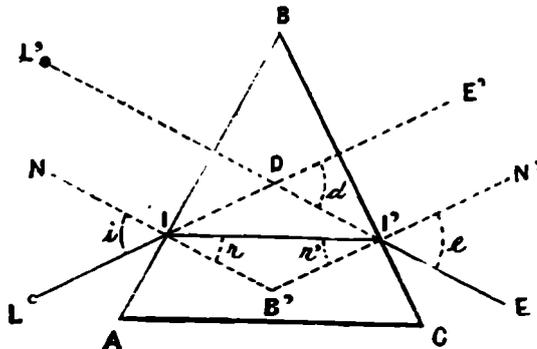


Fig. 341  
Marcha de un rayo en un prisma

de un medio *menos denso* á otro *más denso*, luego seguirá una dirección *I I'* que estará dada por la ecuación

$$n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$$

Una vez que el rayo luminoso ha llegado á *I'* pasa de un medio *más denso* á otro *menos denso*, luego forma un ángulo de incidencia *r'* menor que el de refracción *e*, y la *dirección* del rayo *I' E* estará dado por la relación

$$\frac{\text{sen } r'}{\text{sen } e} = \frac{1}{n}$$

Luego el rayo luminoso *L I* habrá atravesado el prisma siguiendo la línea quebrada *L I I' E* y por consiguiente el ojo colocado en *E* verá al punto luminoso *L* en la dirección del rayo *emergente I' E* es decir, en *L'* cuyo punto constituye el *foco virtual* del punto *L*.

De aquí deducimos que *cuando* el rayo incidente está comprendido en el ángulo recto *A I N*, el rayo emer-

gente se *acercas á la base*, luego el objeto se ve *elevado*, es decir, hacia el vértice del prisma.

572.—El ángulo  $L D L'$  ó el  $E D E'$  constituye el *ángulo de desviación* del prisma.

Ya veremos que el *ángulo de desviación* varía con el *ángulo refringente*, con el *índice de refracción* del prisma y con el *ángulo de incidencia*.

573.—**Fórmulas del prisma**—Consideremos el caso de la *fig. 318*: sabemos que entre los ángulos de incidencia y refracción se tienen las relaciones

$$(1) \quad \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = n$$

$$(2) \quad \frac{\text{sen } e}{\text{sen } r'} = n$$

que son ya *dos fórmulas del prisma*.

—Se tiene además en el triángulo  $I' I B'$  que el ángulo

$$(\alpha) \quad B' = 180 - (r + r')$$

Pero en el cuadrilátero  $I B' I B$  se tiene

$$B + I + I' + B' = 360''$$

pero como los ángulos del *cuadrilátero*  $I é I'$  son *rectos*, resulta

$$B + 90'' + 90'' + B' = 360''$$

es decir

$$B + B' - 360 = 180$$

ó bien

$$B + B' = 180$$

de donde

$$(\beta) \quad B' = 180 - B$$

y comparando esta ecuación y la  $(\alpha)$  resulta

$$180 - B = 180 - (r + r')$$

de donde sale

$$(3) \quad B = r + r'$$

que es una *tercera fórmula del prisma*.

—Finalmente, consideremos el ángulo  $LDI'$  de *desviación*, el cual siendo *externo* con respecto al triángulo  $DI I'$  nos da

$$D = DII' + II'D$$

pero

$$DII' = i - r$$

y

$$II'D = e - r'$$

luego

$$D = (i - r) + (e - r')$$

de donde

$$D = i + e - (r + r')$$

y teniendo presente la ecuación (3) sale

$$(4) \quad D = i + e - B$$

que es la *cuarta fórmula del prisma*.

**574.—Ángulo de desviación.**—Con estas cuatro ecuaciones que son las fórmulas del prisma, puede obtenerse el *ángulo de desviación*, conociendo el ángulo refringente  $B$ , el índice  $n$  y el ángulo de incidencia  $i$ .

Efectivamente sustituiríamos el valor de  $i$  y de  $n$  en la (1) y *deduciríamos el valor de  $r$* .

Este valor de  $r$  y el de  $B$  lo sustituiríamos en la (3) y *sacaríamos el valor de  $r'$* , el cual sustituido en la (2) *nos daría el valor de  $e$* .

Deduciendo este valor y sustituyéndolo en la (4) se obtendría *el valor  $D$  del ángulo de desviación*.

Vemos, pues, que el ángulo de desviación *varía* con el variar de  $B$ ,  $n$ , é  $i$ .

**575.—Verificación experimental.**—Esto puede comprobarse experimentalmente con el *Poliprisma* y *prisma á ángulo variable*.



Fig. 342  
Poliprisma

1<sup>o</sup> *Variación de  $n$ .*—Para demostrar que el *ángulo de desviación* varía con el *índice de refracción* del prisma, nos bastará tomar el *poliprisma* (fig. 342) que consiste en un prisma compuesto de *varios* prismas con el *mismo ángulo refringente* unidos uno á continuación del otro por sus secciones principales y compuestos de *diferentes sustancias* como *vidrio, cristal de roca, sal gema, etc.*, que son *desigualmente refringentes*, es decir, que tienen *distinta índice de refracción*.

Si se *mira* una línea recta al través de ese prisma, se verá las distintas partes de la línea á *diferentes alturas*, lo cual nos prueba que *cada prisma* tiene un ángulo de desviación *distinta*.

Se comprueba también que  $D$  crece al crecer  $n$ .

576.—2<sup>o</sup> *Variación de  $B$ .*—Para demostrar la variación de  $D$  con el variar de  $B$ , haremos uso del *prisma á ángulo variable* (fig. 343)

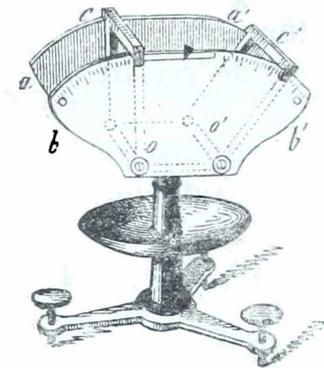


Fig. 343  
Prisma á ángulo variable

que como vemos, consiste en dos placas de vidrio  $o c$  y  $o' c'$  que pueden girar al rededor de dos charnelas conservándose siempre ajustadas á dos chapas de cobre  $a a'$  y  $b b'$ , de manera que formen un prisma, cuyas caras  $c o$  y  $c' o'$  pueden *variar* su inclinación.

Vertiendo agua ó cualquier líquido transparente dentro de ese prisma, y haciendo pasar á través de él un rayo luminoso que caiga sobre una de las caras de vidrio, ese rayo luminoso se desviará y podrá recibirse sobre una pantalla.

Moviendo una de las caras, se verá que *también se mueve* la imágen en la pantalla, luego, *variando* el ángulo, *varía* la desviación.

Se comprueba que *aumentando B* aumenta *D*.

**577.—Variación de  $i$ .**—Se verifica experimentalmente, que *D* *varía con el ángulo de incidencia  $i$* , haciendo penetrar un haz de luz en una cámara oscura (*fig. 344*) y recibéndolo en *C* sobre una pantalla.

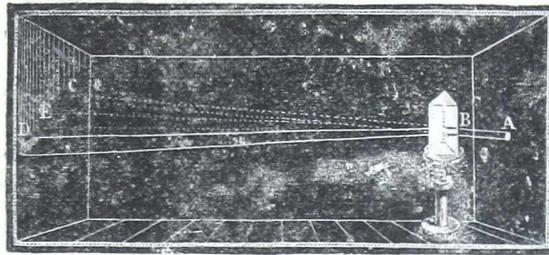


Fig. 344  
Mínimum de desviación

Si interpone mos en el camino del haz

luminoso un prisma vertical, veremos que el haz habrá sufrido una desviación y ya no se verá la proyección en *C*, sino en *D*, haciéndose visible la marcha quebrada de los rayos por la iluminación del polvo que está en el aire.

Si *disminuimos* el ángulo *i* *girando el prisma*, veremos que el haz luminoso se proyectará acercándose cada vez más á la proyección *C*, pero llegará á una cierta posición *E* en que si seguimos *disminuyendo* el ángulo *i*, no seguirá esa proyección *E* acercándose á *C*, sino que se *alejará* de él.

Luego hemos tenido una posición *E* que nos da *la menor distancia* á que puede llegar el rayo refractado, por más que se aumente ó disminuya el ángulo de incidencia de la proyección *C* del haz luminoso recibido directamente.

**578.—Mínimum de desviación.**—El experimento anterior nos ha demostrado no sólo que la desviación *varía con el ángulo de incidencia*, sino que hay un *mínimum de desviación*, el cual no se puede pasar.

Esta posición en la que se obtiene el *mínimum de desviación*, suele llamarse *posición newtoniana*, en honor á *Newton*, que fué el primero que halló el *mínimum de desviación*.

Se comprueba también que se verifica la desviación mínima, cuando  $i = e$ , es decir, cuando el *ángulo de incidencia es igual al de emergencia*.

**579.—Prisma de reflexión total.**—Discutiendo lo que hemos establecido anteriormente, se demuestra que *un rayo luminoso que atraviesa una cara de su prisma no puede salir ó atravesar la otra cara, sino cuando el ángulo refringente  $B$  es menor que el doble del ángulo límite de la sustancia del prisma.*

Pero como el *ángulo límite*  $\theta$  y el índice de refracción  $n$  están ligados por la relación

$$\text{sen } \theta = \frac{1}{n}$$

resulta que variando el índice de refracción  $n$ , es decir, *variando la sustancia*, también varía el *ángulo refringente del prisma*.

Si se tuviera

$$B > 2\theta$$

no habría refracción, sino *reflexión total* sobre la *segunda cara* del prisma.

—Como el *ángulo límite del vidrio* es  $41^{\circ}48'$ , resulta, que si tenemos un prisma de esta sustancia cuyo *ángulo refringente* sea mayor que

$$2 \times 41^{\circ}48' = 83^{\circ}36'$$

ya tendremos un *prisma de reflexión total*.

Generalmente se construyen prismas *rectangulares*,

es decir, prismas cuya sección (*fig. 345*) es un triángulo rectángulo é isóceles  $A B C$ .

Efectivamente un rayo luminoso  $L I$  que cayera perpendicularmente á la cara  $B C$ , formaría un ángulo de

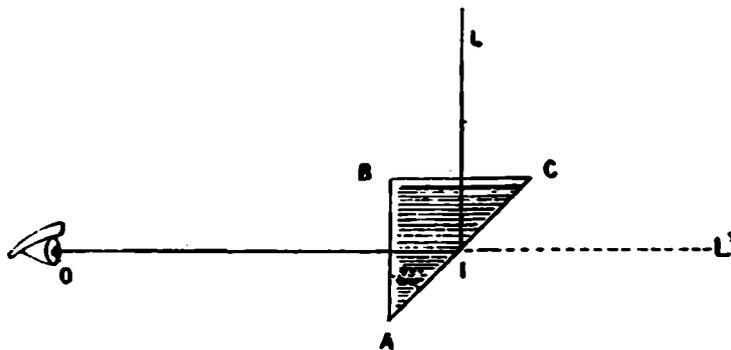


Fig. 345  
Prisma de reflexión total

incidencia con la base  $A C$  de  $45^\circ$ , que es *mayor* que el ángulo límite  $41^\circ 48'$ , luego se reflejaría *totalmente*, y el ojo colocado en  $O$  vería en  $L'$  la imagen del objeto  $L$ .

Si el rayo  $L I$  se *acercara* más á la dirección  $C A$ , es decir, á la base, mayor sería el ángulo de incidencia y siempre se tendría la reflexión total.

Ya veremos que esta propiedad tiene continuas aplicaciones.

**580.—Doble refracción.** - Este fenómeno fué observado por primera vez por *Bartolino* en 1647 y veinte años después *Huyghens* estableció sus leyes.

La *doble refracción* consiste en el fenómeno que presentan algunos cuerpos como el *Espato de Islandia* de hacer ver *dobles los objetos* que se miran á través de ellos.

Los cuerpos que gozan de esta propiedad toman el nombre de *Birefringentes*.

Este fenómeno es muy notable en el *espato de Islandia*, que es un mineral cristalizado en forma romboédri-

ca, muy transparente é incoloro, cuya composición es *carbonato de cal* con trazas de *protocido de manganeso*.

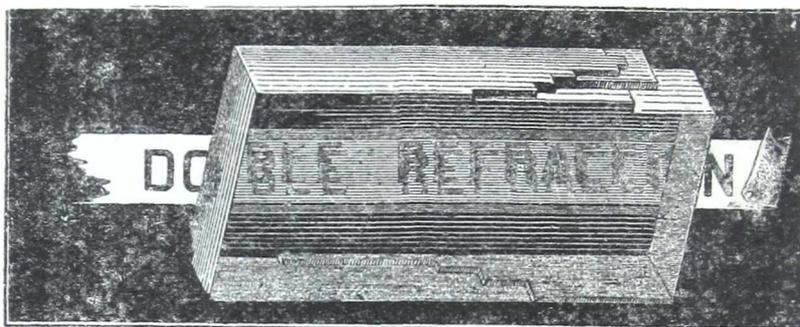


Fig 346  
Doble refracción

Colocado este cristal sobre una línea escrita, cada letra aparece *doble y menos negra* (fig. 346) que el original. *No hay absorción de luz*, pues en los puntos en que dos letras se superponen, se ve que el color tiene la misma intensidad.

Una *línea recta* se ve como dos rectas paralelas y un *punto* cualquiera se ve *doble* también.

Ha habido, pues, una *bifurcación* de los rayos luminosos, en el interior del cristal.

581.—Miremos un *punto*, y hagamos *girar el cristal* sobre sí mismo, y se verá que uno de los puntos queda *fijo* y que el otro *gira* alrededor de él.

Una de las imágenes se vé siguiendo las *leyes de la refracción*, y la otra no. La primera se llama *imagen ordinaria* y la segunda *imagen extraordinaria*.

Si el rayo incidente es *paralelo al eje óptico* del cristal, que es la línea que une dos vértices formados por tres ángulos obtusos de los rombos, *no hay doble refracción*.

## CAPÍTULO IX

## LENTES

**582.—Definiciones.**—Se llama *lente* cualquiera *masa transparente* terminada por lo menos, de un lado por una superficie curva, que puede ser *esférica, parabólica, elíptica, etc.*

Nosotros sólo estudiaremos los *lentes esféricas, cóncavos y convexos*, según sea la superficie esférica que los limite.

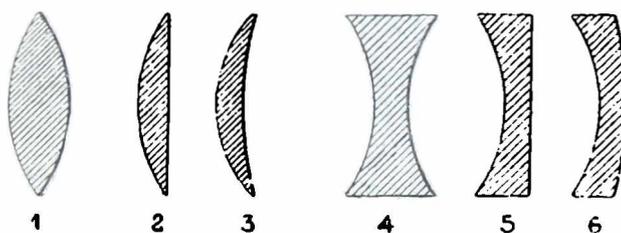


Fig. 347  
Lentes

Como los lentes pueden ser limitados por *una* cara plana, resulta que se pueden construir los *seis tipos* de lentes indicados en la *fig. 347*, formando *dos series*, los *tres primeros* llamados lentes *convergentes* y los otros *tres* que toman el nombre de lentes *divergentes*.

El nombre especial de cada uno de ellos, por orden en que están en la figura es el siguiente:

- 1º *Biconvexo.*
- 2º *Plano-convexo.*

3° *Cóncavo-convexo convergente ó menisco convergente.*

4° *Bicóncavo.*

5° *Plano cóncavo.*

6° *Cóncavo-convexo divergente ó menisco divergente.*

En los lentes *cóncavo-convexos* divergentes ó convergentes, se tienen dos superficies esféricas de *radio distinto*.

—Es fácil conocer prácticamente á qué serie pertenece un lente, pues nos bastará observar que los *lentes convergentes*, son siempre *más gruesos en el centro* que en los bordes, y que los *lentes divergentes* son *más delgados en el centro* que en los bordes.

**583.**—Los *centros* de las superficies esféricas toman el nombre de *centros de curvatura*, y la línea que une los dos centros es el *Eje principal*.

Cuando se trata de lentes *plano-convexas*, el eje principal es la perpendicular á la cara plana y que pasa por el centro de curvatura de la otra cara.

De lo dicho se deduce, que el *eje principal* atraviesa á los lentes *convergentes* en los puntos de mayor espesor.

Se llama *sección principal* de un lente toda sección hecha por un plano que pasa por el eje principal, y nosotros al estudiar los lentes, sólo consideraremos el caso en que los rayos luminosos estén situados sobre ese plano.

**584.**—Podemos suponer que las superficies esféricas de los lentes estén formados por un infinito número de elementos planos, infinitamente pequeños y *perpendiculares ó normales* á los radios de cada uno de esos puntos, por lo tanto las normales de cada punto del lente *convergen al centro de curvatura*.

Entonces, considerando que los elementos planos donde inciden y emergen los rayos luminosos tendrán siem-

pre una cierta inclinación, *podemos considerar á los lentes como formados por una serie de prismas unidos por sus bases* que estarán dirigidas hacia el eje principal, si se trata de lentes *convergentes*, y dirigidas en sentido contrario, si se trata de lentes *divergentes*.

Recordando la marcha de un rayo luminoso al atravesar un prisma, se comprende que los lentes de la primera serie deben hacer *converger* los rayos refractados hacia el eje principal y los lentes de la segunda serie deben hacerlo *diverger*.

Sólo nos ocuparemos de los lentes *biconvexos*, y de los *bicóncavos*, aplicándose á la primera serie de lentes lo que digamos del lente *biconvexo* y á los de la segunda serie lo que se diga del *bicóncavo*.

**585.—Foco principal de los lentes biconvexos.**—Se llaman *focos* de un lente, los puntos donde *concurren* los rayos refractados ó sus prolongaciones.

Supongamos tener un lente *AB* (*fig. 348*), é imaginemos que sobre él cae un rayo luminoso *LI* paralelo al eje principal, es decir, un rayo luminoso que viene del infinito.

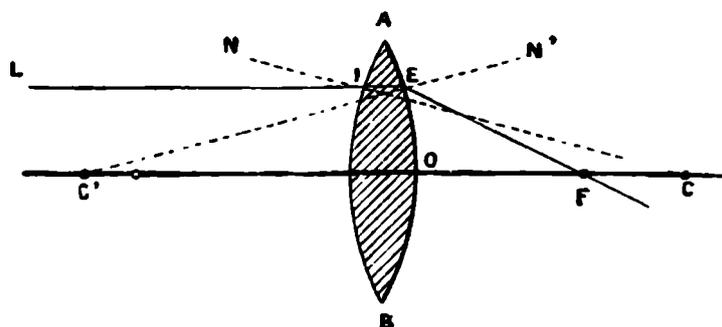


Fig. 348  
Foco principal

Siendo *C* el *centro de curvatura* de la cara *AI B*, resultará que *CN* será *la normal* del punto *I*, y como el rayo *LI* pasa del aire al vidrio, es decir, de un medio *menos* á otro *más denso*, se refractará según *IE* *acercándose á la normal*.

Llegado á  $E$  y siendo  $C' N'$  la normal del punto  $E$ , el rayo luminoso se refractará según  $E F$ , alejándose de la normal, por pasar el rayo de un medio *más* á otro *menos* denso, y vendrá á cortar el eje principal en el punto  $F$ , que es el foco principal del lente, y la distancia  $O F$  del foco al lente, se llama *distancia focal principal*.

—Se comprueba que *todos* los rayos paralelos al eje principal se refractan y pasan (*fig. 349*) por ese mismo foco  $F$ .

Esto se verifica *experimentalmente*, exponiendo un

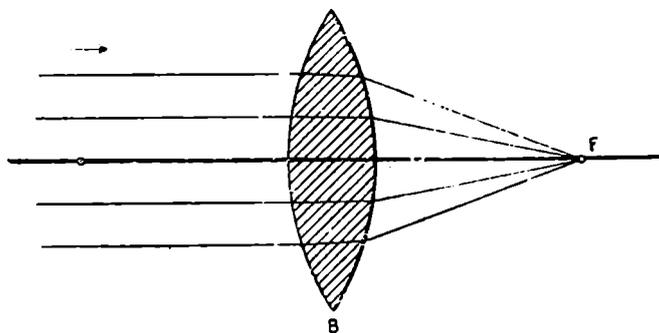


Fig. 349  
Foco principal

lente al sol colocando un diafragma detrás del lente y moviéndolo hasta encontrar una posición en que la *imagen* del sol se convierta en un *punto muy brillante*.

Si se pone el *foco luminoso en el foco principal*, los rayos serán emitidos *paralelamente al eje principal*.

**586.—Cáustica por refracción.**—Cuando el lente es de una *gran abertura*, no todos los rayos paralelos al eje principal caen en el foco principal. Los rayos que están más cerca del borde (*fig. 350*) irán á cortar el eje principal entre el foco y el lente, dando lugar á una superficie curva iluminada que toma el nombre de *cáustica por refracción* y este error de la *no coincidencia* de todos

los rayos en el foco principal constituye la *aberración de esfericidad*.

Para disimular en los instrumentos ópticos este error que produce poca nitidez en las imágenes, se suele *tapar el borde* de los lentes por medio de un diafragma ó pantalla.

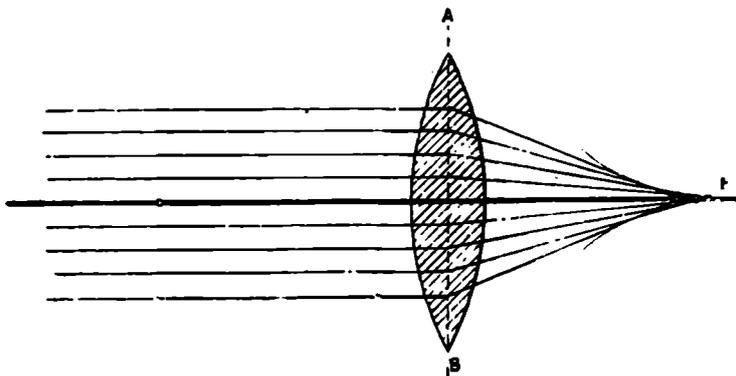


Fig. 350  
Aberración de esfericidad

Para facilitar las construcciones de las figuras, supondremos que un rayo de luz que atraviesa un lente no sufre más que una refracción sobre el plano  $AB$  que pasa por su borde.

En los lentes ordinarios, *el foco principal coincide sensiblemente con el centro* de la curvatura.

**587.—Foco conjugado.**—Si consideramos un foco luminoso  $L$  (*fig. 351*) colocado á una *distancia finita*, sobre el eje principal y al otro lado del foco  $F$ , los rayos luminosos que partiendo de  $L$  caen sobre el lente, *serán divergentes* y por consiguiente formarán un *ángulo de incidencia mayor* que el ángulo de incidencia que formaban los rayos paralelos al eje principal, luego también formará un *ángulo de refracción mayor*, y por consiguiente el foco  $l$  se formará más allá que el foco principal  $F$ .

Este punto  $l$  es el *foco conjugado* del punto luminoso  $L$  y si transportamos el punto luminoso á  $l$ , *el foco con-*

*jugado se formará en L*, es decir, que los rayos luminosos seguirán una dirección inversa.

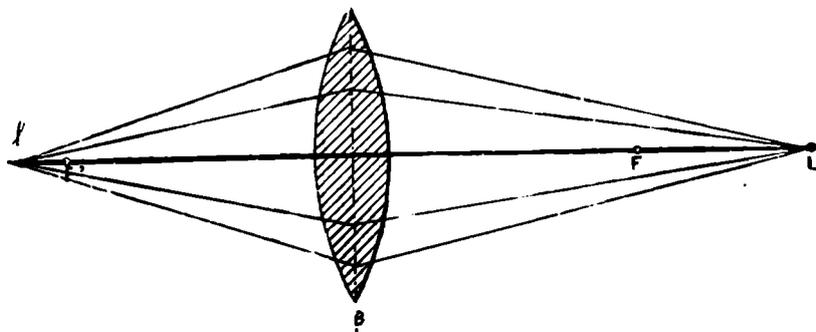


Fig. 351  
Foco conjugado

A medida que el punto luminoso *se acerca* al foco principal, el foco conjugado *se aleja*, hasta que cuando el punto luminoso llega al foco, la imágen se formará en el *infinito*, cosa que ya habíamos dicho antes.

**588.—Foco virtual.**—Cuando el punto luminoso *L* está entre el lente y el foco principal, (*fig. 352*), los rayos

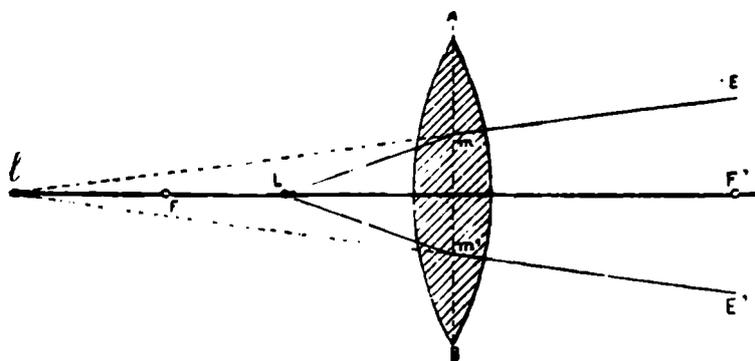


Fig. 352  
Foco virtual

*L m* y *L m'* después de pasar por el lente emergerán *divergentes* como se ve en *m E* y *m' E'*, es decir, *no se encontrarán*.

Pero podemos hacer que converjan *sus prolongaciones*, que se encontrarán en un punto *l* colocado sobre el eje principal, que es el *foco virtual* del punto *L*, y colocado con respecto al lente del mismo lado que él.

*Es virtual*, porque está formado por las *prolongaciones* de los rayos refractados, y *no se puede recibir sobre una pantalla* como sucede en los casos anteriores.

**589.—Centro óptico.**—Sean *C* y *C'* los centros de curvatura de las caras del lente, y consideramos *dos planos tangentes* al lente y *paralelos* entre sí, cuyas trazas sean *m n* y *p q* (fig. 353).

Imaginemos las dos normales *C N* y *C' N'* á los dos planos tangentes, y entonces estas normales *deberán ser*

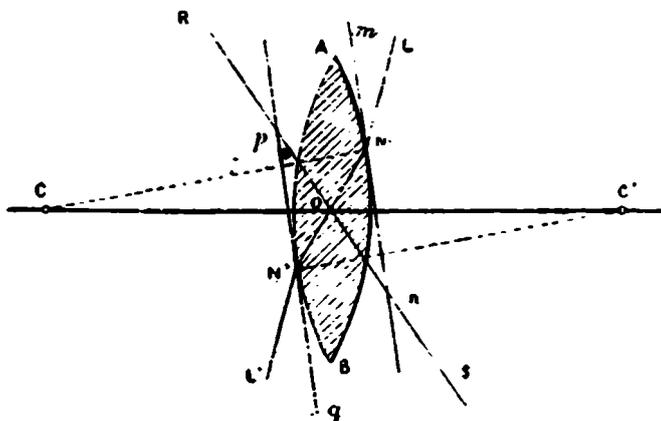


Fig. 353  
Centro óptico

*paralelas* y por consiguiente las rectas *C C'* y *N N'* estarán en ese mismo plano y *se cortarán* en un punto tal como *O*.

—*Si la curvatura* de las dos caras *es igual*, es decir, si los *radios son iguales*, los dos triángulos *C N O* y *C' N' O'* también serán iguales, luego

$$C O = C' O$$

es decir, *que el centro óptico estará entre las dos caras, á igual distancia de ellas.*

—Si los radios de curvatura *no son iguales*, los triángulos  $CNO$  y  $C'N'O$  serán semejantes y el punto  $O$  estará dado por la relación

$$\frac{CN}{C'N'} = \frac{CO}{C'O}$$

**590.**—En *todos* los lentes, se obtendrá gráficamente el *centro óptico*, trazando dos radios paralelos y uniendo sus extremos, el punto en que esta línea encuentra al eje principal, será el centro óptico.

En un lente *biconvexo*, el centro óptico está *dentro* del lente.

En el *plano-convexo*, está en el punto en que el eje principal corta á la cara curva.

En el *menisco convergente* el centro óptico está fuera del lente y detrás de la cara convexa.

**591** —Si consideramos un rayo luminoso  $LN$  que se refracte según  $NN'$ , el rayo emergente  $N'L'$  será *paralelo* al *incidente*, pues siendo los planos  $mn$  y  $pq$  *paralelos*, el rayo emergente  $N'L'$  hará ver el objeto desplazado *lateralmente*.

Como el espesor del lente es muy pequeño, puede considerarse ese desplazamiento lateral como *nulo*.

Entonces puede decirse que todo rayo como  $RS$ , que pasa por el centro óptico, *no sufre refracción*.

Todo rayo que pasa por el centro óptico de un lente, se llama *Eje Secundario*.

**592.**—**Ejes Secundarios.**—Ya dijimos como se determinan los focos de los puntos luminosos colocados sobre el eje principal.

Consideremos ahora que el punto luminoso esté fuera del eje principal como  $L$  (*fig. 354*).

Entonces de los infinitos rayos que parten del punto  $L$ , elegiremos dos y aquel punto en donde se encuentren esos rayos después de atravesar el lente, será el *foco conjugado* del punto  $L$ .

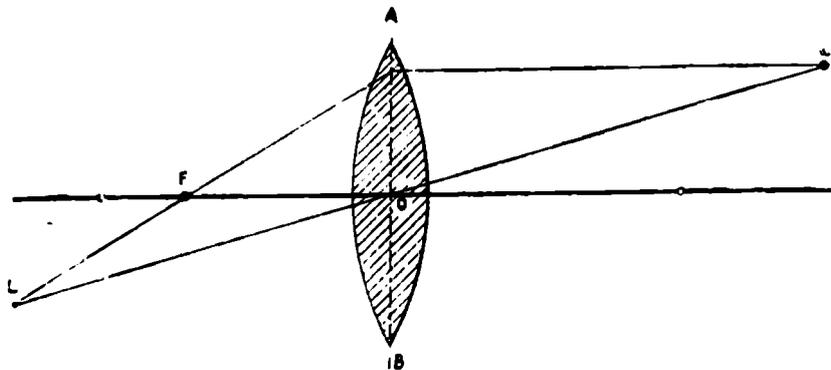


Fig. 354  
Foco conjugado

Elegiremos los dos rayos más fáciles de trazar, como el  $L I$  paralelo al eje principal, que al refractarse según  $I F$  pasa por el foco principal y el rayo  $L O$  que pasando por el centro óptico no sufre refracción sensible, el punto  $L'$  donde se encuentran, será el *foco con-*

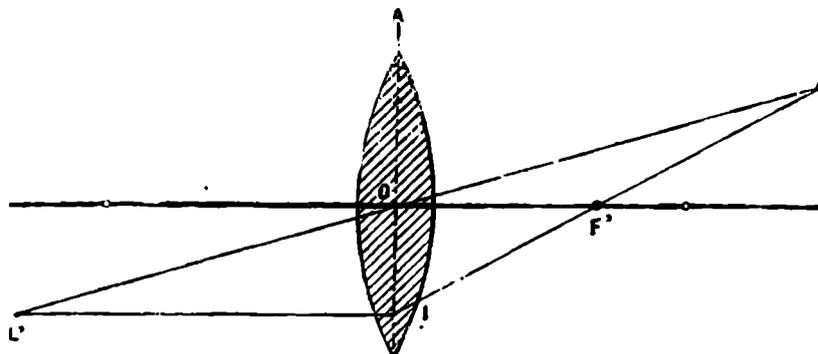


Fig. 355  
Imágen de un punto

*jugado* del punto  $L$ , los dos puntos se hallan colocados sobre un mismo eje secundario.

593.—Para esta construcción, puede usarse el rayo  $L I'$  que (*fig. 355*) pasa por el foco principal, el cual se

refractará *paralelamente* al eje principal según  $IL'$  y el punto  $L'$  donde encuentra al eje secundario  $LL'$ , será el foco conjugado del punto  $L$ .

**594.—Imágenes reales de los objetos.**—Sabiendo determinar la imagen de *un punto*, nos será fácil determinar la imagen de *un objeto*, pues nos bastará determinar la de varios de sus puntos.

Respecto á la posición que puede ocupar el objeto con respecto al lente, pueden considerarse *seis casos*.

1º Que el objeto *esté en el infinito*.

1' Que esté á una *distancia finita y mayor que el doble* de la distancia focal principal.

3' Que esté á una *distancia igual al doble* de la distancia focal principal.

4' Que esté á una *distancia menor que el doble* de la distancia focal.

5' Que el objeto *esté en el foco principal*.

6º Que esté á una *distancia del lente, menor* que la distancia focal.

**595.—Primer caso.**—*Si el objeto está en el infinito*, como una estrella por ejemplo, los rayos se pueden suponer *paralelos* al eje principal, y entonces la imagen se convertirá en *un punto*, que es el foco principal.

La imagen *es real*, pues se puede recibir en una pantalla donde dará un punto muy brillante.

**596.—Segundo caso.**—Si el objeto  $AB$  (*fig 356*) está colocado á una distancia *mayor* que  $2f$  siendo  $f$  la *distancia focal principal*, determinaremos la imagen de los puntos  $A$  y  $B$  como ya hemos indicado, para lo cual nos bastará trazar el *eje secundario*  $AO$  del punto  $A$ . Prolongarlo, trazar un rayo  $AI$  *paralelo* al eje principal que refractándose seguirá la dirección  $IF$  que pasa por el foco.

El punto  $a$  en que este rayo  $IF$  prolongado encuentra

el eje secundario  $A O$  del punto  $A$ , nos dará la imagen del punto  $A$ .

Análogamente determinaremos la imagen  $b$  del punto  $B$ , luego, en  $a b$  se tendrá la imagen del objeto  $A B$ .

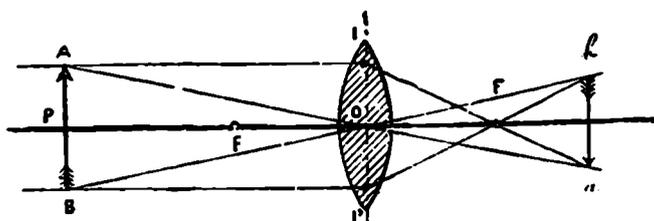


Fig. 356  
Imágen de un objeto

Como vemos, esta imagen es *real, invertida y menor* que el objeto, y está colocada a una distancia menor que el doble de la distancia focal principal.

**597.—Tercer caso.**—Cuando el objeto está a una *distancia* del lente, *doble de la distancia focal principal* (fig. 357) haremos la misma construcción que antes, es decir, determinaremos primeramente la imagen  $a$  del

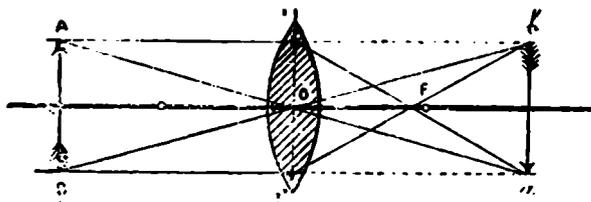


Fig. 357  
Imágen de un objeto

punto  $A$  y enseguida la imagen  $b$  del punto  $B$ .

Tendremos así la imagen  $a b$  del objeto  $A B$ , la cual será *real, invertida del mismo tamaño* que el objeto y colocada a una distancia del lente, *también igual al doble de la distancia focal principal*.

**598.—Cuarto caso.**—Si el objeto  $A B$  (fig. 358) está colocado *entre el foco principal* y el doble de la distancia focal principal, haciendo la misma construcción que an-

tes, tendremos á la imágen  $ab$  del objeto  $AB$ , la que será *real, invertida, de mayor tamaño* que el objeto y colo-

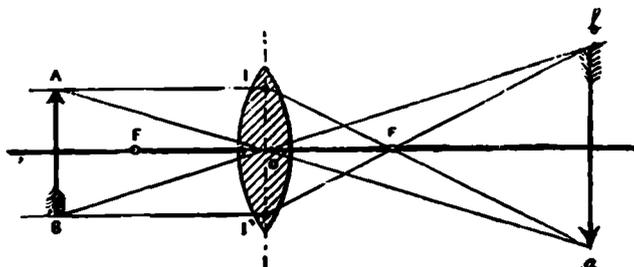


Fig. 358  
Imágen de un objeto

cada á una *distancia mayor que el doble* de la distancia focal principal.

**599.---Quinto caso.**—Cuando el objeto está en el foco principal, *no hay imágen*, porque (fig. 359) el rayo refractado  $IF$  es paralelo al eje secundario  $AO$  y por consiguiente no se encontrarán sinó en el infinito, y como lo mismo sucederá con respecto al punto  $B$ , resulta que la imágen

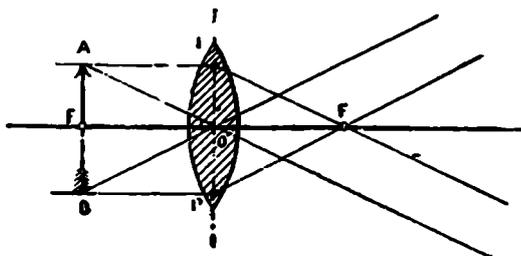


Fig. 359  
Imágen de un objeto

del objeto se va á formar en el *infinito*, es decir, *no hay imágen*.

**600.—Sexto caso.**—Finalmente en el caso de que el objeto está *entre el foco y el lente* (fig. 360), determinaremos primeramente la imágen del punto  $A$ , para lo cual trazaremos el eje secundario  $AO$  y el rayo incidente  $AI$  paralelo al eje principal, el cual, al refractarse, pasará por el foco principal  $F$  y como las líneas  $AE$  é  $ID$  son *divergentes* los rayos no se podrán

encontrar, pero sí se podrán encontrar en el punto *a* sus prolongaciones, luego se tendrá en *a* la imagen virtual del punto *A*, y como lo mismo sucederá con el punto *B*, tendremos en *ab* la imagen virtual del objeto, la cual estará del mismo lado que el objeto y será *directa*, *mas grande* que el objeto, y cuya *distancia* al lente será tanto *mayor* cuanto *mas cerca* está el objeto del lente.

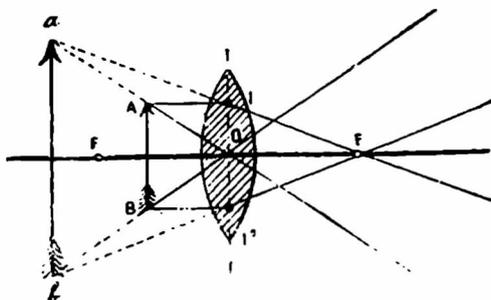


Fig. 360  
Imágen virtual de un objeto

**601.—Lentes bicóncavas.**—Ya hemos dicho que los lentes *bicóncavos* forman parte de una serie de lentes llamados *divergentes*. Lo que digamos del lente *bicóncavo*, podrá aplicarse á los lentes *plano-cóncavos* y los *cóncavos-convexos divergentes*.

Estos lentes producen la separación ó *divergencia* de los rayos que los atraviesan, lo cual se explica fácilmente recordando que un lente de esta naturaleza puede considerarse formado por una serie de *prismas unidos* pero con las bases *hacia arriba*.

Todo lo que hemos dicho respecto al *centro óptico* y *ejes secundarios* de los lentes convergentes, se aplica también á los lentes divergentes.

**602. — Focos de los lentes divergentes.** — Sea un rayo incidente *LI* paralelo al eje principal de un lente divergente (fig. 361) y sean *C* y *C'* los centros de curvatura de las caras.

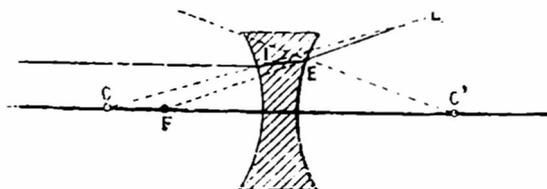


Fig. 361  
Foco virtual principal

Tracemos la normal *CI* del punto de incidencia, y entonces el rayo incidente *LI* se refractará *acercándose* á la normal, *por pasar de un medio más á otro menos denso*.

Llegado al punto de emergencia *E* y trazada la normal *EC'*, el rayo emergerá separándose de la normal según *EL*. Luego las dos refracciones han concurrido para *separar* el rayo luminoso del eje principal.

La prolongación del rayo refractado corta el eje principal en un punto  $F$  colocado del mismo lado que el punto luminoso  $L$ .

Como lo mismo sucederá para cualquier otro rayo *paralelo* al eje principal, resulta que todas las *prolongaciones* cortará el eje principal en el mismo punto  $F$ , el cual será el *foco virtual principal* del lente biconcavo.

**603.**—Si el punto luminoso no está en el infinito sino en un punto  $L$  colocado sobre el eje principal (*fig. 362*), considerando un rayo incidente

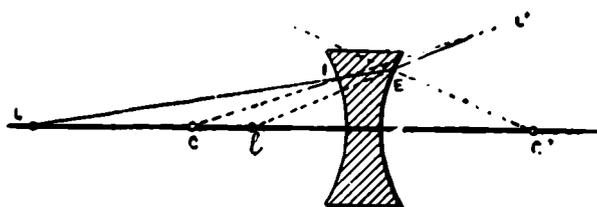


Fig. 362  
Foco conjugado

$L I$ , éste se refractará dos veces en  $I$  y en  $E$  y saldrá según  $E L'$  cuya prolongación cortará en  $f$  al eje principal.

Como lo mismo sucederá para cualquier otro rayo que parta de  $L$ , resulta que  $f$  será el *foco conjugado* del punto  $L$ .

**604.**—*Imágen de un objeto.*—De una manera análoga á la que usamos en los lentes convergentes, procederemos para determinar la imágen de un objeto visto á través de los lentes divergentes.

Estas imágenes serán siempre *virtuales*, si el objeto es *real*.

Sea el objeto  $A B$  (*fig. 363*) cuya imágen queremos determinar.

Para ello nos bastará determinar la imágen de varios puntos.

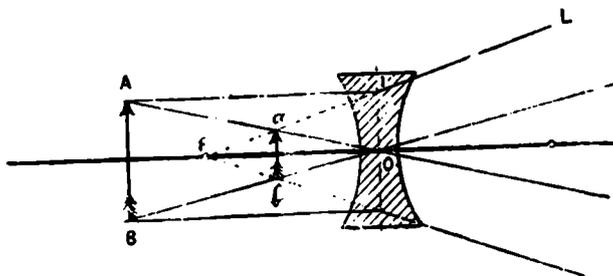


Fig. 363  
Imágen de un objeto

Para determinar la imágen de *un punto A*, tracemos el rayo incidente  $A I$  paralelo al eje principal, el cual se refractará según  $I L$  pasando su

---

prolongación por el foco principal. Enseguida tracemos el eje secundario  $A O$ , y la intersección  $a$  será la imagen del punto  $A$ .

Haciendo la misma construcción, determinaremos la imagen  $b$  del punto  $B$ , luego se tendrá en  $a b$  la imagen del objeto  $A B$ , *virtual, derecha y más pequeña* que el objeto.

---

## CAPÍTULO X

## DESCOMPOSICIÓN DE LA LUZ

**605.—Espectro solar.**—Cuando un rayo de *luz solar* atraviesa un cuerpo transparente, sufre según se ha demostrado una desviación que toma el nombre de *refracción*.

Además de esta desviación, se produce una descomposición de la *luz blanca*, que toma el nombre de *dispersión*, acompañada de una *coloración*.

La parte de la física que trata de los *colores* se ha denominado *Cromática*. Esta rama de la física es debida á *Newton*.

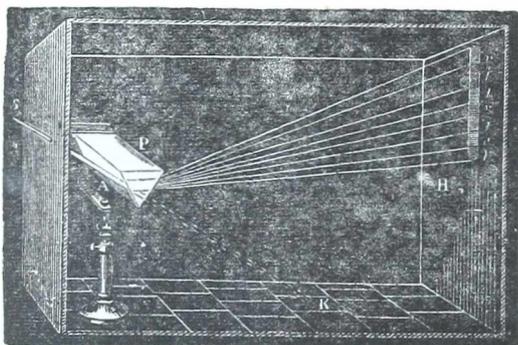


Fig. 364  
Descomposición de la luz

gamos entrar en ella un haz de rayos de *luz solar*  $S K$  (*fig. 364*), el cual dará en el piso una imágen  $K$  del sol.

Si en el camino que siguen esos rayos luminosos *interponemos un prisma triangular* con la base hacia arriba, los rayos luminosos serán *refractados* hacia arriba y nos darán *en la pantalla*, no ya una imágen re-

**606.**—Para hacer visible este fenómeno de *dispersión*, imaginemos una cámara oscura y ha-

donda del sol, sino una *faja coloreada, roja* en la parte inferior y *violada* en la parte superior.

Entre estos dos colores extremos, habrá *una serie de colores* cuyos límites no se conocen, pues el paso de un color á otro se hace de una manera inapreciable.

*Newton* distinguió *siete* colores diferentes, que son según su orden, *rojo, anaranjado, amarillo verde, azul, añil y violado*.

Esta faja coloreada toma el nombre de *Espectro Solar*.

**607.**—Si se toman prismas de *diferentes sustancias*, se formará siempre el espectro solar, con los *mismos colores* y dispuestos en el *mismo* orden.

Variará solamente la *extensión* del espectro.

**608.**—Variando las fuentes luminosas, como la luz de una *bujía, gas, luz eléctrica*, etc., se tiene siempre el mismo orden en la posición de los colores pudiendo á veces *faltar* algún color.

De sus estudios *Newton* dedujo que el espectro es debido:

1<sup>o</sup> A que la luz blanca *no es simple*, es decir, que está formada por rayos de distinto color iguales á los del espectro.

Esto lo comprobaremos al hablar de la *recomposición de la luz*.

2<sup>o</sup> Que los diferentes rayos son *desigualmente refrangibles*.

3<sup>o</sup> Que cada color del espectro ó cada rayo del espectro es *simple é indescomponible*.

**609.**—**Simplicidad de los colores.**—Para probar que cada uno de los colores del espectro es *simple*, es decir, *indescomponible*, nos bastará formar en la cámara oscura (*fig. 365*), el espectro solar é interponiendo una pantalla *E*, recibir sobre otro prisma un rayo coloreado, por ejem-

plo el violado  $v$  y si después de esta segunda refrac-

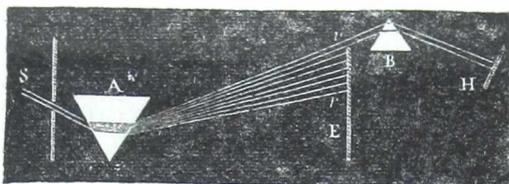


Fig. 365  
Simplicidad de los colores

ción recibimos el rayo luminoso en otra pantalla  $H$ , la imagen formada tendrá el *mis-*  
*mo color* que el rayo violado, lo cual nos prueba

que el rayo coloreado es *simple*.

**610.—Desigual refrangibilidad de los rayos coloreados.**—Para probar la *desigual refrangibilidad*, nos bastará observar que si los rayos de color fueran igualmente desviados, todos ellos caerían en el mismo punto, luego *no se tendría espectro*.

El color *violeta* es el *más refrangible* y el rojo es el *menos refrangible*.

—Puede probarse directamente con el método llamado de los *prismas cruzados*.

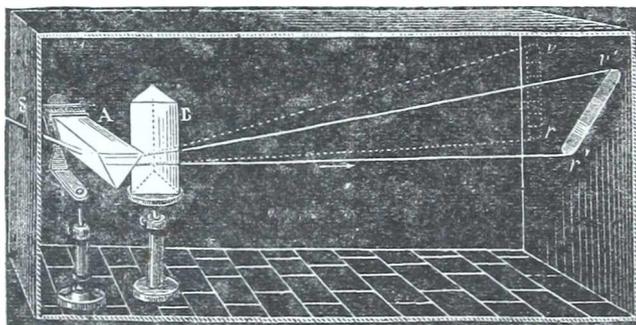


Fig. 366  
Prismas cruzados

Se recibe un rayo luminoso  $S$  sobre *un prisma* á arista *horizontal* (*fig. 366*), el cual formará sobre una pantalla  $e$  el espectro solar  $r$  *v* *vertical*.

Si recibimos este espectro sobre *otro prisma*  $B$ , pero cuya arista sea *vertical*, si los rayos fueran *igualmente*

*refrangibles*, se debería tener un espectro  $r'v'$  *perpendicular* al primero  $rv$ , es decir, *horizontal*, pero eso no sucede, sino que el segundo espectro es *oblícuo*, lo cual es debido *á la desigual refrangibilidad* de los distintos rayos solares.

Se observa que el color que más se aparta *es el violetado*, luego este es más refrangible que el *rojo*.

**6II.—Recomposición de la luz blanca.**—Vamos á verificar ahora que al superponer en el mismo punto los rayos coloreados que forman el espectro, se tendrá la *luz blanca*, es decir, la *recomposición de la luz blanca*.

Antes hicimos el *análisis*, ahora haremos la *síntesis* de la luz blanca.

—Varios procedimientos se pueden emplear:

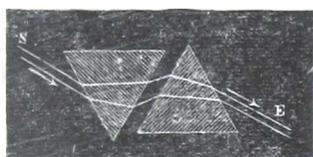


Fig. 367  
Recomposición de la luz blanca

1° Se recibe un rayo de luz solar  $S$  sobre un *prisma* (*figura 367*), el cual produce un espectro, que se recibe sobre un *segundo prisma de igual ángulo* refringente pero con la base en sentido contrario respecto al primero, el cual *destruirá la dispersión* producida por el primero y el rayo emergente  $E$  será de *luz blanca*.

2° Fómese un espectro (*fig. 368*), haciendo pasar un rayo de luz solar por un prisma y recíbese ese espec-

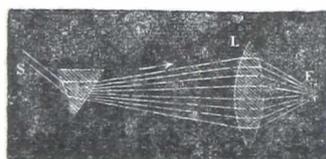


Fig. 368  
Recomposición de la luz blanca

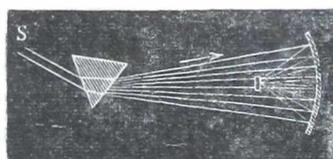


Fig. 369

tro sobre un *lente*, el cual haciendo converger *todos los rayos coloreados* al foco, nos dará una *imagen blanca* del sol.

3º En vez de un lente biconvexo puede hacerse uso de un *espejo cóncavo*, que nos dará en el foco *O*, la imagen *blanca* (*fig. 369*), del Sol.

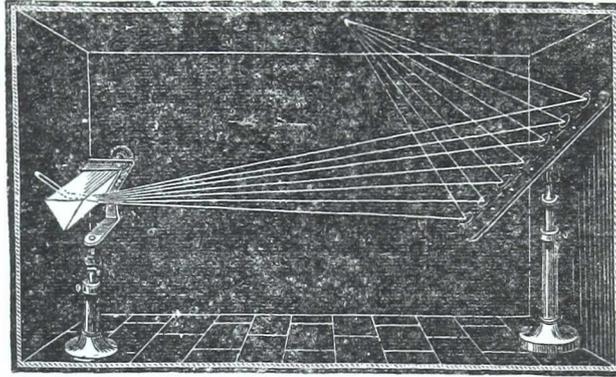


Fig. 370  
Recomposición de la luz blanca

4º Puede recibirse los *siete* colores del espectro sobre *siete espejitos* de vidrio (*fig. 370*) que están coloca

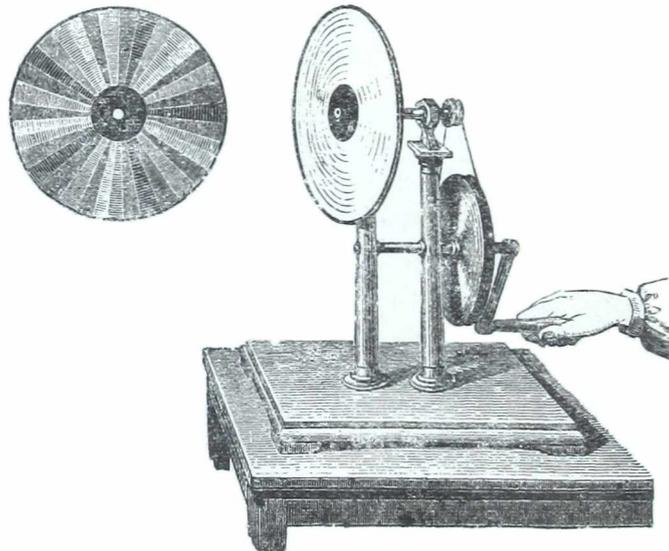


Fig. 371  
Recomposición de la luz blanca

dos sobre un pie y que pueden recibir inclinaciones en todos sentidos.

Si movemos esos espejitos de manera que todas las

imágenes caigan en un *mismo punto* del techo se tendrá una imagen *blanca*, producto de la superposición de todos los colores.

5° Se puede producir el color blanco, por medio del *Disco de Newton*, que consiste (*fig. 371*) en un disco de cartón que está dividido en sectores coloreados con los mismos colores y en el orden que tienen en el espectro solar.

Si se imprime á este disco un movimiento giratorio rápido, ya no se verán los sectores coloreados y el disco parecerá *blanco*.

6° *Newton* hizo una mezcla de polvo de varios colores, y exponiéndola á la luz solar obtuvo con esa mezcla un *color blanco* que superaba el color blanco de un papel puesto á la sombra.

**612.**—Debemos hacer presente, que lo que hemos dicho hasta ahora, no sólo se refiere á la luz recibida directamente por el Sol, sino que se verifica también para todos los cuerpos *iluminados* por él, como las nubes, la luna, los planetas, etc., los cuales darán *el mismo espectro* pero menos intenso.

Veremos que la luz de otras fuentes como las *estrellas*, los rayos, las materias incandescentes, etc., *dan también espectros*, pero *diferentes* del que dá el Sol.

**613.**—**Color de los cuerpos.**—Se llama *color natural* de un cuerpo el color bajo el cual se nos presenta, cuando está *iluminado por la luz blanca*.

Hemos visto que hay cuerpos que *reflejan* de una manera *irregular* la luz, y otros que *absorben* gran parte de ella.

Si suponemos tener un cuerpo *que absorbe todos los colores*, menos el *rojo*, es natural que este cuerpo *nos parecerá rojo*, pues no refleja otro color que éste.

Si absorbe *todos los colores*, el cuerpo será el *negro* y si el cuerpo *refleja* en igual proporción *todos los*

*colores*, se tendrá el *color blanco*, que será tanto más vivo cuanto mayor sea la proporción de la luz reflejada.

Finalmente, cuando el cuerpo refleja *algunos colores* simultáneamente, se tendrán *colores compuestos* que tanto abundan en la naturaleza.

Cuando se trata de conocer el color de un cuerpo, es necesario hacerlo durante el día, á la luz del Sol, pues de noche, siendo la luz coloreada, el cuerpo se nos presentará del color formado por la mezcla de la luz coloreada y el color natural del cuerpo.

**614. — Colores complementarios.**—Dijimos que *Newton* aceptaba que en la *luz blanca* se distinguían *siete colores* principales.

Otros físicos los han reducido solo á *tres*. Así *Brewster* no admite como *colores elementales*, sino el *rojo*, el *amarillo* y el *añil* y *Young*, solo el *rojo*, el *verde* y el *violeta*.

Con mezcla de los colores *elementales* puede obtenerse un sin número de colores *compuestos*, los cuales se pueden aún aumentar, si se les agrega una cierta cantidad de luz blanca ó de negro.

Se llaman *colores complementarios*, aquellos que superpuestos nos producen el color *blanco*.

Así el *verde* es complementario del *rojo*; el *azul* del *anaranjado*; el *violeta* del *amarillo*; porque superpuestos nos dan el *color blanco*.

—Los colores *compuestos* tienen también su color complementario, pues si nosotros mezclamos *seis colores* del espectro menos el *rojo*, se obtendrá un *color compuesto*, que será complementario del *rojo*. Agregándole éste tendremos el color *blanco*.

**615.—Espectro calorífico.**—Cuando la dispersión de la luz se produce por medio de un prisma de una *sustancia diatérmica*, como la sal gema, es decir, cuando la sustancia *permite el paso del calor*, además del espectro

luminoso se produce un *espectro calorífico*, es decir, se produce una separación, una *divergencia de los rayos caloríficos*, lo cual nos indica que el calor está *compuesto* de rayos desigualmente refrangibles.

Esto se comprueba haciendo correr un *termómetro* por todo el espectro, y se verá que en el espectro luminoso el calor va aumentando desde el *violeta* hasta el *rojo*, y que el *máximo* de temperatura se tiene de este lado del rojo, *en la parte oscura*.

La longitud del espectro calorífico es próximamente el *doble* del espectro luminoso.

Estos rayos caloríficos oscuros han tomado el nombre de rayos *infra-rojos*.

**616.—Espectro químico.**—Sabido es que la luz solar tiene ciertas acciones químicas, que se hacen muy notables sobre las *sales de plata*.

Sometidas, pues, estas sales á la acción de los rayos del espectro, se nota que *la acción* va aumentando *del rojo al violeta* y mucho más aún, *más allá* del violeta, es decir, en la parte oscura, donde se sigue produciendo la acción química.

Estos *rayos químicos oscuros*, toman el nombre de rayos *ultra-violeta*.

**617.**—Parece á primera vista que el espectro solar está formado de *tres espectros*, uno *luminoso*, otro *calorífico* y otro *químico*.

El espectro *luminoso* comprendido entre el *rojo* y el *violeta*.

—El *calorífico* comprendido entre el *violeta* y los rayos *infra-rojos*, es decir, *cuya refrangibilidad es menor* que la de los rayos *rojos*, que se extiende hasta una distancia próximamente *igual* á la longitud del espectro luminoso.

—Finalmente el espectro *químico* que se extiende desde los rayos *rojos* hasta los *ultra-violetas*, es decir, rayos

*cuya refrangibilidad* es mayor que la de los rayos *violeta*, y que suele prolongarse hasta una distancia igual

á 6 veces la longitud del espectro luminoso.

Los rayos *infra rojos* y *ultra-violetas*, pueden hacerse *visibles*. Para hacer visibles los rayos *infra-rojos* se recibirán en el *vacío* sobre una lámina de estaño ó de carbón, ó en el aire sobre una lámina de platino polvoreada de platino en polvo.

Para hacer visibles los rayos *ultra-violetas* bastará hacerlos atravesar una *solución de quinina*.

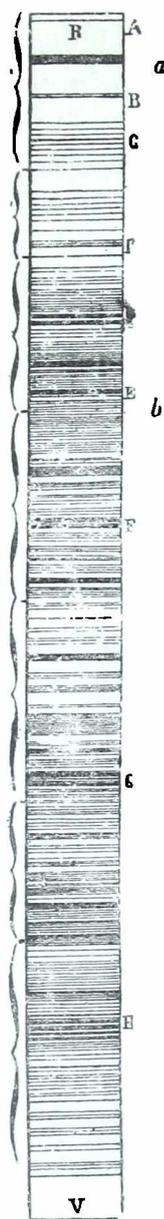


Fig. 372  
Rayas  
de Fraunhofer

**618.—Rayas del espectro.**—Al estudiar *Newton* el espectro solar, creía que la luz descompuesta por el prisma hubiera sido distribuida de una manera continua sobre todo el espectro.

*Wollaston* observó que no era así, y que la luz del espectro solar está surcada por una infinidad de *líneas oscuras* (fig. 372) que toman el nombre de *rayas del espectro* y que son todas paralelas entre sí y perpendiculares al lado mayor del rectángulo que forma el espectro solar.

*Fraunhofer* estudió y clasificó estas rayas marcando con letras *A, a, B, C, D, E, b, F, G, H*, las más notables de esas rayas, por cuya razón suelen llamarse *rayas de Fraunhofer*.

*Fraunhofer* y varios otros físicos han publicado dibujos conteniendo las rayas del espectro.

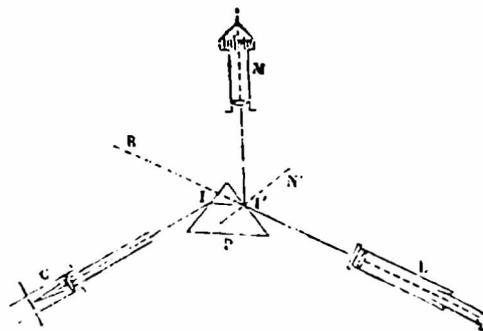
El dibujo de *Fraunhofer* contiene . . . . . 354 rayas  
el de *Brewster* . . . . . 2000 »

El dibujo de <i>Kirchow</i> .....	3.000 rayas
de <i>Thollon</i> .....	4.000 »

El número de rayas aumenta con la potencia de los instrumentos usados.

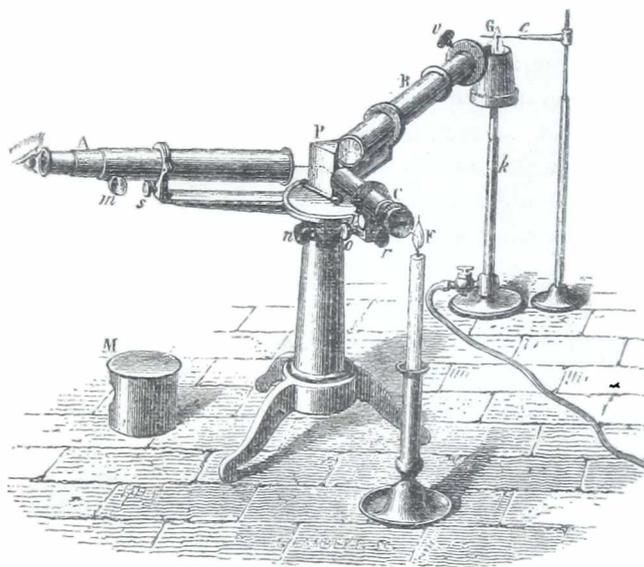
**619.—Espectroscopio.** — Este aparato se emplea para estudiar el espectro.

Consiste en un prisma ó sistema de prismas *P* (*fig. 373*) sobre el cual cae un haz de rayos luminosos *paralelos*, lo que se consigue por medio del *colimador C*, que no es más que un lente y una hendidura en un tubo de anteojo.



**Fig. 373**  
Espectroscopio

El espectro que se forma por la descomposición de la



**Fig. 374**  
Espectroscopio

luz en el prisma, es recibido por un anteojo *L*, lo más perfecto posible.

Finalmente hay un *micrómetro*  $M$  que consiste en una lámina de vidrio, en la cual se han trazado por medio de la fotografía un sin número de divisiones equidistantes.

Por medio de una luz se proyecta este micrómetro sobre el prisma y de tal manera, que por el anteojo  $L$  se vean superpuestos el *espectro* y el *micrómetro*, lo cual nos permitirá determinar la posición de las distintas rayas del espectro.

Este aparato nos permite formar el espectro no sólo de la luz solar, sino de cualquier foco luminoso.

La *fig. 374* nos muestra el *espectroscopio* en posición.

En  $P$  tenemos el prisma,  $A$  es el anteojo,  $B$  el *colimador* destinado á dirigir sobre el prisma los rayos luminosos de una fuente  $G$  y en  $C$  se tiene el *micrómetro* que está iluminado por una bujía  $F$ .

**620.—Análisis espectral.**—El análisis espectral está basado en que si analizamos por medio del espectroscopio la llama que proviene de un foco luminoso que *no contiene trazas de vapores metálicos*, como la luz de una lámpara de aceite, la de un pico de gas, etc., los espectros que se obtienen son continuos, es decir, *no se distinguen rayas*.

Si al contrario se analiza el espectro producido por un foco luminoso que *contiene vapores metálicos* incandescentes, como el que se obtiene llevando una lámina de metal á una alta temperatura, ó haciendo producir una serie de chispas eléctricas entre dos hilos de metal que se quiere examinar, entonces *el espectro ofrece en lugar de líneas oscuras, rayas brillantes* las cuales cambian de *explendor*, de *color*, de *extensión*, de *posición* y de *número*, según sea el metal que se examine.

Así el *cloruro de sodio* nos da una raya característica *amarilla*, colocada siempre en el lugar que corresponde á las dos rayas oscuras del espectro solar, marcada por *Fraunhofer* por la letra  $D$ .

Las sales de *calcio* dan una *raya verde*, una *anaranjada* y otra *azul*.

Las de *potasio*, una *raya roja* y otra *violeta*.

El *estroncio* da *seis rayas rojas*, una *anaranjada* y otra *azul*.

**621.—Aplicaciones.**—El *análisis espectral* se aplica en los análisis químicos.

Su sensibilidad es exquisita, pues basta la presencia de *una millonésima* parte de un milígramo (0,  $\epsilon$  000.000.001)

de *sodio* para que el análisis espectral acuse su presencia.

Basta sacudir la manga del saco del operador ó las hojas de un libro ante la llama del espectroscopio, para ver aparecer la *raya amarilla del espectro del sodio*.

Por medio del espectroscopio se han descubierto varios metales, como el *Cesio*, el *Rubidio*, el *Talio*, el *Indio* y el *Gálio*.

Por medio del espectroscopio se han podido también *determinar la constitución de los astros*.

Así se ha constatado que en la atmósfera del Sol existen *hierro, calcio, magnesio, cromo, sódio, níquel, manganeso é hidrógeno*.

**622.—Acromatismo de los prismas y lentes.**—Ya dijimos que cuando los lentes tienen aberturas *no pequeñas*, se hace muy sensible un *error debido á la refracción* de la luz, que consiste en una *coloración* ó irización del contorno de los objetos vistos á su través, error que toma el nombre de *aberración de refrangibilidad*, debido á que siempre que hay refracción hay también *descomposición* de la luz, y como los colores *simples* tienen un grado de refrangibilidad distinta, no es posible que todos los rayos concurren á un foco.

*Newton* afirmó que este error no se podía evitar, pero *Hall* en 1733 y *Dullouf* en 1757, consiguieron lentes *acromáticas*, es decir, lentes que no poseen el error.

En absoluto no es posible evitarlo.

En los lentes se obtiene el *acromatismo* uniendo un lente (*fig. 375*) *convergente B* de *crown* y otro *divergente A* de *flint*, en los cuales se tiene la *refracción*, pero *no* la *coloración*, porque teniendo esos dos lentes un *índice* de refracción distinto, hacen converger los rayos *rojos* y los *violetas* en un mismo punto.

Con dos lentes se *acromatizan dos colores*, el rojo y el violeta.

Usando *tres lentes*, se pueden acromatizar *tres colores*, el rojo, el amarillo y el violeta, y casi no se tiene irización alguna.



Fig. 375  
Lente acromática

**623.—Arco Iris.**—Este es un meteoro luminoso de los más notables.

Se presenta bajo la apariencia de un arco circular, presentando siete arcos concéntricos, con los colores del espectro solar, correspondiendo el violeta al arco *interno* y el rojo al borde *externo*.

Para que sea visible, es necesario que el sol esté *poco elevado* sobre el horizonte y que una nube se resuelva en lluvia. Si el observador da la espalda al sol verá el arco iris.

El *centro* del arco, corresponde á un punto de la recta trazada del ojo del observador al centro del sol. Por eso es, que cuanto más bajo esté el sol, tanto más elevado será el arco iris.

—Es debido á la descomposición de la luz blanca al penetrar al interior de las gotitas de agua y á la reflexión subsiguiente, sobre la cara interna de esas gotas.

A veces, en vez de un arco iris, se tienen *dos*, en cuyo caso, los colores del segundo arco iris, están en orden invertido, es decir, el *rojo* en el *interior* y el *violeta* al *exterior*.

Muy raras veces, se ven tres arco iris, pero la teoría indica que pueden formarse muchos.

La luna también produce *arco iris*, pero muy pálidos.

---

## CAPÍTULO XI

## INSTRUMENTOS DE ÓPTICA

**624.—Definiciones.**—Los instrumentos de óptica están destinados á aumentar el poder de nuestra vista.

Ellos pueden dividirse en:

—*Instrumentos de amplificación*, como los *microscopios*, que están destinados á hacernos ver de *mayor tamaño* los objetos pequeños.

—*Instrumentos de proyección*, que, como la *linterna mágica*, nos permite *proyectar* sobre una pantalla, la imágen amplificada ó reducida del objeto.

—*Instrumentos de aproximación*, que como los *anteojos y telescopios*, nos hacen ver con mayor claridad los objetos lejanos.

Si el instrumento está formado de lentes, toma el nombre de instrumento *dióptrico*; si está formado de espejos, se llama *catóptrico* y toma el nombre de *catadióptrico* si se emplean lentes y espejos.

**625.—Microscopio simple.**—Este instrumento no es más que un lente montado en una armadura metálica para facilitar su manejo. Generalmente está dispuesto como indica la *fig. 376*. Sobre un soporte horizontal *E*, que puede

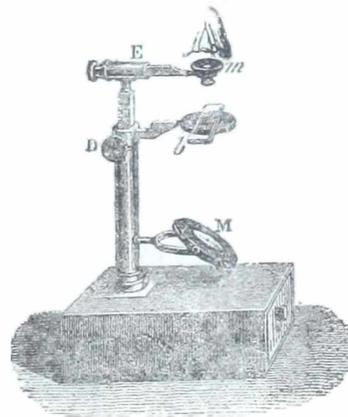


Fig. 376  
Microscopio simple

subir y bajar á lo largo de una columna por medio de la cremallera  $K$ , que es movida por el botón  $D$ , se coloca el lente biconvexo de *pequeña distancia focal*.

Debajo del lente  $m$  hay otro soporte que sostiene un *disco metálico* con un agujero en su centro.

Este disco es el *porta-objeto*, y sobre él se coloca el objeto que se quiere examinar, cerrándolo entre dos chapas de vidrio  $b$ .

Como la *amplificación* del objeto produce una disminución en la *claridad*, es necesario *iluminarla fuertemente*, lo cual se consigue por medio del espejo cóncavo  $M$ , que está suspendido de manera que recogiendo la luz difusa de la atmósfera, puede hacerla caer sobre el objeto  $b$ .

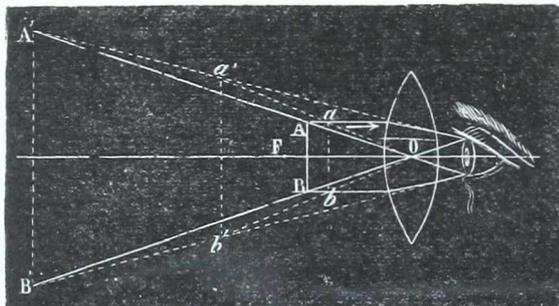


Fig. 377  
Microscopio simple

vo  $M$ , que está suspendido de manera que recogiendo la luz difusa de la atmósfera, puede hacerla caer sobre el objeto  $b$ .

**607.**—El botón  $K$  mueve el objeto de manera que la imagen se forme á la *distancia de la visión distinta* del operador, ó lo que en otros términos se dice, poner el microscopio *al punto*, para su vista.

La simple inspección de la *fig. 377* nos hace ver la marcha de los rayos.

Como vemos, el objeto  $A B$  se coloca *entre el foco y el lente* y la imagen  $A' B'$  es *directa y virtual*.

**627.**—**Lente compuesto.**—Cuanto *mayor* es la curvatura del lente, ó en otros términos cuanto menor es la *distancia focal*, tanto mayor es el *aumento* de la imagen, pero como cuanto mayor es la curvatura también es mayor la irización que se produce en la imagen, resulta que cuando se quieren grandes aumentos, es necesario

usar los *lentes compuestos* que tienen una curvatura menor y producen el mismo efecto que un solo lente.

La *fig. 378* representa un *lente compuesto* donde los dos lentes son plano-convexos con la cara plana dirigida al objeto.

Este lente suele llamarse *Doblete de Wollaston*.



Fig. 378  
Doblete de Wollaston

**628.—Microscopio compuesto.**—Este instrumento representado en la *fig. 379* está compuesto de un *objetivo* ó lente que nos dá una *imágen real* del objeto, pero *amplificada*, y enseguida un *ocular* que recibe esta *imágen real* como si fuera *objeto* y nos da una segunda *imágen virtual* de mayor tamaño.

En la figura el *ocular* que es el lente donde se aplica el ojo, está en *O*, y el *objetivo* que es el lente que está contra el objeto, está en *o*.

Estos dos lentes que no son simples, sino *compuestos*, para evitar el error de *aberración*, pueden acercarse ó alejarse uno de otro *enchufando* los tubos *H* ó *I* en el tubo *DD'*, el cual á su vez puede subir y bajar con todo el tubo haciendo que la pieza *BB'*, suba ó baje por el movimiento del tornillo *T*.

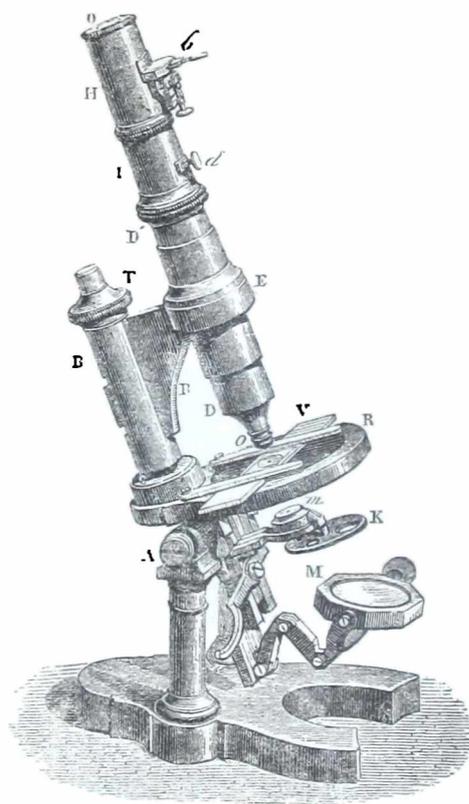


Fig. 379  
Microscopio compuesto

Todo este sistema está sostenido sobre un eje horizontal  $A$ , alrededor del cual puede tomar cualquiera inclinación.

El *porta-objeto*  $R$  es un anillo de metal, sobre el cual se apoyan las láminas de vidrio que llevan los objetos que deben ser examinados.

La *iluminación* se hace por medio del reflector  $M$  que puede tomar todas las posiciones que se quiera, é ilumina por abajo los objetos.

La cantidad de luz que reciben los objetos, se puede graduar por medio de un *diafragma*  $K$ , que tiene una serie de agujeros de distinto tamaño.

Cuando el objeto no es transparente, hay un lente biconvexo que hace converger la luz difusa sobre el objeto.

Este es el actual microscopio de *Nachet*.

**629.**—En la *fig. 380* vemos la marcha de los rayos luminosos.

El objeto  $A B$  se coloca del otro lado del foco del

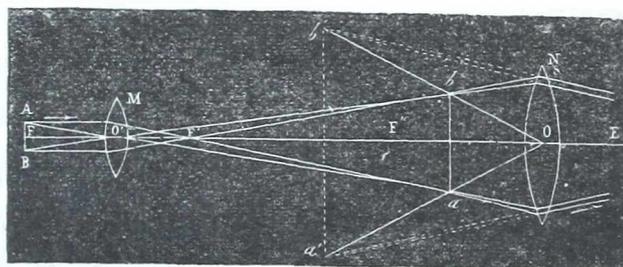


Fig. 380  
Microscopio compuesto

lente  $M$ , pero *muy cerca* de él, con lo cual tendremos una imágen *invertida*  $a b$ , *real* y formada entre el ocular  $O$  y su foco  $F'$ .

El lente  $O$ , obra como si la imágen  $a b$  fuera un objeto y nos da la imágen  $a' b'$  *virtual* y más amplificada é *invertida* respecto al objeto.

**630.—Microscopio binocular.**—Cuando se observan los objetos con el microscopio, es generalmente imposible reconocer si los objetos son *huecos* ó *en relieve* porque no se mira sino con un solo ojo y no hay término de comparación que pueda ayudarnos.

*Nachet* ha salvado este inconveniente por medio del *microscopio binocular* representado en la *figura 381*.

Los rayos luminosos que parten del objeto, después de atravesar el objetivo, inciden sobre un prisma (*fig. 382*) donde se reflejan y caen sobre otros dos prismas *P* y *P'* para salir después según *m* y *m'*, y llegar finalmente á los *dos ojos*, después de atravesar los oculares.

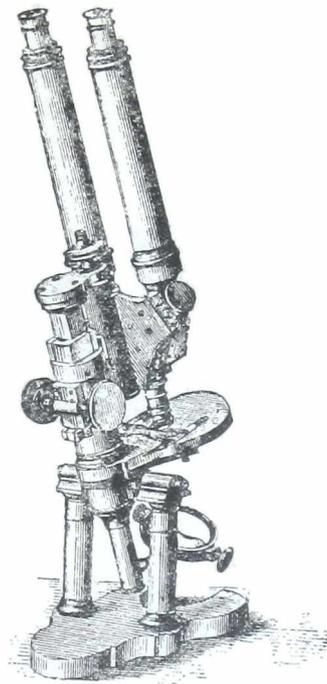


Fig. 381  
Microscopio binocular

**631.—***Nachet* nos ha dado otro microscopio llamando *microscopio* á varios cuerpos, el cual permite que varios observadores puedan observar *simultáneamente* el mismo objeto y en el mismo instante.

Los microscopios que se construyen actualmente suelen tener varias objetivos con el objeto de obtener diferentes aumentos, pues como sabemos el aumento es siempre á costa de claridad y en ciertos casos se desea predomine esta condición.

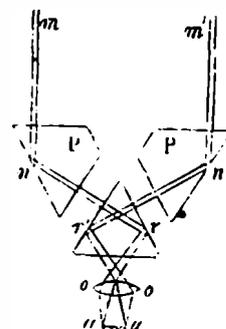


Fig. 382  
Marcha de los rayos  
en el microscopio de  
*Nachet*

**632.—Campo del microscopio.**— Se llama *campo del microscopio* el espacio angular dentro del cual están comprendidos los objetos, que pueden ser visibles por el ocular del instrumento.

El campo está limitado por una *superficie cónica* cuyo vértice es el *centro óptico O* del objetivo (*fig. 383*) y cuya base es la abertura de un *diafragma p q* situado delante del ocular, en el plano en que se forma la imagen producida por el objetivo.

Si consideramos el objetivo *A B* vemos que el cono corta al objeto en *a b*, luego la *parte visible* del objeto será *a b*.

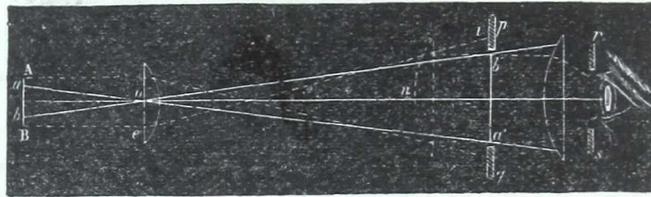


Fig. 383  
Campo del microscopio

Suele ampliarse el campo, interponiendo un lente convergente *n* entre el ocular y el objetivo.

El punto donde convergen los rayos luminosos después de pasar por el ocular, se llama el *punto ocular*. Si el ojo se coloca más acá ó más allá del punto ocular, ya no recibirá todos los rayos convergentes, luego disminuirá el campo.

**633.—Microscopio solar.**— Pasaremos ahora á estudiar los instrumentos de proyección.

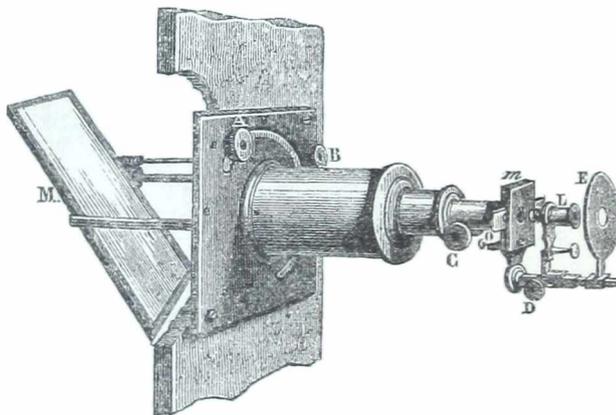


Fig. 384  
Microscopio solar

El *microscopio solar* es uno de ellos; generalmente se emplea para hacer ver á un auditorio numeroso, proyectando una imagen sobre una

pantalla, los detalles de organización de los animales muy pequeños, la estructura de los tejidos de las plantas, etc.

Consiste (*fig. 384*) en una especie de *porta-luz* con su espejo *M* coloca-

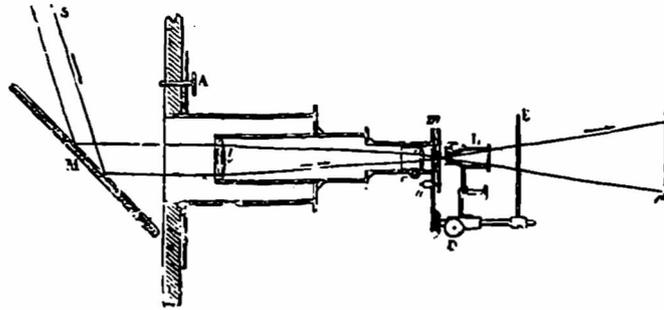


Fig. 385  
Microscopio solar

do fuera del gabinete, al cual puede imprimirse los movimientos que se quiera, por medio de los botones *A B*.

Los rayos recibidos por el espejo *M* son reflejados, y caen (*fig. 385*)

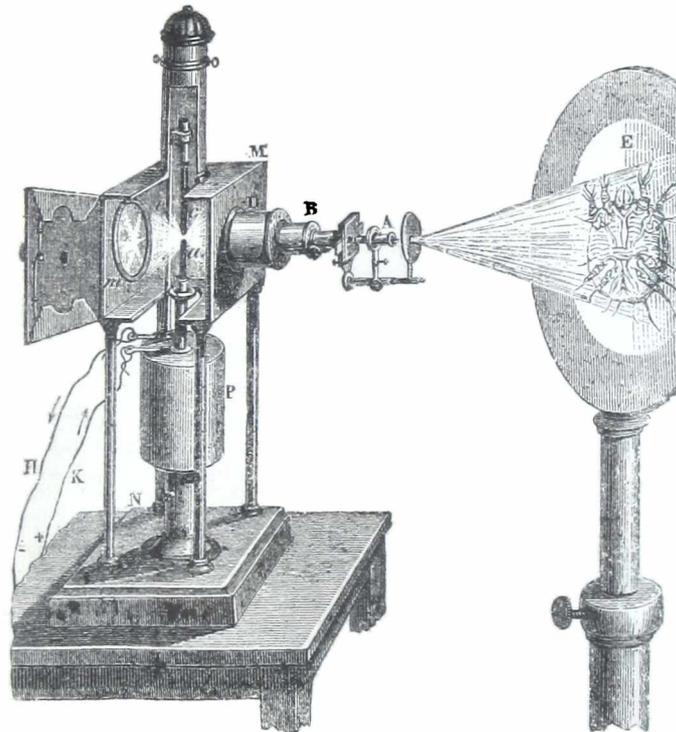


Fig. 386  
Microscopio foto-eléctrico

sobre un lente convergente *l* y de allí sobre un segundo lente *o*, en cuyo foco *m* se coloca el objeto entre dos láminas metálicas *m*.

El objeto *tan fuertemente iluminado*, nos da por medio de un sistema de tres lentes  $x$ , una imagen  $a b$  que se proyecta sobre una pantalla.

En algunos casos, en vez del espejo  $M$  se coloca un *helióstat*, en cuyo caso no hay que preocuparse en la dirección de los rayos solares.

Los tornillos  $C$  y  $D$  hacen que la distancia de los lentes  $o$  y  $x$  sea conveniente para que el objeto esté en el foco del lente  $o$ , y para que la imagen se proyecte en la pantalla con toda claridad.

Como en el punto en que está el objeto, se reconcentran no sólo los rayos luminosos, sino también los rayos *caloríficos* del sol, lo cual puede ser perjudicial para el objeto: se evita esto, interponiendo agua saturada de alumbre que es transparente y de poco poder *diatérmico*, es decir, que deja pasar la luz y no el calor.

**634. — Microscopio foto-eléctrico.** — El microscopio *foto-eléctrico* (*fig. 386*) no es más que el microscopio *solar*, en el cual se ha sustituido la luz eléctrica á la luz del sol.

Como la luz eléctrica es muy intensa y de *fácil producción*, suele ser cómodo el empleo de este microscopio.

En los gabinetes modernos existen riquísimos aparatos de este género. Las clases de ciencias, naturales sobre todo, se dictan con mucha comodidad.

Se ilumina fuertemente una cámara de operaciones donde pueden colocarse objetos opacos como un animal, un aparato, etc., y se podrá ver amplificado en una pantalla ó en el techo si se coloca un espejo inclinado á 45°.

**635. — Megáscopo.** — Este aparato (*fig. 387*) sirve para hacer el dibujo *amplificado* de estatuas, bajos, relieves, etc.

Para eso sobre una plataforma  $r r$  se coloca el objeto  $a$  cuya copia se quiere hacer.

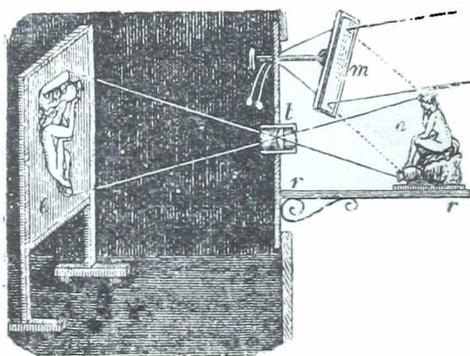


Fig. 387  
Megáscopo

Un espejo  $m$  inclinado convenientemente ilumina fuertemente el objeto  $a$ , el cual por intermedio de un lente  $l$ , nos da la imagen  $e$  *amplificada* sobre una pantalla colocada en la cámara oscura.

En esa cámara entra el dibujante y siguiendo el contorno de la imagen hace sobre la pantalla un dibujo que es una *copia perfecta* del objeto.

Como la imagen se forma *invertida*, si se quiere obtenerla *derecha*, hay que invertir el objeto.

**636.—Cámara oscura.**—Este aparato utilizado por los dibujantes y pintores para sacar copias de paisajes, grupos, etc., (*fig. 388*) consiste en una caja *E H* que se introduce á frotamiento dentro de otra *C D*.

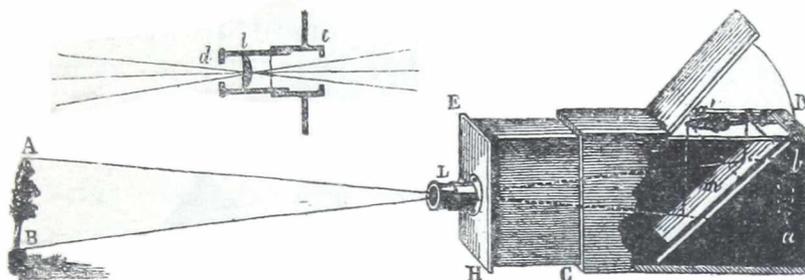


Fig. 388  
Cámara oscura

Dentro de esta caja *C D* hay un espejo *m*, visible en la figura, inclinado á 45°, y la caja *E H* tiene un tubo *L* con un lente convergente.

Un objeto cualquiera *A B* es proyectado sobre el es-

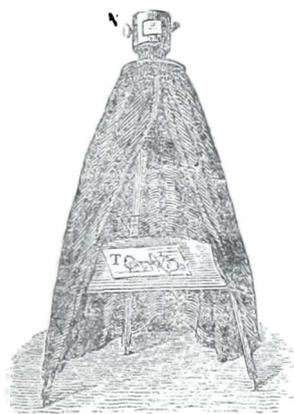


Fig. 389

Cámara oscura

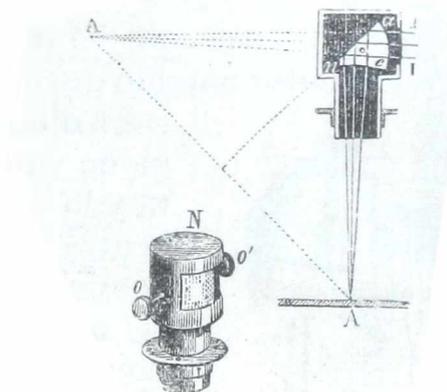


Fig. 390

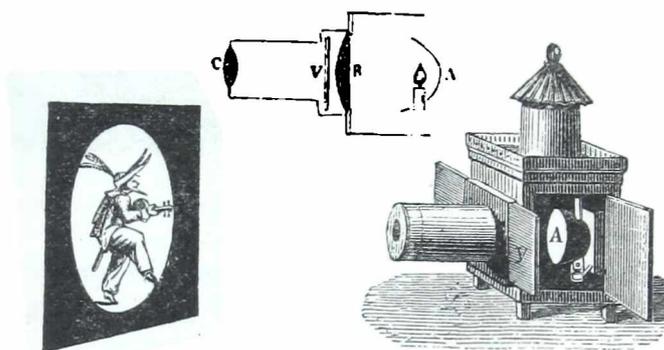
pejo *m* que está en la caja *C D*, en el cual sufre una reflexión, yendo á proyectar su imágen *a' b'* sobre una lámina de vidrio esmerilado que forma la cara superior de la caja *C. D*.

Para las excursiones en el campo se hace uso de un trípode que sostiene (*fig. 389*) una tablilla *T* sobre la

cual se forma la imágen de los objetos que están frente á un *prisma menisco*  $N$  que corona el trípode.

En la *fig. 390* se tiene un detalle de la marcha de los rayos luminosos.

**637.—Linterna mágica.**—Este aparato de proyección inventado por el *padre Kircher* (*fig. 391*) no es más que



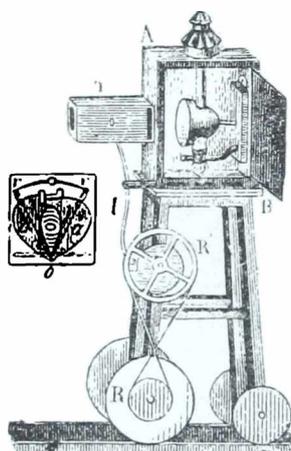
**Fig. 391**  
Linterna mágica

un *megáscopo* en el cual ha sustituido la luz solar con un foco luminoso munido de un reflector  $A$ .

El dibujo hecho sobre una lámina de vidrio  $V$ , recibe la luz directa y la luz reflejada que se reconcentra por medio de un lente convergente  $B$ .

Los objetos dibujados en  $V$  y fuertemente iluminados, por medio de un segundo lente  $C$ , nos dan sobre una pantalla una imágen ampliada, pero invertida.

Para que la imágen sea derecha, es necesario introducir los vidrios  $V$  invertidos.



**Fig. 392**  
Fantáscopo

**638.—Fantasmagoría.**—Las ilusiones de la fantasmagoría se obtienen por medio del *Fantáscopo*, aparato análogo á la *linterna mágica* y que

está (*fig. 392*) sostenido por un carrito con ruedas con el objeto de *acercar y alejar el aparato de la pantalla*, con lo cual se obtiene la ilusión de acercar y alejar la imágen.

Con el objeto de que la ilusión sea completa, al moverse el carrito giran las ruedas *R R'* que producen un movimiento en la palanca *l*, con lo cual se obtiene un *movimiento del objetivo*, para que la imágen se forme siempre sobre la pantalla.

Además un diafragma *a a* que se ve á la izquierda, permite el paso de una cantidad de luz conveniente para que la intensidad vaya disminuyendo á medida que el objeto se va alejando.

**639.—Faros.**—Estos aparatos consisten en unas torres (*fig. 393*) más ó menos elevadas, terminadas por poderosos fanales que *proyectan* los rayos luminosos á grandes distancias, para servir de guía á los navegantes cuando están cerca de las costas ó de escollos. Los faros pueden ser á luz *fija* y á luz *giratoria*, de luz *blanca* ó *coloreada*.

La luz que se utiliza es la luz de lámpara con aceite ó la luz eléctrica.

Con el objeto de utilizar todos los rayos del foco luminoso y de que salgan formando un haz de rayos paralelos, se colocan *lentes escalonados* destinados á refractar paralelamente los rayos, y una serie de coronas de espejos en la parte superior, los que están inclinados de manera que todos los rayos salgan paralelamente.

**640.—Lentes escalonados.**—Los lentes escalonados (*fig. 394*) han sido construidos con el objeto de evitar la aberración de esfericidad que se produce en los lentes de gran abertura.

Están formados en el centro por un lente plano convexo *C* rodeado de una serie de anillos *A B...* también planos convexos.

Se tiene así un lente compuesto, como se ve en la figura.

**641.—Anteojo astronómico.**—Finalmente, llegamos á los instrumentos de la tercera categoría, es decir, á los instrumentos de *aproximación*, ó instrumentos que nos permiten ver los objetos lejanos bajo un *diámetro* mayor que *á simple vista*.

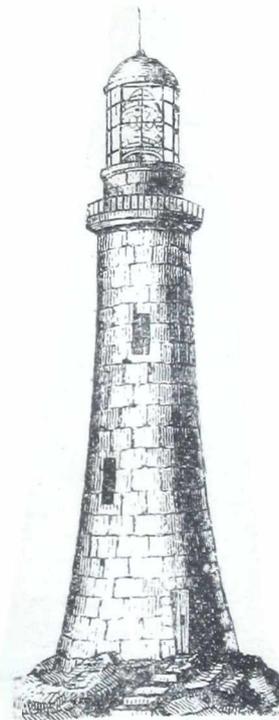


Fig. 393  
Faro

Estos instrumentos toman el nombre de *telescopios de refracción* ó *Anteojos* aquellos en los cuales no se usa más que los *lentes* y *telescopios catadióptricos* ó simplemente *Telescopios* aquellos en los cuales se verifican *reflexiones* sobre espejos.

En los *anteojos astronómicos* hay como en los *microscopios compuestos* un *objetivo* y un *ocular* convergente.

Como el *anteojo astronómico* está destinado á obser-

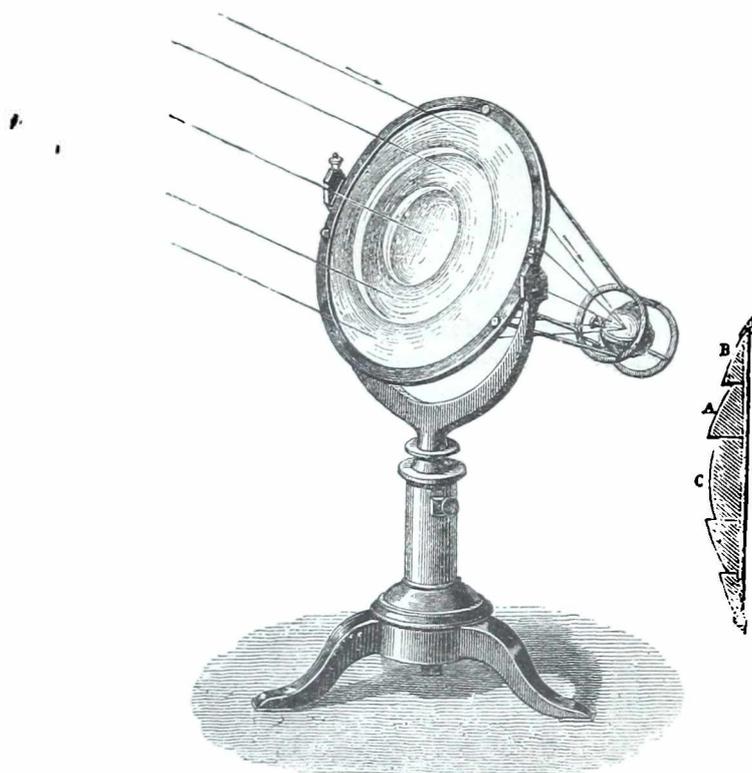


Fig. 394  
Lentes escalonados

var objetos lejanos, resulta que el objetivo *debe tener la mayor superficie* posible para recibir la *mayor cantidad* que se pueda *de luz*; pero para que un lente tenga una gran superficie es necesario que el lente sea de gran curvatura, ó bien que la distancia focal sea

muy grande, lo cual nos conduce á anteojos de longitud considerable.

**642.**—El anteojo astronómico que está representado en la *fig. 395*, está compuesto de un gran tubo *A B*, ennegrecido interiormente para evitar toda reflexión, y que está sostenido por un pie *P*, alrededor del cual *puede tomar todas las posiciones que se quiera*.

En el extremo *A* del anteojo está colocado el *objetivo*, y el ocular está en el extremo *F* de un tubo más pequeño *F E*, que enchufa en otro tubo mayor *C D*, el que puede resbalar á movimiento lento dentro del tubo *A B*,

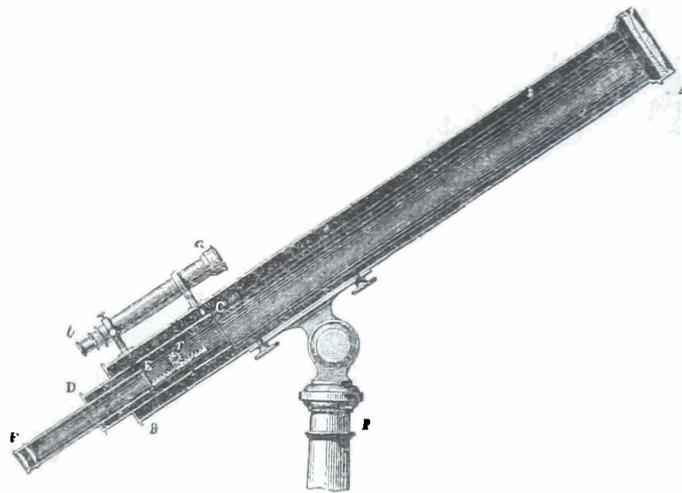


Fig. 395  
Anteojo astronómico

por medio de la cremallera *r* que se mueve por medio de un botón exterior.

Como los objetos que se miran por el anteojo astronómico no pueden acercarse al objetivo, *como se hacía en los microscopios*, es necesario *variar la distancia relativa* de los lentes para poner el anteojo *al punto*.

Ya hemos visto que esto se obtiene por medio de los tubos *D C* y *F E*.

Cuanto más poderoso es el anteojo, *tanto mayor* es la distancia focal del objetivo, y por consiguiente *tanto*

*menor* es el *campo* del anteojo, lo cual hace que sea muy difícil encontrar el astro ó el objeto que se quiere examinar, pues basta el menor movimiento para que el objeto desaparezca del campo. Esto se salva colocando sobre el anteojo  $A B$  otro más pequeño  $a b$  llamado *Explorador*, que permite descubrir el objeto inmediatamente.

**643.**—La *fig. 396* nos marca la marcha que siguen los rayos en el anteojo

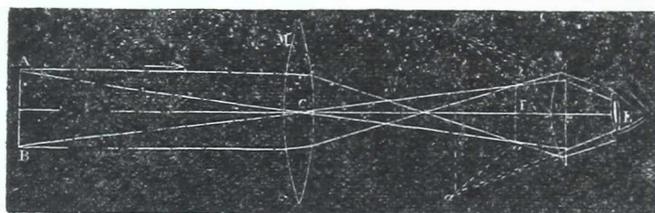


Fig. 396  
Anteojo astronómico

El objetivo  $M$  nos dá *imágen real*  $a b$  del objeto  $A B$ , imágen que vista á través del ocular  $N$ , nos dá la imágen virtual  $a' b'$  *amplificada é invertida* del objeto  $A B$ .

**644.**—**Reticulo. Eje óptico.**—Como los anteojos deben servirnos, no sólo para ver los objetos, sino también para determinar su posición respecto al observador, es necesario poder determinar con el anteojo la *línea recta* que une el ojo del observador con el objeto.



Fig. 397  
Reticulo

Para conseguir esto se hace uso del *retículo* (*fig. 397*), que consiste en un diafragma que se coloca en el punto donde se forme la *imágen real que dá el objetivo* y que está cruzada por dos hilos de tela de araña perpendiculares entre sí. Cuando se dirige una visual á un astro, por ejemplo,

se hace que el objeto se vea en el punto de intersección de esos hilos.

La línea que une la intersección de los hilos con el *centro óptico* del objetivo, se llama *eje óptico* del anteojo, y se hace coincidir con el eje de figura del mismo. De día los hilos del retículo son *visibles*, y de noche se alumbran por medio de una *lamparilla* que se coloca en una abertura lateral del anteojo.

Debemos agregar que cuanto *menor es el campo* del anteojo, tanto *mayor* será el *aumento*, y por consiguiente, tanto *menor* la *claridad*.

**645. — Anteojo terrestre.**—Hemos visto que el anteojo *astronómico* nos dá la *imagen invertida* del objeto que se mira.

Este no es un inconveniente cuando se miran los astros, pero es muy inconveniente para las observaciones terrestres, ó sea de los objetos colocados en la tierra.

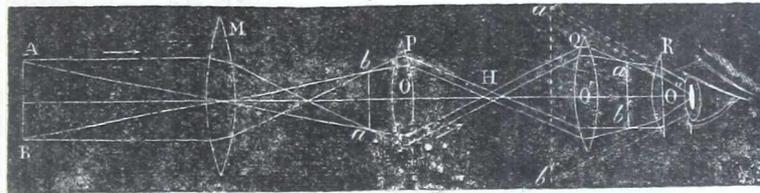


Fig. 398  
Anteojo terrestre

Para obviar esto, el padre *Rheita* introdujo entre el objetivo y el ocular otros *dos lentes P Q* (fig. 398), colocándolos á una *distancia constante del ocular* y que producen la *reinversión* de la imagen.

Los rayos emanados del objeto *A B* pasan por el objetivo *M* y nos dan una *imagen real a b invertida*.

Los rayos *que emanan de la imagen real a b* atraviesan el lente *P*, y después de cruzarse en *H* caen sobre el otro lente *O*, que los hace converger y dá la imagen *a' b'* derecha con respecto al objeto.

Finalmente, mirando la imagen *real*  $a' b'$  á través del ocular  $R$ , tendremos la imagen *virtual*  $a'' b''$  de  $A B$ , *amplificada y derecha*.

**646.—Anteojo de Galileo.**—*Galileo* ha obtenido el mismo resultado de *enderezar la imagen*, poniendo como ocular *un lente biconcavo* en vez de dos lentes convexas.

Los rayos emanados del objeto  $A B$ , al atravesar el objetivo  $M$  *tratan de formar* una imagen  $a b$  invertida del objeto, pero se le interpone un ocular *biconcavo* ó divergente, que formará una imagen virtual derecha respecto al objeto  $A B$ .

El anteojo de *Galileo* tiene la ventaja de ser más corto, y por consiguiente, más *portátil*, porque la distancia entre el ocular y el objetivo es igual á la diferencia entre las dos distancias focales y no tiene más que *dos lentes* en vez de *cuatro* que tiene el *anteojo terrestre*, y por lo tanto *absorbe menos* cantidad de luz.

—Los *gemelos de teatro* no son más que un *doble anteojo de Galileo* que aumenta la claridad y *da la sensación* del relieve.



Fig. 399  
Telescopio de Gregory

**647.—Telescopio de Gregory.**—El anteojo *astronómico* y el de *Galileo* son *telescopios dióptricos*, es decir, *por refracción*, pero hoy en día se llaman *telescopios* aquellos instrumentos en que se utiliza la *reflexión*.

El telescopio de *Gregory*, inventado en 1663 consiste (*fig. 399*) en un tubo *T* *abierto* en la parte superior y cerrado en su parte inferior por un espejo  $M$  de metal, que tiene una abertura central en la que se adapta uno de los lentes  $B$  del ocular.

Este instrumento está sostenido por un pie, alrededor del cual puede tomar todas las posiciones que se quieran.

La *fig. 400* nos hace ver la marcha de los rayos.

El objeto *AB* manda sus rayos sobre el espejo cóncavo *MN*, el cual nos da en *A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>* la *imagen real é invertida* del objeto *AB*.

Un espejito *mn*, representado en *m* en la *fig. 400*, y que puede acercarse ó alejarse de *MN* por medio del

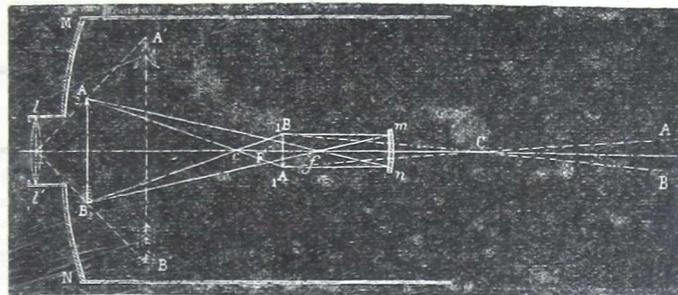


Fig. 400  
Telescopio de Gregory

tornillo *V* y la varilla *c*, formará una segunda imagen *A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>* *real y ampliada* del objeto, la cual, mirada por el ocular *l l'*, nos dará la *virtual A' B' más ampliada aún*.

**648.—Telescopio de Newton.** — Este telescopio representado en la *fig. 401*, está abierto por un extremo, y tiene en su fondo un espejo metálico *M* cóncavo, el cual nos

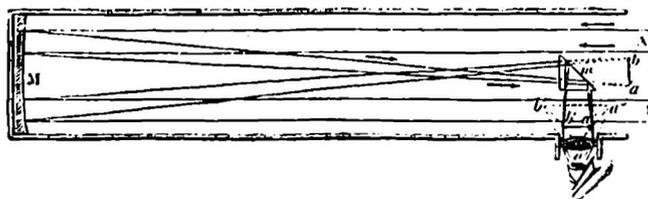


Fig. 401  
Telescopio de Newton

daría en *a b* una imagen del astro si no hubiéramos interpuesto un prisma triangular *m*, que reflejará los

rayos y nos dará en  $a' b'$  una imagen real del objeto, la cual se mira por un lente  $O$  colocado lateralmente, dándonos la imagen  $a'' b''$  amplificada y virtual.

**649.—Telescopio de Foucault.**—El telescopio de *Newton* tiene el inconveniente de que los espejos esféricos de bronce son muy pesados, difíciles de trabajar y oxidables.

*Foucault* modificó este telescopio poniéndole espejos cóncavos de vidrio sobre los cuales depositase químicamente una delgada capa de *plata*, la que refleja el 75 % de los rayos incidentes.

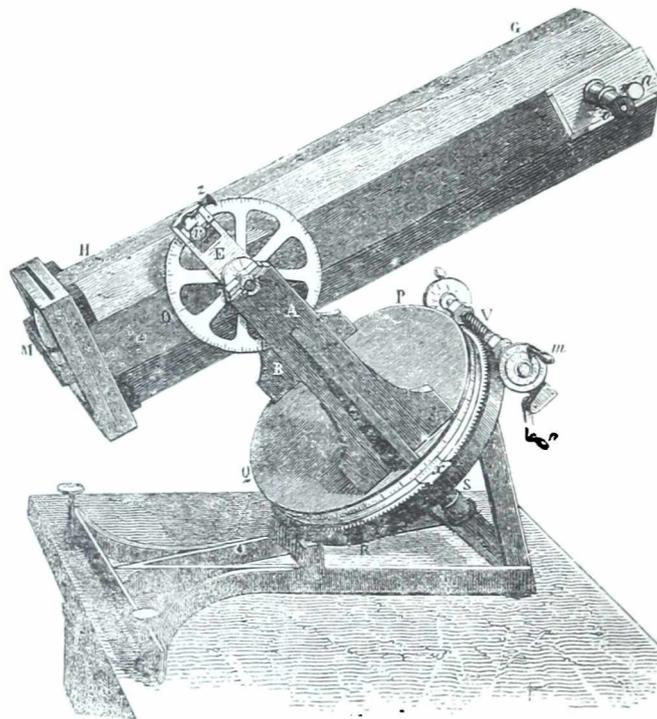


Fig. 402  
Telescopio de Foucault

Estos espejos *no tienen*, como es justo, *aberración de refrangibilidad* y la aberración de esfericidad la hizo desaparecer Foucault retocando convenientemente los espejos hasta darle la forma conveniente.

La *fig. 402* muestra un telescopio de *Foucault*.

El construyó uno para el Observatorio de Marsella, cuyo espejo tiene 0<sup>m</sup>,80 de diámetro.

En París hay otro, empezado á construir por *Foucault* y terminado después de su muerte, en el cual el espejo tiene 1<sup>m</sup>20 de diámetro y el tubo tiene más de 7 metros.

**650.--Telescopio de Herschell.**—El telescopio de *Herschell* representado en la *fig. 403*, consta como los anteriores de un tubo abierto, teniendo en el fondo un *espejo inclinado* de tal manera, que la imagen real se forma en o cerca de la abertura donde se coloca el ocular.

*Herschell* había llegado á una gran perfección en la construcción de los espejos.

En 1789 estableció en Londres un telescopio cuyo espejo tenía 2<sup>m</sup>,47 de diámetro y 12<sup>m</sup> de distancia focal.

El aumento era de 6.652 *diámetros*, y la nebulosa de la constelación de Orión tenía el mismo esplendor que la atmósfera en pleno día.

—*Lord Rose* construyó uno en Irlanda, cuyo espejo tenía 1<sup>m</sup>,83 de diámetro y 16<sup>m</sup>,76 de distancia focal.

El espejo sólo pesaba 3.800 kilogramos.

Los *telescopios* deben aplicarse para el estudio de la *constitución* de los astros, por la gran nitidez que nos dan en las imágenes, reservando para los *anteojos astronómicos* el estudio de la *posición y movimiento* de los mismos.

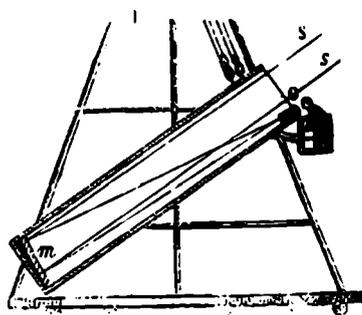


Fig. 403  
Telescopio de Herschell

## CAPÍTULO XII

## FOTOGRAFIA Y VISIÓN

**651.—Cámara Fotográfica.**—Se llama *Fotografía* el arte de *fixar las imágenes* producidas por la luz, en la cámara oscura.

*Niepce* fué el primero en tratar de fijar las imágenes haciendo uso de una ligera capa de *betún de Judea* depositado sobre una lámina de *cobre plateada*.

La exposición de la placa duraba *algunas horas* (10 ó 12 horas) y después se fijaba la imagen disolviendo el *betún de Judea* por medio del *petróleo* y *esencia de es-*

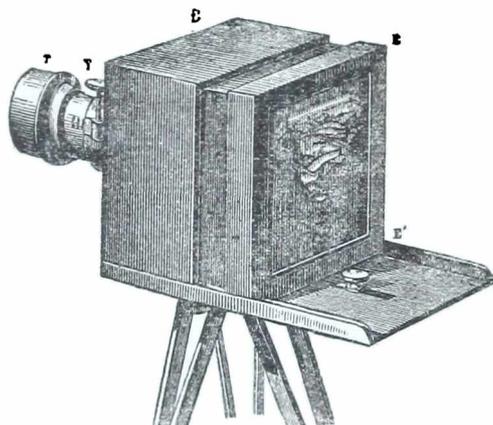


Fig. 404  
Cámara fotográfica

*pliego* que no disolvía el *betún de Judea* que había sido atacado por la luz.

Este método era muy deficiente, pues en las 10 ó 12 horas que duraba la exposición de la placa, las *sombras variaban* y por consiguiente se obtenía una imagen confusa.

Este procedimiento fué modificado por *Daguerre* al cual se asoció *Niepce* para seguir sus estudios.

La *cámara fotográfica* (fig. 404), ó cámara oscura á la que se le adapta la placa, consiste en una caja rec

tangular dividida en dos partes  $E$  y  $B$ , que puedan introducirse la una en la otra.

En la parte anterior de la caja  $B$  se fija un tubo  $T$  que lleva el objetivo, y la cara posterior  $E E'$  de la parte  $E$  está constituida por un vidrio esmerilado, sobre el cual se forman las imágenes de los objetos, cuya

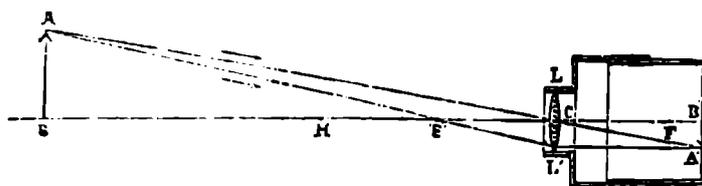


Fig. 404  
Cámara fotográfica

*nitidez* se obtiene introduciendo más ó menos la caja  $E$  en la  $B$  y haciéndose los pequeños movimientos por medio del tornillo  $V$ .

La marcha de los rayos luminosos está indicada en la *fig. 404*.

**652.—Daguerreotipo.**—*Daguerre* modificó el procedimiento de *Niepre*, haciendo que la exposición durara *solo algunos minutos*, basándose en la extrema sensibilidad para la luz del *yoduro de potasio* y á la acción del mercurio sobre la plata.

El procedimiento adoptado por *Daguerre* para fijar las imágenes sobre el metal tomó el nombre de *Daguerreotipo* y las operaciones á efectuar son las siguientes:

1° *Pulimento perfecto* de la lámina de cobre plateada, cosa que se obtiene con una muñeca de algodón y *tripoli* con algunas gotas de alcohol, terminándose la operación por medio de una piel y *colcothar*.

**653.**—2° *Depositar sobre la lámina la sustancia fotogénica*, que la pone en condición de recibir la impresión de la luz exponiendo la lámina de *cobre plateado*, á la acción de los *vapores de yodo*, durante *dos minutos*, lo cual nos dá sobre la lámina un depósito muy delgado de *yoduro de plata*.

Para hacer que la imagen se produzca rápidamente, se somete enseguida esa lámina á la acción de los *vapores de bromuro de cal*, con lo cual se habrá formado sobre la lámina de cobre también un *bromuro de plata*, llevándola otra vez, durante *un minuto*, á la acción del vapor de *yodo*.

De esta manera, pues, tendremos una lámina de cobre cubierta de una capa delgada de yoduro y bromuro de plata.

654.—3° *Exposición de la lámina á la acción de la luz*, lo cual se hace llevando esa lámina en un marco de madera que no reciba ninguna acción de la luz: luego se coloca en el lugar que ocupa la lámina *E E'* de la cámara fotográfica (*fig. 404*), y después de exponerla frente al *objeto* durante un tiempo más ó menos largo, que la práctica indica se tapa el tubo *T* y se retira la lámina de cobre.

Sobre esa lámina se habrá formado la imagen del objeto pero *invisible*.

655.—4° Para *hacer aparecer la imagen*, se lleva la lámina de cobre á una cajita de madera con fondo de fierro y se coloca inclinándola á 45° frente á un depósito de *mercurio* que está en el fondo de la caja y el cual por medio de una lamparilla de alcohol se calienta á 70° de temperatura.

La luz habiendo descompuesto el *yoduro y bromuro de plata*, nos dará cierta porción de la superficie de la placa en que *ya no existe* el yoduro, y por consiguiente, los vapores de mercurio se condensarán sobre esas partes y se depositarán en forma de gotitas sumamente pequeñas.

656.—5° Para evitar que el *yoduro* que ha quedado recubriendo el resto de la lámina de cobre plateada, pueda ser descompuesto por la luz, se introduce la lámina en una disolución al décimo de *hiposulfito de soda*, el cual disolverá todo el yoduro menos en los puntos en que está depositado el mercurio.

657.—6° Como los claros de la imagen están formados por las gotitas de mercurio, resulta que cualquier *frotamiento* puede hacer desaparecer la imagen, y para que sea inalterable, *Fizeau* indicó el procedimiento de colocar bien horizontal la lámina y verter sobre ella una disolución de *cloruro de oro mezclado con hiposulfito de soda*, y calentarla á la lamparilla de alcohol. Entonces se deposita una especie de barniz, formada por una capa de oro que da más tono y realce á la prueba.

658.—*Fotografía sobre el papel*.—Este método ideado por *Tolbot*, antes que *Daguerre* imaginara su procedimiento, pero no publicado, por no haber llegado á la perfección, consiste en formar un *cliché*, por medio del cual después se pueden tirar cuantas pruebas se quieran.

El *cliché* puede hacerse en papel, pero generalmente se hace en *vidrio*.

Este grabado en el vidrio constituye lo que se llama el *negativo*, y la prueba que se tira en el papel se llama la prueba *positiva*.

—El procedimiento para preparar las láminas de vidrio es el siguiente:

Se lava perfectamente la lámina de vidrio.

Se vierte sobre su superficie una capa de *colodion* mezclado con bromuros y yoduros solubles.

Antes que esto se haya secado, se introduce la lámina en un baño que contiene un 10 % de *nitrato de plata*, y entonces sobre la placa se depositará una película de *bromuro y yoduro de plata*.

Todas estas operaciones deben hacerse en una habitación oscura, sin más luz que una lamparilla con un vidrio *amarillo anaranjado*.

Enseguida, húmedo aún, se lleva al aparato fotográfico donde se expone durante 8 ó 10 *segundos*.

Así ya tenemos la *imagen latente*, la cual se puede *revelar* introduciéndola en una disolución que contiene *ácido pirogálico* y *ácido acético cristalizado*, calentándolo ligeramente.

Para *fixar* la imagen, se lava la placa con hiposulfito de soda, que arrastra ó disuelve todo el yoduro de plata que está aún sin atacar, y por consiguiente la imagen ya será *inalterable* á la acción de la luz.

Se lava perfectamente con agua destilada y se tiene así preparado el *negativo*.

—Hoy se venden las placas sensibles secas preparadas con gelatina y bromuro de plata y también el papel sensible.

**659.—Pruebas positivas.**—Los *retratos ó fotografías* se obtienen después en el número que se quiera, haciendo uso de papel *albuminado*, que se vende en el comercio.

Se corta un pedazo de ese papel de un tamaño algo mayor que la lámina de vidrio y se introduce durante 5 minutos en un baño de *nitrato de plata* al 20 % lo que

hará que el papel se recubra de una capa de cloruro de plata.

Una vez que se haya secado el papel se pone en contacto con el negativo en un marco de madera, y se *expone á la luz*. Las partes claras del vidrio dejan pasar la luz, y ennegrecen el papel, y las partes oscuras, no dejando pasar la luz, dejarán inalterable el papel.

Enseguida se lava *con agua* para arrastrar el nitrato de plata sobrante y después se introduce en un baño conteniendo 1000 gramos de agua, 100 de *hiposulfito de soda* y 1 gramo de *cloruro de oro*.

**660.—Fotografía instantánea.**—Hoy en día, aumentando la *sensibilidad de la capa fotogénica* y el diámetro del objetivo, se ha llegado á obtener fotografías de *objetos movibles ó animales en marcha*. Es el *cinematógrafo*.

La carrera de un caballo, el vuelo de un pájaro se ha podido obtener de una manera continua.

—Ultimamente *Edison* por medio de su *Kinestoscopio* ha conseguido reproducir *con todos sus movimientos* varias escenas de la vida.

Para obtener eso, *Edison* sitúa su aparato fotográfico delante del grupo que quiere reproducir y saca hasta *40 imágenes por segundo*.

Reproduce *esas imágenes* en una tira de *celuloide* que después son expuestas ante el observador, *muy iluminadas*, y con un rapidísimo movimiento, y como en el ojo una imagen persiste durante 0'10 de segundo resulta que el observador va viendo la sucesión de todos los movimientos de las personas y animales, sin que haya movimiento brusco alguno. Es admirable.

Ligando el *Kinestoscopio* á un *fonógrafo*, *Edison* ha formado el *Kinetófono* en el cual no solo se ven los movimientos de las personas, sino también se oyen sus voces ó cantos.

—Hoy se ha llegado á obtener la fotografía de los colores.

—Sería salir del marco de este texto, indicar los procedimientos seguidos separadamente por Becquerel, Lippmann y Lumiere que tan espléndidos resultados han dado.

**661.—Ojo.**—El *ojo* es el órgano de la *visión*, es decir, el órgano mediante el cual se conoce la *forma*, el *color*, el *estado físico*, etc., ó todas las cualidades físicas de los cuerpos, que dependen de la luz.

El *órgano de la visión* consiste en *dos* ojos ó globos que contienen diferentes humores, y que están contenidos en dos cavidades llamadas *órbitas* del ojo.

Estos globos pueden moverse en todos sentidos, por medio de ciertos músculos, que al mismo tiempo los sostienen en la órbita del ojo.

Otro músculo ó membrana *aa* que termina en la parte interior de los *párpados* *p p*, llamada conjuntiva, se pliega cuando los párpados se cierran y *humedece* el globo del ojo con un jugo acuoso, segregado por la *glándula lagrimal*, que está detrás de la conjuntiva.

Las *cejas* colocadas sobre el ojo, están destinadas á detener el sudor que de la frente podría resbalar hasta los ojos, y las *pestañas* de que están unidos los párpados, sirven para detener los pequeños objetos que flotando en el aire, penetrarían en el globo del ojo y serían muy molestos.

El globo del ojo está rodeado por una envoltura, dividida en dos partes y de distinta curvatura.

Una *SS* dura y resistente llamada *Esclerótica* ó *Córnea opaca*, y la otra *T* colocada en la parte anterior del ojo y de una curvatura muy pronunciada, que es incolora y transparente y que toma el nombre de *córnea transparente*.

A través de la córnea transparente se ve un diafragma *coloreado* *i i*, llamado *Iris*, el cual puede ser *gris*, *azul*, *castaño*, etc., según las personas y las razas.

Esta membrana está agujereada casi en su centro, y á esa abertura se da el nombre de *Pupila*.

La *pupila* puede dilatarse ó contraerse por las contracciones de las fibras del *Iris*, y es *circular* en el hombre, *alargada verticalmente* en los felinos y *horizontalmente* en los rumiantes.

662.—Detrás de la pupila se encuentra (*fig. 406*), el *Cristalino L*, que es un cuerpo sólido, *lenticular*, transparente y cuya cara *anterior es menos convexa* que que la cara interior.

Ese lente contiene en su interior albumina y gelatina, cuya densidad aumenta del exterior al centro.

Dicho cuerpo no es *homogéneo*, sino que está formado por capas sobrepuestas *C*, cuyo índice de refracción va aumentando del exterior al interior.

Está contenido en una membrana delgada que forma la *cápsula del cristalino* y sostenido por una membrana plegada llamada *corona ciliar*, que está formada por los *procesos ciliares c c*.

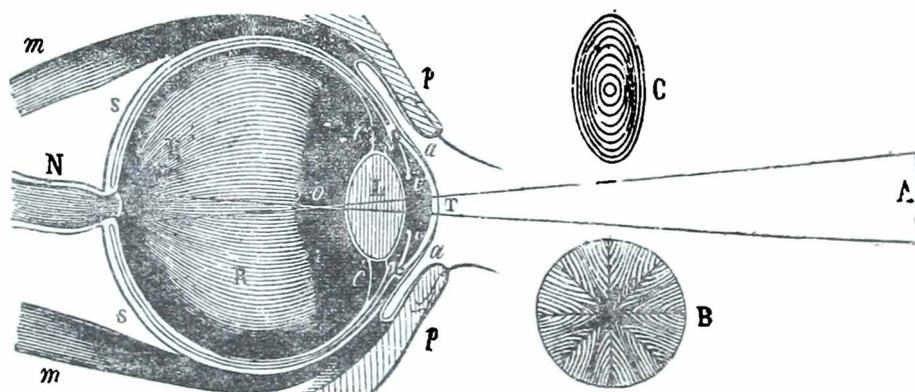


Fig. 406  
Marcha de un rayo en el ojo

El *iris* divide el ojo en dos partes llamadas *cámara anterior* y *cámara posterior*.

La *cámara anterior* está llena de un líquido que es agua con materias albuminoideas, líquido que toma el nombre de *humor acuoso*.

La *cámara posterior* está situada entre el iris y el *cristalino*.

La cavidad *R*, comprendida detrás del cristalino, está llena del *humor vítreo* llamado también *cuerpo vítreo*, el cual es una sustancia incolora y transparente que tiene la consistencia de la gelatina endurecida. El cuerpo vítreo está envuelto por una membrana transparente y muy delgada llamada *Ialoide*.

**663.**—En la parte posterior del ojo penetra un *nervio* muy grueso *N*, llamado *nervio óptico*, el cual, después de atravesar la esclerótica y la córnea opaca, *se ramifica*, extendiendo sus fibras y formando una membrana muy delicada llamada *Retina*.

La *retina* está separada de la esclerótica por una membrana intermedia llamada *coroide*, cuya faz anterior está recubierta por una sustancia negra llamada *pigmento*, que falta en los *albinos*.

La retina, verdadera *red de nervios*, es la que recibe la impresión de la luz y la transmite al cerebro por intermedio del nervio óptico.

*Ball* descubrió que la retina está recubierta de una capa de una sustancia llamada *púrpura roja ó púrpura de la retina*, la cual es *atacada* por la luz, produciéndose un verdadero fenómeno químico análogo al que se produce sobre las chapas fotográficas.

Esa púrpura *se regenera* continuamente y de allí el fenómeno de la *persistencia de las imágenes* en la retina, por la *duración* aunque pequeña de la reacción química que se produce.

Si se corta la retina ó un nervio óptico, se reciben *sensaciones luminosas*.

**664.**—**Mecanismo de la visión.**—Algunos de los rayos emitidos por los cuerpos que están ante nuestros ojos y que *caen sobre la córnea* transparente, parte se reflejan y otros penetran al interior.

Los rayos que se reflejan lo hacen como si lo hicieran sobre un *espejo convexo*, y por eso las *imágenes* que vemos en los ojos de las personas que están delante de nosotros son *pequeñas*.

Los rayos que penetran en la cámara transparente, y atraviesan el humor acuoso, llegan al *iris*, diafragma que no deja pasar los rayos que están muy separados del eje óptico, con lo cual se evita la *aberración de esfericidad*.

Llegados los rayos luminosos al *crystalino*, éste hace el papel de *lente y reconcentra los rayos*, formando sobre la retina los focos conjugados de los diferentes puntos luminosos del objeto.

Se tiene, pues, sobre la retina, una *imagen a b más pequeña é invertida* del objeto *A B*.

La impresión producida sobre la retina es *transmitida al cerebro* por medio del nervio óptico.

**665.—Imágen en la retina.**—Se ha formado sobre la retina, una *imágen invertida del objeto*, de una manera análoga á las imágenes que se producen en la cámara oscura.

Para comprobar eso, puede repetirse el experimento de *Magendie* que consiste en tomar un ojo de un conejo *albino* para que la *coroide* no tenga *pigmento* y permita el paso de la luz. Se coloca ese ojo delante de una luz intensa, y se mira por la parte posterior: se verá perfectamente la *imágen invertida* del objeto.

—La cuestión del *porqué* vemos *derechos* los objetos que se dibujan invertidos ha sido muy discutida.

*Descartes, Kepler, de Alembert*, etc., suponen que nosotros transportamos la impresión recibida en la *dirección normal á la superficie* de la retina, del mismo modo que cuando nos hiere un proyectil, nosotros creemos que el proyectil ha venido normalmente á la parte herida.

Así los ejes secundarios *A O a* y *B o b*, según los cua-

les nos llegan los rayos de los puntos *A* y *B*, hacen las veces de los dos bastones *cruzados* que lleva un ciego.

Si choca con el bastón que lleva en la mano *derecha*, el ciego *transporta la sensación* y sabe que el objeto con que ha chocado está á la *izquierda*, y viceversa.

**666.—Persistencia de las imágenes en la retina.**—Una vez que se forma una imagen en la retina, tarda un cierto tiempo *en desaparecer la sensación*; ese tiempo es de un *décimo* de segundo y según *Plateau*, de *medio segundo*.

Esto se pone de manifiesto moviendo rápidamente un punto luminoso, con un carbón encendido. Si el movimiento es bastante rápido, *se ve una línea* luminosa, en vez de un *punto* luminoso.

El *fotómetro* de *Wheatstone*, el *Kaleidófono*, el *Cinematógrafo* el *Kinetoscopio*, son aparatos fundados en la persistencia de las imágenes en la retina.

También la *impresión de los colores* persiste, como lo comprueba el experimento que ya conocemos del disco de Newton.

**667.—Miopía, hipermetropía, distancia de la vista distinta y presbicia.**—Se llama *distancia de la vista distinta* la *más pequeña distancia* á la cual se pueden ver *claramente* los objetos.

Este punto suele llamarse también *punctum proximum*.

Para los ojos de *vista normal*, esta distancia *varía* entre 25 y 30 *centímetros*. Para los ojos *miopes* esta distancia *es menor*, y si la distancia distinta es mayor que la indicada, el ojo se llama *presbita*.

El mismo ojo normal, sin embargo, puede ver *nítidamente* á diferentes distancias en virtud de su *poder de acomodación*.

Esa acomodación es *expontánea* en el ojo, y debida á que el *crystalino* puede *aumentar y disminuir su convexidad* por medio de la *contracción* del músculo ciliar.

—La *presbicia* es debida á una *insuficiencia de la acomodación*.

En todo *ojo normal* para la refracción (*emetrope*), los rayos paralelos, es decir, partidos de un punto colocado en el infinito deben formar exactamente su foco en la retina. Este punto que ha de dar rayos paralelos, está colocado en el *infinito* y se llama *punctum remotum*. Los ojos en los que los rayos partidos del *punctum remotum* forman su foco más acá

ó más allá de la retina, son *ojos anormales* para la refracción ó *emetro- pes* llamándose en el primer caso *miopes* y en el segundo *hipermetropes*.

Las personas que ven con *nítidez* á una distancia *menor* de 25 ó 30 *centímetros* son *miopes* y las que no ven nítidamente sino á una distancia mayor son *presbitas*.

**668.—Corrección de la Hipermetropía, Miopía y Presbicia.**—Se corrige la *miopía* por medio de *lentes cóncavas ó divergentes*, es decir, que hagan avanzar hacia la retina la imágen que tiende á formarse *más acá* de ella.

Se corrige lo *hipermetropía* por medio de *lentes convexas ó convergentes*, ó sea lentes que hagan *retroceder* la imágen que tiende á formarse *más allá* de la retina.

—La *presbicia* se corrige con la misma especie de lentes, los que en ese caso tienen por objeto suplir la deficiencia de la acomodación, mientras en los otros casos, tienen por objeto corregir defectos de la refracción.

**669.—Astigmatismo.**—Es otra de las enfermedades del ojo que produce deformaciones en la imágen del objeto.

Casi todos somos astigmatas, y es debido á una deformación de la cornea transparente, por la cual, no se pueden ver claramente á la vez, una línea recta vertical y otra horizontal.

Se corrigen con lentes cilíndricos.

**670.**—El número de los lentes está dado por *una, dos, tres, etc., dióptrías* y esto quiere decir que la distancia focal de un lente es de 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  ... de metros, es decir de 1m; 0,50m; 0,33m...

**671.—Visión de los colores.**—Mezclando *rojo, amarillo y azul*, podemos para un ojo normal reproducir cualquier color.

A este respecto hay tres enfermedades: la *tricromasia anormal*, el *daltonismo* y la *acromasia*.

—La *tricromasia anormal* consiste en que el que la padece vé con exceso de verde, por eso la que á un ojo normal le parece blanca á ellos les parece rosa y el verde les parece blanco.

—El *daltonismo* es una enfermedad por la cual no se distingue el *rojo* del *amarillo* y del *verde*, y pueden reproducir todos los colores que ven con dos colores solamente con el amarillo y el azul.

El 5 % de los hombres padecen dicha enfermedad y por eso se somete á exámen á los maquinistas de los ferrocarriles para que no confundan las señales.

—La *acromasia* es muy rara y es una enfermedad por la cual no se ve ningún color.

**672.—Ceguera.**—La ceguera es la privación de la vista de los animales sin la acción de ningún elemento exterior.

Varias son las causas que pueden producirla como ser:

1º La formación de una pantalla (catarata), en el órgano de la vista, que impide que los rayos luminosos lleguen á incidir en el cristalino.

2º Deformación excepcional del cristalino, de manera que *aumentando ó disminuyendo la curvatura* no se forme la imágen de los objetos exteriores en la retina.

3º Descomposición de los medios transparentes del ojo, cuerpo vítreo, humor acuoso, etc., convirtiéndolos en opacos.

4º Insensibilización de la placa fotográfica (retina) del ojo.

5º Atrofia del nervio óptico, que impide la transmisión de la sensación al cerebro.

Estas causas pueden ser innatas ó adquiridas.

Creemos que la ceguera causadas por las 2ª y 3ª causa podrán ser en parte corregidas aplicando los rayos de Röntgen.

**673.—Visión con los dos ojos.**—Cuando se mira un objeto con los *dos ojos*, se forman *dos imágenes* distintas y sin embargo recibimos la sensación de *una sola*.

*Brewster* atribuye esa *unidad de sensación* á la costumbre ó hábito que tenemos de referir á un mismo objeto las impresiones *simultáneas*.

*Taylor* y *Wollaston* dicen que sobre las dos retinas hay puntos *homólogos* llamados *puntos idénticos*, los que corresponden á un mismo filete nervioso, que se bifurca en el cruzamiento de los dos nervios ópticos.

—Si con un dedo *desviamos* uno de los globos, los objetos se ven *dobles* y esto es debido á que las imágenes ya no se han formado sobre los *puntos idénticos*.

—No es posible adaptar un ojo á una distancia y el otro ojo á otra distancia, lo cual se comprueba mirando dos objetos que estén en una misma dirección, pero á *distintas distancias*, y se observará que cuando se ve nitidamente un objeto, el otro se ve confuso.

—La *visión binocular* es indispensable para notar el *relieve* de los objetos.

Efectivamente, si miramos separadamente con el ojo izquierdo y el derecho un objeto colocado á pequeña distancia, que esté aislado y sin proyectar sombras, por ejemplo, un libro sobre una mesa, en el primer caso se ve la tapa del libro y parte del canto de la izquierda, y en el segundo caso, también la tapa del libro y parte del canto de la derecha.

Finalmente, si miramos *con los dos ojos*, las dos imágenes que se han formado en las dos retinas, aunque diferentes, *se superponen* y nos dan una imágen única, diferente de las dos primeras, y en la que *el relieve* es notable.

**674.—Estereoscopio.**—Basándose en lo expuesto se ha construido el *Estereoscopio* (ver sólido), inventado por *Brewster* en 1850.

Consiste este aparato en dos prismas ó trozos de un mismo lente opuestos por sus ángulos, y detrás de los cuales se colocan los ojos.

A una cierta distancia se colocan las láminas que forman el dibujo *estereoscópico*, y en virtud de la refracción de los lentes, las dos imágenes se forman en un solo punto, donde se ve la imagen en *relieve*.

Si en lugar de los dos dibujos, colocamos dos discos con colores *complementarios*, se verá solo un disco *blanco*.

**675.—Fuentes de luz.**—Ya dijimos que las fuentes de luz se dividen en *naturales* y *artificiales*.

Son *artificiales* la luz producida por las *reacciones químicas*, el *calor* y la *electricidad*, y son fuentes *naturales*, la luz del *sol*, de las *estrellas*, de los *meteoros luminosos*, y la *fosforescencia*.

—La *Fosforescencia* es la propiedad que poseen muchos cuerpos de *emitir luz* á temperaturas menores de 500°.

La fosforescencia es *espontánea* como la que se observa en algunos *animales* y *vegetales*, plantas que se han expuesto al *sol*, las *luciérnagas*, las *medusas*, etc.,

La *fosforescencia* producida por el *calor*, se nota en los *diamantes* y en el *espatofluor*.

—La *fosforescencia* es también producida por acciones mecánicas; como frotando dos trozos de *espatofluor* ó rompiendo un trozo de *azúcar*.

Finalmente se tiene la fosforescencia producida por la *luz solar* y por la acción de la *electricidad*.

**676.—Fluorescencia.**—La *fluorescencia* es una especie de *fosforescencia instantánea*.

Ciertos cuerpos como las soluciones de *sulfato de quinina*, la *clorofila*, ciertos trozos de *espatofluor*, etcétera, cuando se exponen á los rayos violetas ó ultravioletas del espectro solar, toman un tinte azulado, expandiendo por consiguiente luz.

Parece que estos cuerpos tuvieran la propiedad de

---

convertir los rayos más refrangibles que el violeta *en rayos menos refrangibles* y por consiguiente convertirlos *de oscuros en luminosos*.

La *diferencia* capital entre la fosforescencia y la fluorescencia consiste en que la fosforescencia tiene alguna duración después que ha cesado la acción de la luz, la fluorescencia cesa en el mismo momento que cesa la luz.

---

CAPÍTULO XIII

---

**METEOROS LUMINOSOS**

---

**677.—Escintilación.**—Los meteoros luminosos tienen por causa:

1º La diferente densidad de las distintas capas atmosféricas.

2º La presencia del vapor de agua en la atmósfera.

3º La electricidad atmosférica.

—Entre los fenómenos pertenecientes á la primera categoría tenemos el *Mirage* de que ya hemos hablado; la *refracción* por la cual los astros parecen más elevados de lo que están y la *escintilación*.

Este fenómeno y el cambio de color de las estrellas son debidos á la absorción y dispersión de la luz al atravesar las capas de aire de distinta densidad.

Los astros que producen escintilación son las estrellas, debido á la enorme distancia á que están, por cuyo motivo, todos los rayos que nos envían pueden considerarse como paralelos.

Como es fácil preverlo en el aire húmedo, la escintilación es mayor que en el aire seco.

**678.—Fata Morgana.**—Este fenómeno, lo mismo que los *Halos*, *Parelios*, *Coronas* y *Arco Iris*, son debidos á la presencia del vapor de agua en la atmósfera.

La *Fata Morgana* es una ilusión óptica que se presenta en la orilla del mar, en *Nápoles*, *Reggio* y otros puntos de la costa de Sicilia.

Transcribimos la descripción hecha por *Milani*:

«En una extensión de varias leguas, ví el mar de la costa de Sicilia, tomar la apariencia de una cadena de montañas, mientras que del lado de la *Calabria* las aguas permanecían perfectamente unidas. Sobre éstas, veíanse dibujadas al claro oscuro una serie de miles y miles de pilastras todas iguales, en altura, en distancia relativa y en los tonos de luz y sombra.

En un instante, todas las pilastras perdieron la mitad de su altura y aparentaron enconarse en forma de arcos y bóvedas como los acueductos romanos.

Se vió enseguida formarse sobre la cima, un largo cornizón y aparecer una gran cantidad de castillos, todos perfectamente iguales. Poco después estos castillos se transformaron, formando torres, las cuales desaparecieron también, hasta no dejar ver más que una serie de columnas, después ventanas y finalmente pinos y cipreses, multiplicados al infinito.»

Este fenómeno se produce al amanecer y desaparece cuando el sol está en todo su esplendor.

**679.—Halos, Parellos, Coronas.**—Los *Halos* son unos círculos concéntricos con el sol, que aparecen á veces alrededor de él (*fig. 407*), y están formados por bandas de distintos colores como el *espectro solar*. En los *Halos* el rojo está siempre al *interior* y el violeta al *exterior*.

A veces se presenta un solo arco, como el *H* y entonces el radio del círculo es de  $23^{\circ}$  y otras veces se presenta doble como *H* é *I* y el radio de este segundo círculo es de  $46^{\circ}$ , es decir, doble del primero.

A veces aparecen también arcos tangentes *A, A*, coloreados como los círculos.

Los halos se presentan también alrededor de la *luna*, pero entonces la coloración es más débil.

*Mariotte*, atribuye la formación de los halos á la descomposición de la luz en las agujas prismáticas de hielo

que forman los cirrus. Generalmente suele verse formando el diámetro horizontal del halo, un círculo horizontal blanco  $P S P$  que pasa por el centro del sol. Este círculo se llama *círculo parélico* ó *círculo blanco*.

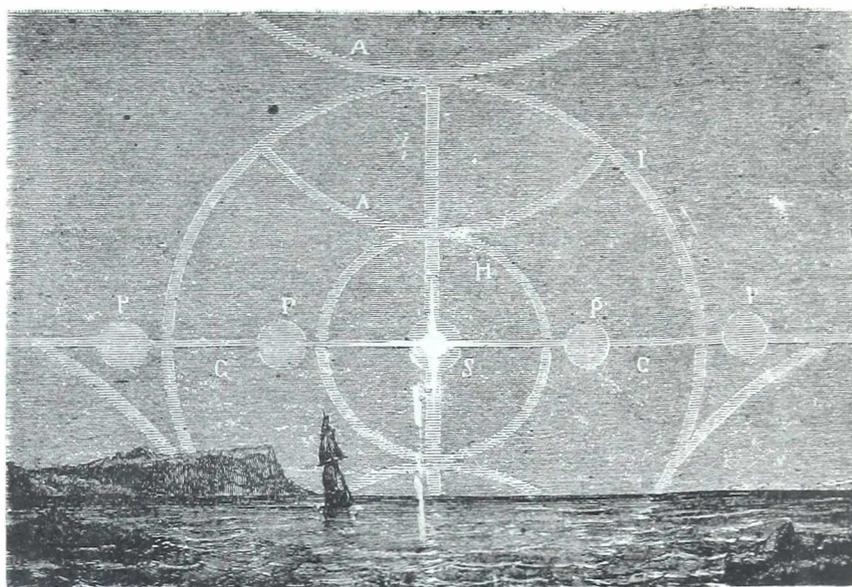


Fig. 407  
Halos

A los extremos del diámetro horizontal de los halos suelen formarse las imágenes  $P, P$ , del sol, imágenes que toman el nombre de *parelios*, siendo más brillantes las dos imágenes que corresponden al *halo menor*.

Otras veces suele observarse una imagen blanca del sol en un punto del círculo parélico, que es diametralmente opuesto al sol.

Esta imagen toma el nombre de *antelio* ó *falso Sol*.

658.—Finalmente, se llaman *Coronas*, unos círculos concéntricos coloreados que aparecen alrededor del sol y de la luna, análogos á los halos, pero diferenciándose de éstos en que el radio es solo de 2 á 4 grados y que tienen una posición inversa de los colores, es decir, que

el *rojo* está siempre al *exterior* y el *violado* al *interior*.

Este fenómeno es debido á la refracción que sufre la luz al pasar á través de una nube formada por pequeñas gotitas esféricas, iguales.

**659. —Aurora polar.**—La *aurora polar* es el meteoro más varavilloso, que le es dado observar al hombre. Se observa en las regiones polares y toma el nombre de *aurora boreal* y *aurora austral*, según se verifica en el polo *Norte* ó *Sud*.

Más bien que un meteoro luminoso, es un *meteoro eléctrico*; pues á la electricidad se atribuye su causa, pero como lo más notable que presenta es la parte luminosa, por eso lo hemos colocado en este capítulo.

Horas antes de producirse el fenómeno, se observan perturbaciones en la aguja magnética y llega hasta impedir el funcionamiento del telégrafo eléctrico, como se constató el 29 de Agosto y el 1<sup>o</sup> de Septiembre del año 1858 en toda la Europa, en que debido á las auroras polares, los despachos eran interrumpidos y las campanillas funcionaban sin cesar.

Damos á continuación la descripción que encontramos en *Milani*:

«Antes que este estupendo espectáculo se manifieste, el cielo del lado del polo se pone oscuro en el horizonte, y poco después aparece como una cortina vaporosa de color violáceo tan ténue, que permite ver á través de ella las estrellas.

Esa cortina que tiene la forma de un segmento circular, es tanto menos visible cuanto más alta es la latitud del lugar del observador. La porción superior de ese segmento, se ilumina al principio por un débil resplandor y enseguida la luz se va haciendo más regular y en el borde externo, aparece poco después un arco luminoso con la concavidad dirigida hacia la tierra y su cima, colocada sensiblemente, en el meridiano magnético. El arco va creciendo en esplendor y anchura y á veces

se divide en varias partes; su color amarillo pálido como el de la luna, puede ofrecer reflejos rosados, azulados y violáceos. Cada observador, según su posición especial vé un arco particular.

El arco coloreado asciende en el horizonte y sucede á veces, verlo horas y horas enteras, agitado en toda su extensión por una especie de temblor ú ondulación que lo invade de una manera continua. Mientras tanto, se dibujan estrias negruscas y al mismo tiempo estrias fulgidísimas, verdaderos rayos de diferente longitud y esplendor, los cuales se dirigen hacia arriba y como fuegos de artificio se destacan en el firmamento

Estos rayos admirables, se multiplican, se quiebran, pasan el zenit, pareciendo converger todos á un mismo punto del cielo. Cada faja flamígera, en ciertos momentos dotada de un fulgor que deslumbra, pasa del color rojo púrpura al verde esmeralda y domina generalmente una coloración amarilla esplendidísima.

Esos rayos que así dardean, llegan á ser tan numerosos que invaden toda la bóveda celeste del lado del polo, formando una inmensa cúpula de fuego, ondeante y cuya magnificencia supera á toda descripción.

Generalmente, la formación de la cúpula que se suele llamar *corona*, indica el próximo fin del espectáculo; los arcos palidecen, los rayos se hacen más débiles y se apagan y finalmente, toda apariencia del fenómeno cesa del todo».

Se atribuye este fenómeno á la presencia de grandes cantidades de electricidad en los polos debido á los vapores de agua que salen de los trópicos, junto con el aire dilatado y se trasportan hacia los polos cargados de electricidad y allá forman nubes compuestas de pequeños cristales de hielo, y entonces según *de la Rive*, las auroras serían debidas á descargas eléctricas entre la electricidad positiva de la atmósfera y la negativa de la tierra.

Es la manifestación más brillante de la *Energía Universal*.

# APÉNDICE

---

## SISTEMAS DE UNIDADES

---

**682.—Unidades absolutas.**—Al estudiar las *leyes que rigen los fenómenos y sus causas*, que es el objeto de la Física, hay que *medir* continuamente *dimensiones*.

Pero como *medir* una dimensión es *compararla* con otra *cantidad definida* de la misma especie, que toma el nombre de *Unidad*, para poder estudiar y cotejar los resultados obtenidos en los diferentes puntos del globo, era necesario tener un *sistema de unidades*, que tuviera la ventaja de ser *fijo é invariable*, al mismo tiempo que permitiera *deducir de él* otras unidades de *segundo orden*.

**683.—Unidades fundamentales y derivadas.**—Se llaman unidades *fundamentales* las unidades perfectamente definidas que sirven de base para determinar por medio de relaciones simples, todas las medidas que necesitamos, las que toman el nombre de *unidades derivadas*.

**684.—Sistema métrico.**—El sistema métrico es un sistema de *unidades absolutas*, constituido por *tres unidades fundamentales* que son la unidad de *longitud*, la unidad de *fuerza* y la unidad de *tiempo*.

—La *Unidad de Longitud* es el **metro**, que es la longitud de una barra de platino á la temperatura de 0°, que está depositada en París, y que equivale próxima-

mente á la *diez millonésima parte* del cuadrante del Meridiano Terrestre.

—La *unidad de fuerza* es el **kilogramo** y equivale al peso, en el vacío, de un *decímetro cúbico* de agua destilada á 4° de temperatura á la latitud de París y á la presión del nivel del mar.

—La *Unidad de tiempo* es el **segundo** que es la  $\frac{1}{86400}$  del día solar medio.

De estas unidades *fundamentales* se han deducido las *unidades secundarias* siguientes:

—La *Unidad de masa*, es la masa de un cuerpo, al cual, un kilogramo de fuerza imprimiría la *aceleración de un metro*.

—La *unidad de trabajo*, que se llama **kilográmetro** que es el trabajo necesario para vencer la *resistencia de un kilogramo* á lo largo de un metro.

—La *unidad de potencia* de un motor cualquiera, que es la potencia que *hace* un trabajo de **un kilográmetro en un segundo**.

La *unidad industrial de potencia* es el **poncelet** que equivale á *100 kilográmetros por segundo*.

—Otra *unidad industrial de potencia* es el **caballo-vapor** que equivale á *75 kilográmetros por segundo*.

**685.—Sistema general de unidades absolutas.**—Todos los grandores ó tamaños pueden ser avaluados con ayuda de las tres unidades.

*Longitud—Masa—Tiempo*—cuyos símbolos son:

**L — M — T**

Estas unidades *fundamentales* son *irreductibles*.

**686.—El congreso de Electricistas de París** celebrado en 1881 marcó las siguientes unidades fundamentales:

—Como unidad de *longitud* el *centímetro*.

—Como unidad de *masa*, la masa de un *gramo*.

—Como unidad de *tiempo* el *segundo* de tiempo medio.

Este, pues, es el sistema *Centímetro—Gramo—Segundo*, cuyo símbolos son:

**C — G — S**

—De estas tres unidades pueden deducirse fácilmente *todas las unidades* que sirven para medir las cantidades mecánicas, las cuales toman el nombre de *Unidades Derivadas*.

—Su conjunto forma el *Sistema absoluto de Unidades*.

—El número de sistemas que se pueden formar es infinito. Basta variar el valor de las tres unidades fundamentales.

**687.** —Si imaginamos que se tiene un objeto  $O$ , que se mide con una unidad  $N$  y que la expresión numérica es  $n$  tendremos que

$$O = n N$$

Si variamos la unidad y ahora es  $N'$ , resultará que la expresión numérica ya no será  $n$  sino  $n'$ , luego se tendría

$$O = n' N'$$

y comparando con la anterior sale

$$n N = n' N'$$

de donde

$$\frac{n}{n'} = \frac{N'}{N}$$

que nos dice:

« La relación entre los valores numéricos de una misma cantidad, es inversamente proporcional á los tama-

« ños de las unidades que han sido sucesivamente empleadas en la medida».

**688.—Unidades generales derivadas.**—Debemos definir previamente lo que llamamos *Dimensión* de una unidad derivada que es: «La relación que liga la unidad á las unidades fundamentales».

Así, la *Unidad de Superficie* es la superficie de un cuadrado construido sobre la unidad de longitud, es decir

$$S = L^2$$

luego se dice:

« La unidad de superficie es de dimensión *dos* en *longitud*, *cero* en masa, *cero* en tiempo».

—Si fuera la unidad de volúmen sería

$$C = L^3$$

luego la unidad de volúmen es de dimensión *tres* en *longitud*, *cero* en masa, *cero* en tiempo.

—La *Velocidad*  $V$  sería

$$V = \frac{E}{T} = E T^{-1} = L T^{-1}$$

puesto que el símbolo del espacio  $E$  recorrido ó longitud, es  $L$ .

—La *Aceleración* sería

$$\gamma = \frac{V}{T} = \frac{L T^{-1}}{T} = L T^{-2}$$

—La *Fuerza* sería

$$F = M \gamma = M L T^{-2}$$

—El *Trabajo* sería

$$W = F \times E = L M T^{-2} \times L = L^2 M T^{-2}$$

**689.—Unidades derivadas del sistema C. G. S.**—Las dimensiones de las unidades derivadas C. G. S. se obtienen sustituyendo á los símbolos **L, M, T**, los símbolos **C, G, S**. Luego se tendrá

$$\begin{aligned} S &= C^2 \\ C &= C^3 \\ V &= C S^{-1} \\ \gamma &= C S^{-2} \\ F &= C G S^{-2} \\ H &= C^2 G S^{-2} \end{aligned}$$

y así se podría ir deduciendo todas las otras unidades que hemos adoptado en el curso, pero esto nos llevaría á formar un nuevo libro.

Como vemos, se ha *reducido* la longitud á la *centésima parte* del metro y en vez de la unidad de *fuerza*, se ha introducido la unidad de *masa*, pues el peso *varía* con la *latitud* y la *altura*, mientras que la masa no sufre esas variaciones.

—La *Unidad de fuerza* se llama **Dina**, y es la fuerza que obrando sobre *un gramo*, le comunica la *aceleración de un centímetro por segundo*.

—La *Unidad de aceleración* es el *aumento de velocidad de un centímetro por segundo*.

—La *Unidad de trabajo* se llama **Erg** y es el trabajo que vence la resistencia de *una dina* á lo largo de un centímetro.

—La *Unidad de potencia* corresponde á un trabajo de *un erg por segundo*.

Cuando se trataba del *sistema métrico decimal de pesas y medidas*, indicamos el significado de los prefijos *deca, hectro, kilo, miria, deci, centi, mili*, que creemos inútil repetir.

—Debemos agregar otros dos, que son:

*Méga* que corresponde á *un millón* de unidades, y *Micro* que corresponde á *un millonésimo* de unidad.

Así la *Megadina* equivale á *un millón de Din*as, y el *Microerg* equivale á *un millonésimo* de Erg.

## UNIDADES ELÉCTRICAS

---

**690.—Unidades Electromagnéticas C. G. S.**—Como sabemos, la electricidad es una forma de la *Energía*. Los fenómenos *eléctricos* son fenómenos *mecánicos*, luego los tamaños eléctricos de *Cantidad*, *Intensidad*, *Diferencia de potencial*, *Resistencia* y *Capacidad*, deben poder relacionarse con las unidades fundamentales de *Longitud*, *Masa* y *Tiempo*, es decir, con las unidades absolutas del sistema *C. G. S.*

—Según se adopte como punto de partida las *atracciones eléctricas* ó las acciones recíprocas de las *corrientes* y los *imanes* se tendrá un sistema de *unidades electrostáticas* absolutas á un sistema de *unidades electromagnéticas*.

Este último sistema, es el que ha sido consagrado por el *Congreso de electricistas*, celebrado en París, en el año 1881.

Estas unidades estarán definidas por las siguientes fórmulas:

$$Q = I t$$

$$J W = E I t = E Q$$

$$Q = C E$$

$$I = \frac{E}{R}$$

Donde representan:

*I* = *Intensidad* de la corriente.

*E* = *Fuerza* electromotriz.

$C$  = Capacidad eléctrica.

$R$  = Resistencia.

$Q$  = Cantidad.

$T$  = Tiempo.

$J$  = 4,17 (constante) equivalente mecánico de la caloría.

$W$  = Cantidad de calor expresado en calorías, desarrollado por el paso de una corriente en un conductor.

**691.—Unidad Electromagnética C. G. S. de Intensidad.**—Se llama unidad electromagnética de *Intensidad*, la intensidad que debe tener una corriente que recorre la circunferencia de un círculo de *1 centímetro* cuadrado de superficie, para que el momento  $ml$  del imán equivalente, sea *igual á 1*, estando  $m$  expresado en unidades magnéticas y  $l$  en centímetros.

**692.—Unidad de Cantidad.**—Es la cantidad de electricidad que pasa en *1 segundo* por la sección transversal de un circuito recorrida por una corriente cuya intensidad es *una* unidad electromagnética C. G. S. de intensidad.

Luego, vemos que la cantidad es el *producto* de la unidad de *intensidad* por un tiempo.

Esto ya lo sabíamos por la fórmula de *Faraday* que nos dá

$$Q = I t$$

**693.—Unidad de Fuerza Electromotriz.**—Esta unidad, está definida por la ley de *Joule* que traducida es

$$W = E Q$$

de donde

$$E = \frac{W}{Q}$$

luego, resulta que la *fuerza motriz* es el cociente de *un trabajo* por una *cantidad* de electricidad.

*La unidad de fuerza electromotriz, es la diferencia de potencial que deben presentar las extremidades de un conductor atravesada por una unidad de cantidad, para que el trabajo eléctrico desarrollado en un segundo, sea igual á un erg.*

**694.—Unidad de resistencia.**—Esta unidad se define por la fórmula de *Ohm*.

$$I = \frac{E}{R}$$

de donde sale

$$R = \frac{E}{I}$$

luego, la resistencia es un *cociente* de la fuerza electromotriz por la intensidad.

Se define diciendo:

*La unidad de Resistencia es la resistencia que presenta un conductor cuando pasando una unidad de intensidad, ese conductor presenta una unidad de fuerza electromotriz.*

**695.—Unidad de capacidad.**—Esta unidad está definida por la fórmula

$$Q = E C$$

de donde

$$C = \frac{Q}{E}$$

luego, la capacidad es un *cociente* de una cantidad por una fuerza electromotriz.

Se define diciendo:

*La unidad de capacidad es la capacidad de un conductor al que hay que darle una carga de una unidad*

*de cantidad, para que su potencial se eleve á una unidad de fuerza electromotriz.*

**696.—Unidades Prácticas.**—Estas unidades electromagnéticas, no están con relación en las dimensiones que debemos medir *en la práctica*.

Algunas son *enormemente grandes* y otras excesivamente *pequeñas*.

Así, por ejemplo, la *unidad electromagnética C. G. S. de fuerza electromotriz es la cienmillonésima parte de la de un elemento Daniell.*

—Para evitar este inconveniente, el *Comité de la Asociación Británica* adoptó un sistema *basado* en el sistema que acabamos de exponer, haciendo que las *unidades prácticas* sean ciertos múltiplos y submúltiplos de las unidades electromagnéticas *C. G. S.*

Esas unidades prácticas fueron aceptadas por el *Congreso de Electricistas* que se reunió en París el 21 de Septiembre de 1881.

**697.**—Son las siguientes:

—*Unidad de Intensidad.*—Se le dió el nombre de **Ampere** y equivale á  $\frac{1}{10}$  de la unidad electromagnética *C. G. S.*

*Unidad de cantidad.*—Se le dió el nombre de **Coulomb** y equivale á  $\frac{1}{10}$  de la unidad *C. G. S.*

—*Unidad de fuerza Electromotriz.*—Se llama **Volt** y equivale á 100.000.000 ó sea,  $10^8$  de veces, la medida *C. G. S.*

—*Unidad de Resistencia.*—Se llama **Ohm** y equivale á 1.000.000.000 ó sea  $10^9$  de veces la unidad *C. G. S.*

—*Unidad de capacidad.*—Se llama **Farad** y equivale á  $\frac{1}{1.000.000.000}$  ó sea  $10^{-9}$  de veces la unidad *C. G. S.*

Reuniéndolas en un cuadro se tiene que las unidades prácticas son:

---

De <i>Intensidad</i> .....	— <i>Ampere</i> =	$\frac{1}{10}$	C.G.S.
» <i>Cantidad</i> .....	— <i>Coulomb</i> =	$\frac{1}{10}$	»
» <i>Fuerza Electromotriz</i> .....	— <i>Volt</i> =	$10^8$	»
» <i>Resistencia</i> ...	— <i>Ohm</i> =	$10^{10}$	»
» <i>Capacidad</i> ... .	— <i>Farad</i> =	$10^{-9}$	»

**698.**—Como dato práctico podemos decir que:

—Un *Ampere* electroliza por segundo 1,1888 miligramos de *plata*.

—Un *Coulomb* por segundo, es lo mismo que un *Ampere*.

Un *Volt* es precisamente la fuerza electromotriz que desarrolla un elemento *Daniell*.

—Un *Ohm* es la resistencia de un *hilo de cobre puro* de *un milímetro de diámetro* y *48<sup>m</sup> de largo* ó también la resistencia de un *hilo de fierro de 4 milímetros de diámetros* y *100<sup>m</sup> de largo*: ó bien de *una columna de mercurio de un milímetro de diámetro* y *106 centímetros de largo*.

**699.**—Finalmente, en Chicago se reunió otro Congreso de electricistas en el año 1893, y aconsejó á los gobiernos otro sistema, que se denominó *Internacional*; pero hasta hoy no ha sido adoptado.

**700.**—**Unidades de trabajo eléctrico.**—La unidad de *Trabajo* se llama *Joule* y fué establecido en el Congreso celebrado en París en 1889.

Es el producto de un *Coulomb* por un *Volt*, es decir:

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ Coulomb} \times 1 \text{ Volt}$$

ó bien

$$1 \text{ Joule} = 10^{-10} \times 10^8 = 10^{-2} \text{ C. G. S.}$$

Es decir

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ Ergs}$$

--Mecánicamente es el *trabajo* necesario para elevar *102 gramos* á *1<sup>m</sup>* de altura.

Pero como sabemos que *1 kilográmetro* es el trabajo necesario para elevar *1.000 gr.* á *1<sup>m</sup>*, resulta la relación

$$1 \text{ Joule} = \frac{102}{1,000} = 0 \text{ Kgm}, 102 = \frac{1}{9,81}$$

$$1 \text{ Kilográmetro} = \frac{1,000}{102} = 9 \text{ joules}, 81$$

Por consiguiente

$$1 \text{ Caballo} = 75 \text{ Kilográmetros} = 75 \times 9,81 = \mathbf{736 \text{ Joules}}$$

**701.—Unidad de potencia eléctrica.**—Ya sabemos que para conocer la *Potencia* de una máquina es necesario hacer intervenir un *tiempo*.

Luego, la *unidad de potencia* es la potencia de una máquina que produce el trabajo de *1 joule por segundo*.

Se le dá el nombre de **Watt**.

Luego

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ joule por segundo} = 0 \text{ Kgm}, 102 \text{ por segundo.}$$

—Es decir, pues, que una máquina cuya *potencia* es de un caballo, nos da

$$1 \text{ caballo} = 75 \text{ Kgm} = 75 \text{ joules por segundo} = 736 \text{ Watts.}$$

Si se tratara de cantidades muy grandes, se usa la unidad *Kilo-Watt*, que equivale á *1.000 Watts*.

—Análogamente se tiene

$$1 \text{ Watt} = \frac{1}{736} \text{ caballo} = 0,00136 \text{ caballos}$$

—Finalmente, si se tratara de un *caballo-hora*, se tendría

$$1 \text{ caballo-hora} = 3,600 \text{ caballos} = 3,600 \times 736 \text{ w} = 2.649,600 \text{ Watts}$$

Análogamente

$$1 \text{ Watt-hora} = 0,00136 = 3,600 = 4 \text{ caballos}, 896$$

**702. —Expresión del trabajo eléctrico en kilográmetros.**—El trabajo eléctrico está expresado por el *producto de la intensidad por la fuerza electromotriz*, es decir

$$T = E I \text{ joules}$$

y como sabemos que  $1 \text{ joule} = \frac{1 \text{ Kgm}}{9,81}$

resulta

$$(1) T = \frac{E I}{9,81} \text{ kilográmetros}$$

—Si se tratara del trabajo producido en  $t$  segundos, saldría

$$T = \frac{E I}{9,81} \times t \text{ kilográmetros}$$

—Se comprende, pues, cómo es posible determinar por medio de la fórmula (1) cualquiera de los elementos conociendo los otros dos.

*Ejemplo:* ¿Qué trabajo podrá producir una corriente de 8 amperes, sabiendo que la diferencia de potencial en los extremos del circuito considerado es de 400 *Volts*?

SOLUCIÓN

$$T = 8 \times 400 = 3,200 \text{ joules}$$

ó bien

$$T = \frac{8 \times 400}{9,81} = 326 \text{ kilográmetros}$$

FIN

# ÍNDICE

---

## LIBRO PRIMERO

### ELECTRICIDAD ESTÁTICA

	<i>Páginas</i>
Fenómenos generales.....	1
Medida de las fuerzas eléctricas.....	13
Distribución y pérdida de la electricidad.....	17
Influencia ó inducción electrostática.....	23
Electróscopos y electrómetros.....	34
Máquinas eléctricas.....	40
Condensación.....	57
Meteoros eléctricos.....	77

## LIBRO SEGUNDO

### MAGNETISMO

Propiedades de los imanes...	85
Magnetismo terrestre.....	94
Métodos de imantación...	105

## LIBRO TERCERO

### ELECTRICIDAD DINÁMICA

Pilas voltáicas.....	115
Conductibilidad.....	132
Pilas.....	144

	<i>Páginas</i>
Efectos de las corrientes.....	151
Electrodinámica.—Efectos mecánicos.....	164
Electromagnetismo.—Acción de las corrientes sobre los imanes.....	171
Imantación por las corrientes.....	177
Medida de la intensidad de las corrientes.....	183
Aparatos de medidas eléctricas.....	193
Efectos caloríficos y luminosos de la corriente.....	199
Inducción electrodinámica.....	209
Bobina de Ruhmkorff.....	218
Rayos Röntgen.....	226
Máquinas y motores.....	256
Telegrafía y telefonía.....	265
Oscilaciones eléctricas.....	276

LIBRO CUARTO

ACÚSTICA

Producción y propagación del sonido.....	295
Reflexión del sonido.....	308
Intensidad del sonido.....	314
Altura del sonido.....	322
Teoría física de la música.....	336
Vibraciones de los gases.....	348
Vibraciones de los sólidos.....	356
Análisis de los sonidos.....	364

LIBRO QUINTO

ÓPTICA

Propagación de la luz.....	377
Fotometría.....	388
Reflexión de la luz.....	395
Espejos planos.....	401
Espejos esféricos.....	411

	<u>Páginas</u>
Espejos esféricos convexos.....	427
Refracción de la luz.....	434
Prismas.....	446
Lentes..	455
Descomposición de la luz.....	470
Instrumentos de óptica.....	483
Fotografía y visión.....	502
Meteoros luminosos.....	516



H898

18 NOV 1942

---

OBRAS DEL MISMO AUTOR

---

*Aritmética Práctica.*  
*Aritmética Razonada.*  
*Elementos de Algebra.*  
*Ejercicios y Problemas.*  
*Apuntes de Física (1<sup>er</sup>. curso).*  
*Apuntes de Física (2.<sup>o</sup> curso).*  
*Geometría Plana.*  
*Geometría del Espacio.*  
*Trigonometría Rectilínea y esférica.*  
*Rayos de Röntgen.*  
*Las tres unidades.*

---