

1579

COMPENDIO  
DE FÍSICA

PARA EL REPASO

DE ESTA ASIGNATURA

POR

D. JOSÉ ALCOLEA,

CATEDRÁTICO POR OPOSICION DE FÍSICA Y QUÍMICA  
DEL INSTITUTO DE CADIZ.

  
A - P -  
T - 4 -

DONATIVO

— DEL —  
MINISTERIO DE FOMENTO

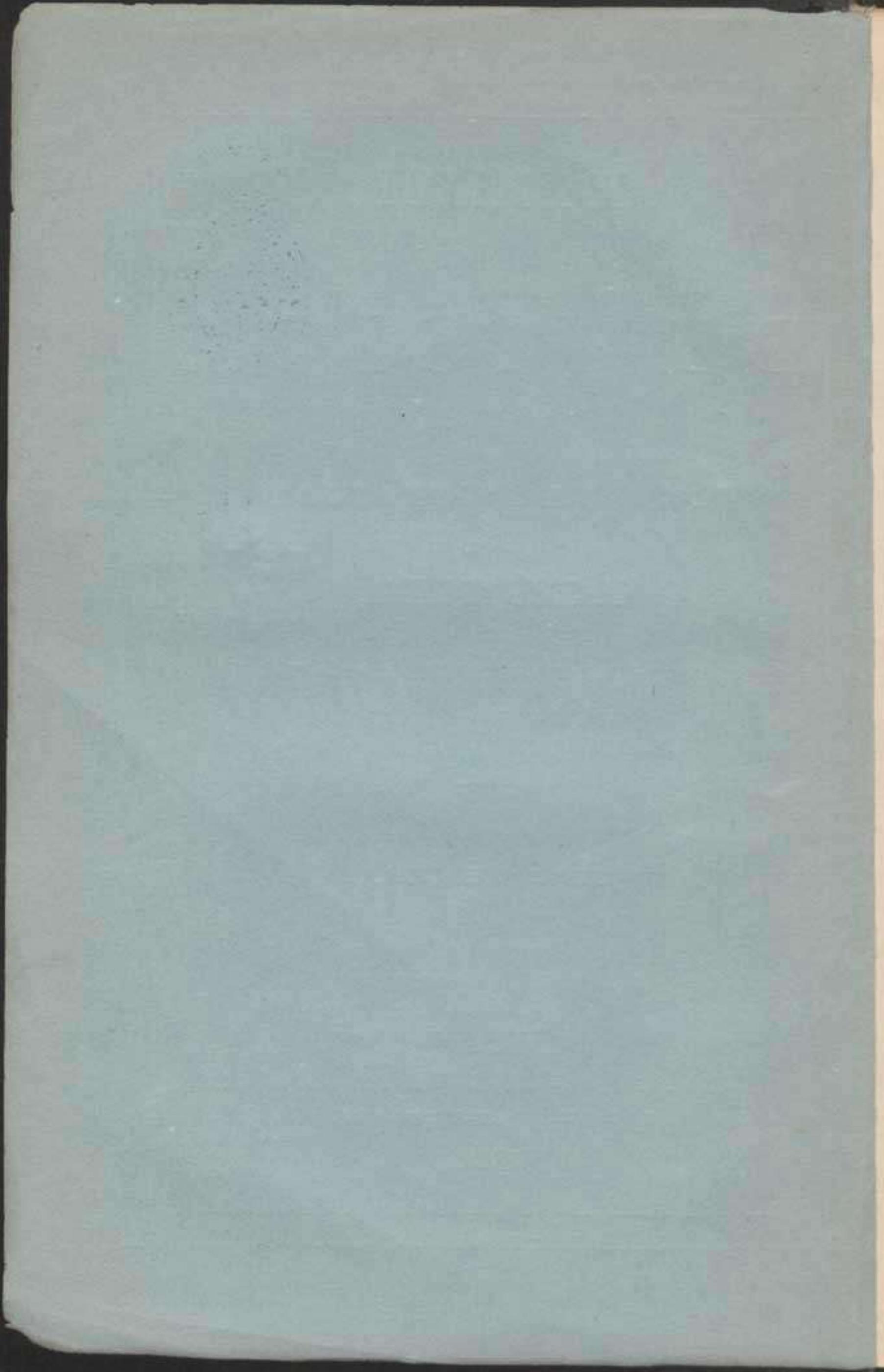
SEGUNDA EDICION.

CADIZ.

IMPRENTA DE LA REVISTA MÉDICA,

DE D. FEDERICO JOLY Y VELASCO.

1873.



LE-3723

COMPENDIO  
DE FÍSICA

PARA EL REPASO

DE ESTA ASIGNATURA

POR

D. JOSÉ ALCOLEA,

CATEDRÁTICO POR OPOSICION DE FÍSICA Y QUÍMICA  
DEL INSTITUTO DE CADIZ.

MINISTERIO DE FOMENTO

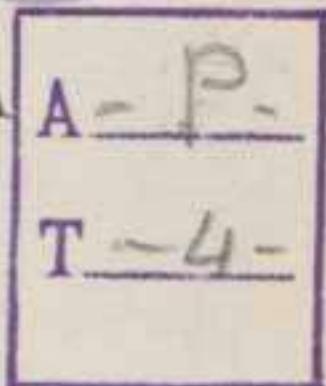
SEGUNDA EDICION.

CADIZ.

IMPRENTA DE LA REVISTA MÉDICA,

DE D. FEDERICO JOLY Y VELASCO.

1873.



DONATIVO

DEL





---

Es propiedad del autor.

---

# COMPENDIO DE FÍSICA.

---

## NOCIONES PRELIMINARES.

### LECCION I.

Las *Ciencias físicas* tienen por objeto el estudio de todos los seres materiales que componen el Universo y de las leyes que los rigen. Comprenden la Física, Química, Astronomía é Historia natural.

Por *Universo* se entiende el conjunto de todo lo creado.

*Física* es la ciencia que se ocupa de las modificaciones que los agentes naturales producen sobre los cuerpos y de las acciones que estos ejercen entre sí, siempre que de ellas no resulte un cambio permanente en su constitucion.

Llámase *fenómeno* toda modificacion apreciable en los cuerpos; *ley* es la relacion constante entre un fenómeno y su causa, y *teoría* la reunion de leyes que se refieren á cada órden de fenómenos.

*Agentes físicos* son las causas productoras de los fenómenos, y se admiten como tales la atraccion universal, la electricidad, el magnetismo, el calórico y la luz; pudiendo considerarse los cuatro últimos como modos de obrar distintos de una sola causa.

*Materia* es todo aquello que podemos apreciar por los sentidos y *cuerpo* una porcion limitada de materia.

Los cuerpos se hallan constituidos por la reunion de partes esencialmente pequeñas, llamadas *átomos*, los cuales son indivisibles é invisibles, están simplemente yustapuestos, y se mantienen á distancia unos de otros por la accion de fuerzas que les son propias. La reunion de átomos constituye las *moléculas*, y el conjunto de

estas forma las partículas que son porciones, aunque muy ténues, perceptibles por los sentidos. La cantidad de materia que cada cuerpo contiene se llama *masa*.

Los cuerpos pueden presentarse en tres estados: *estado sólido* en el cual conservan por sí mismos una forma propia, siendo necesario emplear un esfuerzo mas ó menos considerable para fraccionarlos; *estado líquido* caracterizado por la gran movilidad de sus moléculas de la que resulta que toman siempre la forma de las vasijas que los contienen, y *estado gaseoso* que se distingue principalmente por la tendencia que en él tienen los cuerpos á ocupar mayor espacio por efecto de la repulsion que existe entre sus moléculas.

Se llama *propiedad*, la manera con que los cuerpos afectan nuestros sentidos. Las propiedades se dividen en *esenciales*, *generales* y *particulares*: las primeras son inseparables de la materia, de tal modo que no podria concebirse su existencia sin ellas: las segundas se observan en todos los cuerpos, y las últimas son peculiares á cuerpos determinados. Son propiedades generales la extension, impenetrabilidad, porosidad, compresibilidad, elasticidad, divisibilidad, inercia, movilidad y gravedad: las dos primeras son además esenciales.

*Extension* es la propiedad que todo cuerpo tiene de ocupar una porcion limitada del espacio. En el estudio de la Física interesa medir con exactitud pequeñas longitudes ó gruesos, y para este objeto se usan el *Vernier* ó *Nonius* y el *tornillo micrométrico*.

*Impenetrabilidad* es la propiedad que tienen los átomos de escluir á los demás del lugar que ellos ocupan. En los cuerpos se observan casos de penetracion aparente debidos á la interposicion de los átomos de uno en los espacios vacios de otro. Entre las aplicaciones de esta propiedad merece citarse el procedimiento para hallar el volúmen de los cuerpos de forma irregular.

## LECCION II.

*Porosidad* es la propiedad que los cuerpos presentan de dejar intervalos entre sus moléculas, los cuales se llaman *poros*. Volúmen *aparente* es el que ofrecen los cuerpos al exterior, y *real* el que resultaria si no tuviesen poros. *La lluvia de mercurio* es un experimento que comprueba la porosidad de los sólidos, mediante el cual

se obtiene por efecto de la presión atmosférica el paso de aquel metal á través de una piel bajo el aspecto de menudas gotas. En la porosidad se funda el uso de los filtros; el procedimiento empleado para dividir las piedras introduciendo en sus hendiduras cuñas de madera bien secas que despues se mojan, y la práctica de utilizar la retracción que las cuerdas sufren por la humedad para levantar grandes masas.

*Compresibilidad* es la propiedad que tienen los cuerpos de disminuir de volúmen por la presión. Demuestran su existencia en los tres estados los relieves obtenidos en las monedas por la acuñación, los efectos del piezómetro sobre los líquidos, y la notable reducción de volúmen que se hace sufrir al aire con el eslabon neumático.

*Elasticidad* es la propiedad que poseen los cuerpos de recuperar su primitiva forma y volúmen cuando deja de obrar la causa que los alteraba: hay elasticidad por *presión*, *tracción*, *flexión* y *torsión*.

*Divisibilidad* es la propiedad en virtud de la cual los cuerpos pueden ser fraccionados en partes: esta división puede llevarse al infinito racionalmente, pero en el órden físico siempre tiene límite. Son ejemplos notables de divisibilidad la pequeñez de los glóbulos de la sangre, la difusión de las materias olorosas, las disoluciones de las sustancias colorantes y el exíguo volúmen de los animales microscópicos.

*Inercia* es la tendencia de los cuerpos á persistir en el estado de quietud ó de movimiento en que se hallen. La falta de espontaneidad para moverse que observamos en todos los cuerpos prueba la *inercia en quietud*, y la marcha constante de los astros la *inercia en movimiento*.

*Movilidad* es la propiedad que los cuerpos tienen de poder variar de sitio, y *movimiento* su traslación de un lugar á otro.

Se llama *gravitación* la atracción que se ejerce entre grandes masas y á grandes distancias, y *gravedad* la atracción que tiene lugar entre la Tierra y los cuerpos colocados en su atmósfera. En virtud de la extraordinaria masa del globo terrestre comparada con la de los cuerpos que ocupan su superficie, son estos atraídos hácia al centro de aquel, denominándose *peso* el resultado de esta acción atractiva: *densidad* es la relación del peso con el volúmen. Para determinar la vertical, ó sea la dirección que siguen los cuerpos al caer solicitados por la gravedad, se emplea *la plomada* que consiste en una esfera metálica pendiente de un hilo.

Entre las propiedades particulares merecen citarse la *dureza*, que es la resistencia opuesta por los cuerpos sólidos á ser rayados por otros; la *fragilidad* que indica su aptitud para ser fracturados por el choque; *ductilidad* la propiedad de poderse reducir á hilos, y *malleabilidad* la de poderse estender en láminas.

## M E C Á N I C A .

### LECCION III.

*Mecánica* es la ciencia que se ocupa del estudio del equilibrio y movimiento de los cuerpos: divídese en *estática*, *hidrostática* y *aerostática*, que tratan respectivamente del equilibrio de los sólidos, líquidos y gases; y en *dinámica*, *hidrodinámica* y *aerodinámica* del movimiento en cada uno de los tres estados.

*Fuerza* es todo agente capaz de producir movimiento ó de modificarlo: segun su modo de obrar se dividen las fuerzas en *instantáneas* y *continuas*, *constantes* y *variables*, *aceleratrices* y *retardatrices*; y todas se hallan caracterizadas por su direccion, intensidad y punto de aplicacion, cuyas cualidades se representan por líneas. La unidad usada para valuar las fuerzas es el *kilogrametro*. Trabajo de una fuerza es el producto de dicha fuerza por el camino que hace recorrer á su punto de aplicacion.

Llámase *sistema* de fuerzas á la combinacion de dos ó mas, y *resultante* á la fuerza que representa el efecto de varias reunidas, las cuales reciben el nombre de *componentes*. Equilibrio es el resultado de la contraposicion de fuerzas iguales.

La resultante de varias fuerzas que obran en la misma direccion equivale á su suma cuando actúan en igual sentido, y á su diferencia si actúan en sentido contrario.

Si dos fuerzas son concurrentes, la resultante está representada por la diagonal del paralelógramo construido sobre dichas fuerzas consideradas como lados, y su valor es menor que la suma y mayor que la diferencia de las componentes. Para hallar la resultante de un número cualquiera de fuerzas concurrentes se determina primero la resultante parcial de dos de ellas, despues la de esta y otra de las componentes, continuando de este modo hasta que no quede mas que una fuerza que es la resultante del sistema.

La resultante de dos fuerzas paralelas que obran en el mismo sentido es paralela á ellas, igual á su suma, y su punto de aplicacion divide la recta que une los puntos de aplicacion de las componentes en partes recíprocamente proporcionales á sus intensidades. Si las dos fuerzas paralelas obrasen en sentido contrario, la resultante es igual á su diferencia, paralela á su direccion, obra en el sentido de la mayor, y su punto de aplicacion no está comprendido entre las fuerzas, sino situado hácia el lado de la mas intensa. Cuando dos fuerzas iguales y paralelas obran en sentido contrario, constituyen un sistema llamado *par*, no tienen resultante única, y producen un movimiento de rotacion.

#### LECCION IV.

*Centro de gravedad* es un punto, de situacion invariable para cada cuerpo, por el que pasa lo resultante de las acciones que la gravedad ejerce sobre las moléculas que lo componen. Suponiendo una perfecta homogeneidad, este punto corresponde al centro geométrico en el círculo y la esfera; al sitio en que se cortan las diagonales en el cuadrado y paralelógramo; en un triángulo se halla á los dos tercios de una línea que vá desde el vértice á la mitad del lado opuesto; en el cilindro á la mitad del eje; y en el cono y la pirámide á los tres cuartos, de una línea tirada desde el vértice, al centro de gravedad de la base. En los cuerpos de forma irregular se determina suspendiéndolos sucesivamente de dos puntos por medio de una cuerda, y suponiendo á esta prolongada en las dos posiciones, se halla el centro de gravedad en el punto de interseccion de las prolongaciones.

El equilibrio de los cuerpos suspendidos y apoyados puede ser *estable*, *inestable* é *indiferente*, segun que el centro de gravedad se halle mas bajo que en ninguna otra posicion, mas alto que en cualquier otra, ó á igual altura en todas las que pueda adoptar. En los cuerpos apoyados se llama *base de sustentacion* la superficie de contacto con el plano que los sostiene, ó la mayor área comprendida entre los puntos en que descansa si son varios: el equilibrio será estable siempre que la vertical bajada desde el centro de gravedad del cuerpo caiga dentro de la base de sustentacion.

## LECCION V.

*Máquina* es todo instrumento que sirve para transmitir la acción de una fuerza. En toda máquina hay que considerar la *potencia* ó *fuerza motriz* que es la fuerza empleada para obtener el resultado á que la máquina se destina; la *resistencia* ó sea el obstáculo que se trata de vencer, y el *punto de apoyo* que es un punto fijo alrededor del cual se mueven la potencia y la resistencia. Esta puede ser de dos especies: *resistencia útil* que es la opuesta por el cuerpo á que la máquina se aplica con un fin determinado, y *resistencia pasiva*, ó sea la que oponen al movimiento las diversas piezas de la máquina.

Las máquinas se dividen en *simples* y *compuestas*: las primeras son aquellas en que la potencia y la resistencia útil están aplicadas al mismo cuerpo, y las segundas son las que resultan de la combinación de aquellas. En las máquinas compuestas se distinguen tres partes principales: aquella en que directamente actúa la fuerza motriz, llamada *receptor*; la que obra produciendo el resultado que con la máquina se trata de conseguir, denominada *operador*; y la *transmision del movimiento* que se compone de todos los órganos intermedios que comunican la acción del receptor al operador. Llámase *efecto útil* la relacion entre el trabajo del motor y del operador, siendo este último menor que el primero á causa de que las resistencias pasivas consumen una parte mas ó menos grande de la fuerza motriz.

Siempre que un cuerpo sometido á la acción de una fuerza obra sobre otro, este se rehace con la misma intensidad sobre el primero en un sentido directamente opuesto: este hecho se expresa de una manera general diciendo, que la *reaccion es igual y contraria á la acción*.

En toda máquina se realiza el principio de las velocidades virtuales que fué enunciado por Descartes en esta forma: *lo que se gana en fuerza se pierde en tiempo y viceversa*.

La relacion que deben tener en cada máquina la potencia y la resistencia para equilibrarse, se llama su *ley de equilibrio*. Tres son las máquinas que generalmente se admiten como simples: *la palanca, el plano inclinado* y *las cuerdas*.

La palanca se considera como una barra inflexible y sin peso, mó-

vil alrededor de un punto fijo que se llama punto de apoyo. Se distinguen tres géneros de palanca: de *primer género* se llama cuando el punto de apoyo está entre la potencia y la resistencia; de *segundo* si la resistencia se halla entre la potencia y el punto de apoyo; y de *tercero* cuando la potencia está situada entre el punto de apoyo y la resistencia: brazos de palanca de la potencia y de la resistencia son las distancias del punto de aplicación de una ú otra al punto de apoyo. La ley de equilibrio de la palanca se formula diciendo que *la potencia y la resistencia se hallan en razón inversa de sus brazos de palanca.*

*La balanza* es una palanca de primer género de brazos iguales. Consta de una barra, llamada ástil, que sostiene dos platillos en sus extremos y puede girar al rededor de un eje que le sirve de punto de apoyo. Para que una balanza sea *precisa y sensible* debe tener iguales en peso y longitud los dos brazos de palanca, el centro de gravedad en la vertical que pasa por el punto de apoyo, debajo de él y lo más próximo posible, y disminuido en cuanto se pueda el rozamiento. El método de las dobles pesadas evita el error producido por la desigualdad de los brazos del ástil: consiste en equilibrar el cuerpo cuyo peso se busca con arena ó perdigones, y reemplazarlo después por las pesas que fueren necesarias.

*La romana* es una palanca de primer género de brazos desiguales: tiene sobre la balanza la ventaja de que no necesita mas pesa que el *pilon*, siendo menor la carga sobre el punto fijo.

*La polea* es un disco con una garganta en su circunferencia por la que pasa una cuerda y gira sobre un eje sostenido por una armadura: puede ser *fija* ó *móvil* según que tiene solo movimiento de rotación, ó se une á éste el de traslación. La polea fija es una palanca de primer género de brazos iguales y su equilibrio exige que *la potencia sea igual á la resistencia.* En la polea móvil *la potencia es á la resistencia como el radio de la polea es á la cuerda del arco que abraza el cordón.* La reunión de dos ó mas poleas montadas sobre una misma armadura fija, y enlazada con otra igual movable por medio de la cuerda, se llama *polipastro*: en estos sistemas de poleas, cuando las cuerdas son paralelas, *la potencia es á la resistencia como el producto de los radios es al de los diámetros.*

*Torno* es un cilindro unido á una rueda de mayor diámetro los cuales giran sobre un eje comun: la potencia se aplica á la circunferencia de la rueda y la resistencia pende de una cuerda que se rolla

en el cilindro: esencialmente es una palanca de primer género de brazos desiguales; de donde se deduce que *la potencia es á la resistencia como el rádio del cilindro es al de la rueda*. Esta misma es la ley de equilibrio del cabrestante, cábria, calándria y grúa que solo difieren del torno en la disposicion de sus partes. *Las ruedas dentadas* representan tambien un torno cuyo cilindro dentado se llama *piñon*, y sus dientes *alas*, siendo *la potencia á la resistencia como el número de alas del piñon es al de los dientes de la rueda*.

Se llama *plano inclinado* el que forma con el horizonte un ángulo menor de 90°. De su interseccion con un plano vertical y otro horizontal resulta un triángulo rectángulo cuya hipotenusa se llama longitud, el cateto horizontal base, y el vertical altura. En esta máquina *la potencia es á la resistencia como la altura del plano es á su longitud, ó como la altura es á la base*, segun el modo de obrar de la potencia. Al plano indicado se refieren el *tornillo* y la *cuña*.

## LECCION VI.

Llámase *móvil* todo cuerpo que se mueve. El movimiento puede ser de *traslacion*, cuando todos los puntos del cuerpo se mueven paralelamente unos á otros; de *rotacion*, cuando lo verifican al rededor de un eje, y *misto* si se combinan ambos movimientos. El de *traslacion* es *rectilíneo* ó *curvilíneo*, segun la direccion en que se verifique. Se divide tambien en *uniforme* y *variado*: en el primero recorre el móvil espacios iguales en tiempos iguales, y en el segundo recorre en los mismos tiempos espacios desiguales.

En el movimiento uniforme se dá el nombre de *velocidad* á la relacion del espacio con el tiempo, ó lo que es igual, al espacio recorrido en la unidad de tiempo. La expresion  $e = vt$ , cuyas letras representan la velocidad, espacio y tiempo, es la fórmula del movimiento uniforme y de ella se deducen fácilmente las que sirven para calcular la velocidad y el tiempo.

El movimiento variado se divide en *acelerado* y *retardado*, segun que los espacios recorridos en igual tiempo van creciendo ó disminuyendo; llamándose *uniformemente* acelerado ó retardado cuando esta variacion sigue una ley constante: la fuerza que produce el aceleramiento ó retraso recibe el nombre de *aceleratriz* ó *retardatriz*.

En el movimiento uniformemente acelerado se llama velocidad,

al cabo de un tiempo dado, el espacio que desde aquel momento recorrería el móvil en cada unidad de tiempo si cesara repentinamente la fuerza aceleratriz. Su fórmula es  $e = \frac{1}{2}gt^2$ , representando  $g$  la velocidad adquirida al cabo de un segundo,  $t$  el tiempo y  $e$  el espacio. Este movimiento tiene por causa la acción de una fuerza constante, y se halla sometido á las dos leyes siguientes: 1.<sup>a</sup> *las velocidades adquiridas son proporcionales á los tiempos.* 2.<sup>a</sup> *los espacios recorridos son como los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos:* ámbas se comprueban con la máquina de Atwood y el plano inclinado de Galileo, los cuales por sus condiciones modifican la intensidad de la gravedad, que obra como una fuerza aceleratriz constante, sin alterar su naturaleza.

La altura de que los cuerpos descienden modifica la energía con que la Tierra los atrae, á causa de que esta atracción tiene lugar en razón inversa del cuadrado de la distancia; sucediendo lo mismo con la latitud, porque siendo menor el radio polar que el ecuatorial, la distancia de la superficie de la tierra al centro disminuye del ecuador al polo, y por consiguiente crece en el mismo sentido la acción de la gravedad.

## LECCION VII.

El movimiento curvilíneo puede ser de varias especies según la curva que el móvil recorra, y siempre es producido por un sistema de una ó mas fuerzas instantáneas y una ó mas fuerzas continuas. Cuando las direcciones de dichas fuerzas forman ángulo, engendran el movimiento parabólico; tal es el caso de un proyectil lanzado horizontalmente, el cual solicitado en cada momento por la gravedad sigue una dirección intermedia entre la horizontal y la vertical, que variando sucesivamente, produce la curva llamada parábola. Si una de las fuerzas conserva relaciones invariables con respecto á un punto fijo se origina el movimiento circular.

*Fuerza centrífuga* es la tendencia que se produce en los cuerpos que giran al rededor de un punto á separarse de este centro de rotación; á esta fuerza se opone otra que impide al móvil abandonar en dirección de una tangente la circunferencia que describe, porque lo solicita sin cesar hácia el centro, á la que debe el nombre de *fuerza centrípeta*. Estas dos fuerzas son iguales en cada instante del

movimiento, y se llaman colectivamente *fuerzas centrales*. En el movimiento circular la fuerza centrífuga está sometida á tres leyes: 1.<sup>a</sup> es *proporcional á la masa*; 2.<sup>a</sup> se halla en *razon inversa del radio del círculo descrito*; 3.<sup>a</sup> es *proporcional al cuadrado de la velocidad de rotacion*.

La aplicacion de estas leyes al movimiento de la Tierra sobre su eje explica el aplanamiento de esta por sus polos, suponiendo que hubo una época en que su masa se hallaba en estado de fluidez; y hace comprender el influjo de la latitud en la intensidad de la fuerza centrífuga y el de esta en la intensidad de la gravedad.

El *péndulo simple* se supone formado por un hilo inestensible y sin peso, que lleva en una extremidad un punto material y está sostenido por la otra en un punto fijo á cuyo al rededor puede oscilar: la distancia entre éste y el punto material se llama *longitud* del péndulo; *ángulo de desviacion* el formado por dos líneas que marcan las posiciones extremas del péndulo á uno y otro lado de la vertical en cada oscilacion; *amplitud de la oscilacion* el arco comprendido entre ellas, y *duracion de la oscilacion* el tiempo que emplea el punto material en recorrer este arco.

El *péndulo compuesto* está constituido por un cuerpo generalmente de forma lenticular, sujeto á una varilla metálica, y oscila al rededor de una línea horizontal que se llama *eje de suspension*. En todo péndulo compuesto se puede determinar otra línea, paralela á la anterior, que se denomina *eje de oscilacion*, y la distancia comprendida entre estos dos ejes constituye la longitud del péndulo compuesto. Las oscilaciones del péndulo se hallan sometidas á estas cuatro leyes: 1.<sup>a</sup> *En un mismo péndulo las oscilaciones cuya amplitud no pasa de tres grados son isócronas*. 2.<sup>a</sup> *Suponiendo constante la longitud del péndulo, la duracion de las oscilaciones es independiente de la materia de que esté formado*. 3.<sup>a</sup> *En péndulos desiguales la duracion de las oscilaciones es proporcional á la raiz cuadrada de su longitud*. 4.<sup>a</sup> *Para un mismo péndulo situado en diferentes puntos de la Tierra, la duracion de las oscilaciones se halla en razon inversa de la raiz cuadrada de la intensidad de la gravedad*.

El péndulo se aplica para regularizar la marcha de los relojes; para comprobar la atraccion de la Tierra sobre todos los cuerpos; para medir la intensidad de la gravedad en cada punto del globo y para demostrar experimentalmente el movimiento de rotacion de éste sobre su eje.

*Rozamiento* es la resistencia que al movimiento se produce entre dos cuerpos apoyados uno en otro, por efecto de la interposicion recíproca de las eminencias y depresiones de ambas superficies.

El rozamiento puede ser de dos especies: en la primera solo varía la superficie de contacto de uno de los cuerpos, resbalando el otro sobre él, y en la segunda se tocan sucesivamente partes distintas de ambos: tal es el caso de un cilindro que rueda sobre un plano.

Llámase *choque* la accion recíproca que se produce por el encuentro de dos cuerpos en movimiento. Para los efectos del choque se consideran los cuerpos divididos en dos grupos: *duros ó no elásticos* y *elásticos*. El choque se llama *central* cuando los centros de movimiento de los cuerpos se hallan en línea recta y *excéntrico* cuando dichos centros tienen otra situacion.

Los casos mas notables que en el choque pueden ocurrir son tres: 1.º Un cuerpo en movimiento y el otro en quietud. 2.º Dos cuerpos en movimiento y en direccion contraria. 3.º Dos cuerpos en movimiento, en la misma direccion, con diferente velocidad.

## HIDROSTÁTICA.

### LECCION VIII.

*Hidrostatica* es la parte de la Física que se ocupa del equilibrio de los líquidos. Estos están caracterizados por la movilidad de sus moléculas, en consecuencia de la cual toman la forma del recipiente que los contiene, y por ser muy poco compresibles y perfectamente elásticos.

El principio fundamental de la hidrostatica, conocido con el nombre de principio Pascal ó *de igualdad de presion*, se comprende en el siguiente enunciado. *Toda presion ejercida perpendicularmente á la superficie de un líquido se trasmite á igualdad de área en todos sentidos con la misma intensidad:* para establecerlo se supone á los líquidos sin viscosidad y sin peso.

Por efecto de la gravedad ejercen los líquidos presiones de arriba abajo, de abajo arriba y laterales: *estas presiones son iguales al nivel de cada capa horizontal del líquido y se hallan en razon directa de la profundidad y de la densidad de este.* La presion de arriba abajo es independiente de la forma del vaso, é igual al peso de una

columna de líquido que tenga por base la superficie que se considere y por altura la distancia de esta al nivel: la de abajo arriba, denominada *empuje de los líquidos*, es igual en cada caso á la presión de arriba abajo. Esta equivalencia se deduce teóricamente del principio de Pascal, pues en cada capa de líquido debe producirse una reacción igual y contraria á la presión que resulta del peso de las capas superiores. Las presiones laterales equivalen al peso de una columna de líquido que tuviera por base la porción de pared del vaso que se considere, y por altura la distancia vertical del centro de gravedad de aquella al nivel del líquido.

Se llama *centro de presión* el punto de aplicación de la resultante de las presiones laterales ejercidas por la totalidad de capas líquidas comprendidas en la porción de superficie que se examina: el centro de presión se halla mas alto que el de gravedad. En el principio de Pascal se funda la *prensa hidráulica*: el *torniquete hidráulico* comprueba las presiones laterales, cuyo efecto se aplica en las ruedas de reacción.

Las leyes de equilibrio de un líquido en un solo recipiente son dos: 1.<sup>a</sup> *La superficie debe ser en cada punto perpendicular á la resultante de las fuerzas que actúan sobre sus moléculas.* 2.<sup>a</sup> *En el interior de la masa líquida cada molécula debe sufrir en todos sentidos presiones contrarias é iguales.* Cuando la cantidad de líquido es algo considerable y no está contenida en tubos de pequeño diámetro, la superficie es horizontal por el predominio con que la gravedad obra sobre las moléculas que ocupan el nivel con respecto á las fuerzas de cohesión y adhesión.

Para que el equilibrio subsista cuando un líquido está contenido en vasos comunicantes, *las superficies de nivel en cada uno de ellos deben hallarse en el mismo plano horizontal.* Si son varios los líquidos de diferente densidad y están contenidos en un solo vaso, cada uno en particular se halla sometido á las dos primeras leyes, y el equilibrio del conjunto solo se realiza á condición de que se hallen superpuestos por orden de densidad creciente de arriba abajo.

Cuando dos líquidos de diferente densidad y sin acción química entre sí están contenidos en vasos comunicantes, *las alturas de nivel se hallan en razón inversa de sus densidades.* El nivel de agua y la teoría de los pozos artesianos se fundan en la ley de equilibrio de un solo líquido en vasos comunicantes.

---

## LECCION IX.

El principio de Arquímedes se contiene en la siguiente proposición. *Todo cuerpo sumergido en un líquido pierde de su peso una cantidad igual al peso del volúmen de líquido que desaloja.* Este principio se comprueba por el raciocinio y con la balanza hidrostática.

Todo sólido colocado en un líquido mas denso que él solo se sumerge en la parte que basta á desalojar un volúmen de líquido cuyo peso sea igual al suyo: entonces se dice que el cuerpo *flota*. Para que el equilibrio de los cuerpos flotantes sea estable es preciso que su centro de gravedad se halle debajo del centro de presión y en la misma línea vertical: si la posición de los centros es inversa será inestable el equilibrio.

*Peso específico* de los cuerpos sólidos y líquidos es la relación entre el peso de un volúmen dado del cuerpo y otro volúmen igual de agua á 4 grados sobre 0°: el peso del agua es por consiguiente la unidad de comparación.

Para determinar el peso específico se emplean tres métodos: *el de la balanza hidrostática, el de los areómetros y el del frasco.* Todos tienen por objeto hallar el peso de volúmenes iguales del cuerpo y del agua: *dividiendo el primer peso por el segundo se obtiene la relación que constituye el peso específico.*

Con la balanza se determina suspendiendo de ella el cuerpo, pesándolo de esta manera, y sumergiéndolo despues en el agua: la pérdida de peso que entonces se comprueba es el peso de un volúmen del líquido igual al del cuerpo. Para establecerlo con el *areómetro de Nicholson*, debe averiguarse antes las pesas que es preciso colocar en el platillo superior para sumergir el instrumento hasta *el punto de enrase*, y colocando en aquel un fragmento del cuerpo, las pesas que deban quitarse para que el enrase subsista representan el peso del cuerpo en el aire; poniendo en seguida el cuerpo en el platillo inferior, las pesas que hayan de agregarse entonces en el superior para que vuelva á enrasar indican el peso del volúmen de agua desalojado por el cuerpo. Se halla con el frasco pesando antes el cuerpo solo, colocándolo despues en uno de los platillos de la balanza con el frasco lleno de agua, introduciendo en seguida el cuerpo en el interior de aquel y volviendo á colocarlo en el mismo pla-

tillo: las pesas que sea preciso poner en él para restablecer el equilibrio marcan el peso de un volúmen de agua igual al del cuerpo.

Para hallar con la balanza el peso específico de los líquidos se suspende de uno de sus platillos una esfera de platino de peso conocido, y sumergiéndola sucesivamente en el líquido explorado y en el agua, las respectivas pérdidas de peso que resulten son los pesos de volúmenes iguales de ambos líquidos. Se determina con el *aerómetro de Fahrenheit* haciéndolo enrasar en el agua y en el líquido; el valor de las pesas empleadas en cada caso, aumentado con el peso del instrumento, indican respectivamente el peso de volúmenes iguales de ambos cuerpos. Para averiguarlo con el frasco se pesa este primero vacío y despues lleno sucesivamente de agua y del líquido en cuestion: restando de los dos últimos pesos el primero, se obtiene el peso de igual volúmen de una y otro.

Los areómetros *de peso constante* marcan el grado de concentracion de los líquidos segun la porcion del tallo que en ellos se sumerge, teniendo el 0° de la escala en la extremidad superior cuando se aplican á líquidos mas densos que el agua, y en el extremo inferior si han de servir para líquidos de menor densidad que esta. El *alcohómetro de Gay-Lussac* mide por centésimas partes, en volúmen, la cantidad de alcohol que contienen las bebidas espirituosas.

## HIDRODINÁMICA.

### LECCION X.

*Hidrodinámica* es la parte de la Física que trata del movimiento de los líquidos. La *hidráulica* estudia las aplicaciones de la hidrodinámica principalmente á la elevacion y conduccion de las aguas.

El movimiento de los líquidos es producido por la gravedad sola ó combinada con la accion de otra fuerza. Para que un líquido salga del recipiente que lo contiene es preciso que este tenga por lo menos un orificio situado debajo del nivel, y que la presion que sufren las moléculas líquidas al llegar á dicho orificio sea mayor de dentro á fuera que en sentido opuesto.

El orificio de salida de un líquido se dice que es *pequeño* cuando su área no es mayor que la veinteava parte de la superficie de la pared en que se halla, denominándose orificio *en pared delgada* á to-

do aquel cuyo diámetro es por lo menos igual al espesor de la pared. La velocidad con que un líquido sale por un orificio en las circunstancias ordinarias, ó sea cuando no actúa sobre él mas presión que la del aire, depende solo de la distancia que hay desde la línea media horizontal del orificio hasta la superficie del líquido en su posición de equilibrio.

El principio ó teorema de Torricelli, que sirve de base al estudio de la hidrodinámica, se enuncia del modo siguiente: *la velocidad de las moléculas líquidas al salir por un orificio en pared delgada es la que adquiriría un cuerpo cayendo libremente en el vacío de una altura igual á la que exista desde el nivel del líquido al centro del orificio.* Esta velocidad se calcula mediante la fórmula  $v = \sqrt{2gh}$ , siendo  $v$  la velocidad,  $g$  la intensidad de la gravedad, y  $h$  la altura del nivel. De ella se deduce que las velocidades de un mismo líquido saliendo de vasos con nivel constante pero distinto en cada uno, son proporcionales á las raíces cuadradas de sus respectivos niveles, y de la misma se desprende que la velocidad del derrame es independiente de la densidad del líquido.

Llámase *vena líquida*, vulgarmente chorro ó caño, al cilindro ó prisma de líquido que sale por un orificio. En ella se distinguen dos partes de apariencia diferente: la mas próxima al orificio es diáfana, fija como un cristal, y vá estrechándose hasta una distancia comprendida entre uno y tres semidiámetros del orificio, llamándose *sección contracta* á la que corresponde al punto de mayor estrechez. La porción que sigue es movible, turbia, y ofrece ensanchamientos denominados *vientres*, y estrecheces llamadas *nodos*, terminando por dispersarse en gotas.

La contracción de la vena es producida principalmente por la convergencia de las filas de moléculas cerca del orificio; los nodos y vientres por las pulsaciones que experimenta el líquido en el momento de su salida; y la dispersión es efecto de la resistencia del aire. Para obtener una velocidad constante en el derrame de un líquido es indispensable que el nivel de este se conserve invariable, lo cual se puede conseguir por el *vaso constantemente lleno*, el *flotador de Prony* ó el *frasco de Mariotte*.

Se dá el nombre de *gasto* á la cantidad de líquido que sale por un orificio en un tiempo dado. El gasto se divide en *teórico* y *práctico*: el primero es el que se obtiene por el cálculo, y el segundo se averigua midiendo la cantidad de líquido que fluye en la unidad de

tiempo. El gasto teórico se determina por la fórmula  $G = st\sqrt{2gh}$ , en la cual  $s$  representa la superficie del orificio,  $t$  el tiempo y  $\sqrt{2gh}$  la velocidad. No tomando en cuenta el efecto de la contraccion, el gasto teórico es algo mayor que el práctico; pero desaparece esta diferencia haciendo entrar en la expresion anterior el *coeficiente de contraccion* que es igual á 0,625, en esta forma  $G = 0,625st\sqrt{2gh}$ .

*Tubos adicionales* son unos conductos cilindricos, cónicos ó de otra forma, que se adaptan al exterior de los orificios para aumentar el gasto, cuya longitud no escede de tres veces el diámetro del orificio. Los *tubos de conduccion* tienen mayor longitud, disminuyen la velocidad del líquido á proporcion que decrece su diámetro, y cuanto mas frecuentes y bruscos son los cambios de direccion que ofrecen.

La presion que los líquidos en movimiento ejercen sobre las paredes de los tubos ó cañerías se halla generalmente en razon inversa de su velocidad, pudiendo llegar á ser nula, y hasta negativa; es decir, capaz de absorber otro líquido del exterior: esta presion se llama *presion hidráulica*.

Para la distribucion de las aguas emplean los fontaneros dos medidas. La *pulgada de agua* que es la cantidad de este líquido que sale en un minuto por un orificio circular practicado en pared delgada y vertical, de una pulgada francesa de diámetro, con la carga de una línea sobre el borde superior del orificio, ó de siete líneas sobre su centro, y equivale próximamente á 20.000 litros en veinticuatro horas.

El *real fontanero*, usado en Madrid, es la cantidad de agua que sale por un orificio de 6,5 líneas castellanas con la carga de una línea sobre el borde ó de 4,25 líneas sobre el centro, en el espacio de veinticuatro horas, cuya cantidad equivale á 3.215 litros.

Se aplica el nombre de *surtidores* á los chorros de líquido que salen por orificios ó tubos adicionales, elevándose en la atmósfera en direccion vertical ú oblicua por efecto de la presion debida á la mayor altura del nivel del mismo líquido en un depósito con que comunican. Teóricamente debiera llegar el surtidor á la altura del nivel en el depósito; pero la resistencia del aire, el rozamiento en los tubos y el choque de las moléculas del líquido unas con otras, son las principales causas que contribuyen á disminuir su elevacion.

---

## AEROSTÁTICA.

### LECCION XI.

*Aerostática* es la parte de la Física que trata del equilibrio de los gases. Estos están caracterizados por la repulsion constante en que se hallan sus moléculas, en virtud de la cual tienden continuamente á ocupar mayor espacio, cuya propiedad se conoce con los nombres de *tension*, *expansibilidad* y *fuerza elástica*.

Se conocen treinta y cuatro gases: todos ellos son pesados, lo que se comprueba fácilmente pesando un balon vacío y despues lleno de cada uno de estos fluidos.

El principio de Pascal tiene aplicacion á los gases y se demuestra del mismo modo que en los líquidos. Los cuerpos gaseosos no presentan superficie de nivel, y la condicion esencial que deben llenar para hallarse en equilibrio, consiste en que cualquiera de sus moléculas se encuentre sometida á iguales presiones en todos sentidos, estando completamente llena la vasija que los contenga.

*Atmósfera* es una capa de aire de 50 á 60 kilómetros de altura que rodea la superficie del globo. El aire está formado por una mezcla de oxígeno, azoe, pequeñas porciones de ácido carbónico y vapor de agua, y cantidades mínimas de otros cuerpos. A igualdad de volúmen pesa el aire 773 veces menos que el agua, siendo su peso específico respecto á esta 0,001293: un litro de aire pesa 1<sup>o</sup>,293. Por efecto de la gravedad ejerce el aire presiones en todos sentidos, las cuales se demuestran con el *rompe-vegigas* y los *hemisferios de Magdebourg*.

En 1643 hizo Torricelli la primera experiencia para medir la presion atmosférica llenando de mercurio un tubo de cristal de ochenta centímetros de longitud, cerrado por un extremo, é invirtiéndolo en una vasija que contenia el mismo metal despues de tapar con el dedo la extremidad abierta: al separar el dedo dentro del mercurio, descendió este en el tubo dejando en la parte superior un espacio vacío que ha recibido el nombre de *cámara barométrica*. Valiéndose de un tubo de quince metros lleno de agua, repitió Pascal el experimento tres años mas tarde con igual resultado, sin mas diferencia que la columna de agua tenia una altura de

10<sup>m</sup>, 4, mientras que la del mercurio era de 0<sup>m</sup>, 76 por término medio, ó sea 13,6 veces menor.

La explicacion de estos hechos, que constituye la teoría fundamental del barómetro, es muy sencilla. La columna de mercurio ó de agua está sostenida en el tubo por la presión que la atmósfera ejerce en la superficie del líquido en la vasija y sirve de medida á esta presión.

Los instrumentos destinados á medir la presión atmosférica se llaman *barómetros*: los hay de mercurio y metálicos. De la primera clase son los de *cubeta*, de *Fortin*, de *Gay-Lussac* y de *cuadrante*: de la segunda el de *Bourdon* y el *aneroide*. Los dos primeros constan esencialmente de un tubo de Torricelli sumergido en un depósito de mercurio llamado *cubeta*, y acompañado de una escala dividida en centímetros y milímetros, cuyo cero corresponde al nivel del metal en dicha cubeta ó recipiente: la longitud de la columna de mercurio, á contar desde este nivel, mide las diferentes presiones. Llevan solo una porción de la escala en la parte superior, porque el resto sería inútil: á la altura de 0<sup>m</sup> 731, vá marcada la palabra *tempestad*; y por encima, de 9 en 9 milímetros, las de *gran lluvia*, *lluvia ó viento*, *variable*, *buen tiempo*, *buen tiempo fijo*, y *muy seco*. Las indicaciones del barómetro aplicadas á la predicción de las variaciones de tiempo solo tienen el valor de la probabilidad. En los barómetros de *Gay-Lussac* y de *cuadrante* el tubo se halla encorvado en forma de sifon, haciendo veces de cubeta la rama corta que está abierta: en el primero corresponde el 0<sup>o</sup> á la mitad del tubo y lleva una escala en cada rama, siendo preciso para determinar la altura sumar las indicaciones de ambas. El de *cuadrante* señala las presiones en una esfera, mediante una aguja movida por un flotador que descansa sobre el mercurio en la rama corta.

El Sr. D. Pedro Torres, constructor de instrumentos de precisión, ha introducido en el barómetro de *Fortin* modificaciones de tal importancia que puede asegurarse que su *barómetro magistral* es el único instrumento de su género que permite apreciar con rigurosa exactitud las presiones de la atmósfera.

El barómetro de *Bourdon* fundado en el principio de que todo tubo de paredes flexibles, encorvado según su longitud, tiende á rectificarse cuando aumenta la presión interior, encorvándose mas en el caso inverso, es tambien de *cuadrante*, moviéndose la aguja por un sistema de palancas puesto en juego por un tubo metálico

cerrado, de paredes delgadas, en cuyo interior se ha hecho el vacío. El *aneroidé* funciona por una causa análoga, resultando sus indicaciones del aplastamiento variable que sufre la pared superior de una cajita orbicular, de paredes flexibles, en la que está hecho el vacío. Estos dos barómetros y el de cuadrante se gradúan por comparación.

El barómetro á mas de servir para determinar la presión atmosférica se utiliza para predecir con aproximación las variaciones del tiempo y para medir alturas, pues está averiguado que cada milímetro de la columna barométrica equivale á una altura de 10, <sup>m</sup>5, siempre que no sea mucha la elevación del punto donde se hacen las observaciones.

## LECCION XII.

La compresibilidad de los gases está sometida á la siguiente ley, establecida por Mariotte. *El volumen de un gas se halla en razon inversa de las presiones que sufre.* Esta ley, rigurosamente exacta para el aire, se comprueba con el tubo de Mariotte. De ella se deduce que la densidad y la tensión de los gases son proporcionales á la presión que experimentan. Para medir las tensiones se toma como unidad la presión de la atmósfera, valuada por término medio en 0<sup>m</sup>, 760. Las fuerzas elásticas de los gases y vapores se determinan por medio de los *manómetros*, cuando son superiores á la de la atmósfera. Los hay de tres especies: *el de aire libre*, que se reduce á un tubo de cristal de cinco metros de altura abierto por ambas extremidades, sumergido inferiormente en una cubeta cerrada que contiene mercurio, sobre cuyo nivel obran los gases haciéndolo subir en el tubo que lleva una escala dividida en porciones de 0<sup>m</sup>760: *el de aire comprimido*, que se funda en la ley de Mariotte, tiene el tubo mas pequeño, cerrado por arriba y lleno de aire seco; y el de *Bourdon*, basado en el mismo principio que su barómetro, y de una conformación análoga. Las *válculas de seguridad* sirven hasta cierto punto para el mismo objeto: son unos tapones de metal que se adaptan á orificios practicados en las calderas de vapor, é impiden su salida por la presión que les trasmite una palanca de segundo género con un peso en su extremidad libre.

*Bombas* son unas máquinas destinadas á elevar el agua: pueden

ser *aspirantes, impelentes ó mixtas*. Constan, en general, de un cilindro hueco ó cuerpo de bomba; de un piston ó émbolo movido por una varilla; de un tubo de aspiracion que comunica con el depósito y otro de ascension ó desagüe para dar salida al líquido: tienen además como parte esencial dos ó mas válvulas de situacion variable. La aspirante lleva una en la base del cuerpo de bomba y otra en el piston que se abren de abajo arriba: la mixta carece de válvula en el piston y en su lugar la tiene en la extremidad de un tubo anguloso que comunica con el fondo del cilindro, pero se mueven del mismo modo que las anteriores. La elevacion del agua desde el depósito hasta la cara inferior del émbolo es debida á la presion atmosférica; así es que estos aparatos no funcionan en el vacío, ni pueden atraer el agua á mas altura de 10<sup>m</sup>, 40; siendo menor aún el efecto que en la práctica se consigue. Para hacer continuo el chorro, se hace comunicar el tubo de salida de las bombas impelentes con un depósito cerrado que contiene aire, el cual una vez comprimido, expulsa el agua por su fuerza elástica en los intervalos que el piston sube: este accesorio constituye la modificacion especial de las bombas de incendios. Prescindimos de la bomba impelente, porque para nada entra en su teoría la presion de la atmósfera. *La pipeta, fuente intermitente, frasco de Mariotte y sifon*, deben sus variados efectos á la misma causa que las bombas.

*La escopeta de viento, fuente de compresion y fuente de Heron*, funcionan en virtud del aire comprimido.

### LECCION XIII.

Los gases de diferente peso específico encerrados en un espacio no se sobreponen como los líquidos por el órden de sus densidades, sino que se mezclan de un modo íntimo. Esta mezcla, efecto de la fuerza expansiva se llama *difusion*, y está sometida á las leyes siguientes: 1.<sup>a</sup> *La union de los gases se verifica con mucha rapidez y es persistente y homogénea.* 2.<sup>a</sup> *La mezcla es tanto mas pronta cuanto mayor es á la diferencia de densidad de los gases.* 3.<sup>a</sup> *La presion ejercida por cada uno de los gases mezclados es la misma que si estuviere solo.*

Llámase *efusion* el paso de los gases al vacío á través de un pequeño orificio en pared delgada; *traspiracion* á su salida al mismo

vacío ó á una atmósfera rarefacta por un tubo capilar; y *osmosis* á dicho paso á través de diafragmas.

Los líquidos tienen la propiedad de dejarse penetrar por los gases, verificándose la absorcion de estos conforme á las siguientes leyes: 1.<sup>a</sup> *El peso del gas absorbido por un líquido es proporcional á la presion.* 2.<sup>a</sup> *Dicho peso se halla en razon inversa de la temperatura.* 3.<sup>a</sup> *La cantidad de gas que un líquido es capaz de disolver no varía cualquiera que sea la naturaleza y proporcion de otros gases que pueda tener disueltos.*

Se entiende por *coeficiente de absorcion ó de solubilidad* de un gas, *la relacion entre el volúmen del gas disuelto y el del líquido disolvente* hallándose ambos á la temperatura de 0°.

Aplicando á los gases el principio de Arquímedes, se comprueba con el *baróscopo* que los cuerpos rodeados por un gas pierden de su peso una cantidad igual al peso del volúmen de gas que desalojan. En este principio se funda la construccion de los *acrostatos*, inventados por los hermanos Montgolfier en 1783. Son unos globos de papel ó tela ligera é impermeable, llenos de aire caliente ó de hidrógeno, que se elevan en la atmósfera en virtud de su menor peso á igualdad de volúmen, respecto al aire. Los de papel se llaman *mongolfieres*, y se construyen pegando por los bordes tiras fusiformes en número bastante para que resulte una capacidad mas ó menos esférica, á la que se deja una boca bastante ancha por donde penetra la llama que ha de calentar el aire interior. Los de hidrógeno están formados de pedazos de tafetan de igual figura cosidos unos á otros, terminan en una abertura estrecha y se cubren de una capa de barniz: llevan en la cúspide una válvula que se abre hácia dentro mediante un cordel que sale por la boca del globo, al cual se adapta sobre la mitad superior una red de la que parten las cuerdas que sostienen una canasta de mimbres donde se coloca el aereonáuta. Para llenarlos se suspenden por una argolla que vá unida á la válvula, haciéndolos comunicar con el depósito de gas por medio de un tubo. Nunca se llenan por completo y adquieren bastante fuerza ascensional con solo que el globo, su contenido, y todos los cuerpos que sostiene pesen ocho ó diez libras menos que el volúmen de aire que desalojan. Para descender se abre la válvula tirando del cordon desde la barquilla, dejando salir una parte del hidrógeno; y en los casos extremos se lanza el aereonáuta en el *para-caidas*, que es una especie de gran paraguas con un agujero en el centro.

#### LECCION XIV.

*Máquinas neumáticas* son unos aparatos que sirven para enrarecer el aire en un espacio cerrado. Su invencion se debe á Otto de Guericke en 1650. Entre las varias que hoy se emplean la mas generalizada es la de Hawksbee: consta esencialmente de dos cuerpos de bomba donde se mueven alternativamente en sentido opuesto dos pistones mediante cremalleras que les sirven de varillas, y engranan con un piñon que se hace girar á derecha é izquierda con una doble palanca.

Los cilindros comunican por el fondo con un tubo, terminado en el centro de un plano de vidrio llamado *platina*, sobre la cual se colocan campanas de cristal con el borde esmerilado para que se adapten con exactitud. Cada piston lleva una válvula que se abre de abajo arriba, y á los dos orificios en que terminan los tubos de comunicacion con la platina se aplica otra cuando el piston descien- de. Suponiendo á este en la parte inferior, al empezar á subir abre el orificio de comunicacion con la platina, y el aire contenido en la campana penetra en el vacío que tras de sí va dejando hasta que llega al extremo superior: al principiar á descender cierra la comunicacion con la platina arrastrando una varilla que mueve la válvula, y el aire comprimido cada vez mas levanta la que se halla en el piston y sale al exterior á través de un orificio practicado al efecto en la plancha que cubre el cuerpo de bomba: esto mismo acontece alternativamente en el otro cilindro.

A medida que el aire se enrarece es mayor la desigualdad de presion que el piston resiste en sus caras y crece por consiguiente la dificultad de elevarlo, por ser preciso contrarestar el peso de una columna de aire que tiene por base el émbolo y por altura la de la atmósfera: este inconveniente desaparece con el enlace de los dos pistones, pues la presion que se opone al ascenso del uno favorece en igual cantidad el descenso del otro. Para medir el grado de enrarecimiento del aire tiene la máquina una campana estrecha que comunica con el recipiente y contiene un barómetro truncado, llamado *probeta*. Nunca es posible hacer con ella el vacío completo por la imperfeccion de los ajustes y porque llega un momento en que el aire interior no tiene ya elasticidad suficiente para mover la válvula del piston.

La máquina de Bianchi tiene ventajas sobre la anterior: es de doble efecto, es decir, extrae el aire cuando sube y cuando baja el piston. Consta de un solo cuerpo de bomba que oscila sobre un eje situado en su base, y el movimiento se le comunica por medio de un volante al cual va fija una manivela: toda la máquina es de fundicion lo que permite que tenga mayores dimensiones, pudiendo hacerse el vacío con mas rapidez en recipientes grandes.

La máquina de Kravogl tiene dos cuerpos de bomba: la mayor parte de sus piezas son de acero incluso el piston, y este se halla cubierto por una capa de mercurio bien seco con lo que se consigue que ajuste exactamente al fondo del cuerpo de bomba: cuando está bien construida se llega á enrarecer el aire con ella hasta el 0,1 de milímetro.

Otro sistema moderno es el de las máquinas llamadas *de mercurio*, ideado por Geissler, en las cuales se obtiene el enrarecimiento haciendo comunicar los recipientes con la cámara barométrica: á esta clase pertenecen las máquinas de Ladd y de Alvergnat y el aspirador de Sprengel: con ellas se obtiene un vacío mas completo que con las de piston.

Merece tambien citarse la máquina de *émbola libre* de Deleuil: es de doble efecto como la de Bianchi; con el piston de acero y de un diámetro tal que entre su circunferencia y las paredes del cuerpo de bomba media un intervalo de 0,02 de milímetro. Este espacio está ocupado por un rodete de aire que se adhiere al piston é incomunica las dos partes del cuerpo de bomba, como pudieran hacerlo los émbolos de las máquinas ordinarias sin el rozamiento en estas inevitable.

## LECCION XV.

Bajo el nombre de *fuerzas moleculares* se comprenden las causas productoras de las acciones que resultan por el contacto de las moléculas de los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos entre sí. De ellas dependen los estados físicos de los cuerpos, muchas de las propiedades que en estos observamos y los importantes fenómenos de la capilaridad, absorcion, imbibicion, osmosis, difusion y dialisis de los líquidos. El carácter distintivo de estas fuerzas es el de no producir efecto sino á distancias inapreciables.

Elámase *capilaridad* á la accion que resulta del contacto de cuer-

pos sólidos y líquidos, notable especialmente cuando los primeros tienen la forma de tubos de muy corto diámetro, que por ser comparable al de un cabello se llaman *capilares*. Los fenómenos mas notables de la capilaridad consisten en que cuando el líquido moja á un tubo en él introducido, el nivel en el interior de este está mas alto que el del exterior, y su superficie tiene la forma de un hemisferio cóncavo que recibe el nombre de *menisco cóncavo*: si el líquido no moja al tubo, el nivel interior es mas bajo, su superficie es convexa y se denomina *menisco convexo*. Esta modificacion de forma y altura se verifica tambien en derredor de todos los cuerpos sumergidos parcialmente en cualquier líquido, pero es menos marcada que en los tubos.

Dos son las leyes á que obedece la ascension en los tubos capilares: 1.<sup>a</sup> *La elevacion varía con la naturaleza del líquido y con la temperatura; pero no influye en ella la materia de los tubos ni su espesor.* 2.<sup>a</sup> *Para un mismo líquido la ascension se halla en razon inversa del calibre de los tubos, siempre que este no pase de dos milímetros.* Estas leyes se verifican lo mismo en el vacío que en el aire.

*La depresion es inversamente proporcional al diámetro de los tubos, pero varía con la naturaleza de estos, con la altura del menisco, segun que este se forme durante el movimiento ascendente ó descendente del líquido, siendo dicha altura mayor en el primer caso que en el segundo.*

Entre los cuerpos flotantes que se hallan á distancia capilar hay atraccion si ambos son mojados por el líquido ó no lo son uno ni otro; y repulsion cuando uno es mojado y el otro no. La forma de los meniscos depende de la relacion que existe entre la atraccion del sólido sobre el líquido, la de este consigo mismo y la accion de la gravedad. Si predomina la primera resulta el menisco cóncavo, cuando es mayor la segunda se produce el menisco convexo, y en el caso de superar la gravedad no existe menisco, es decir, la *superficie del líquido es plana*. Tanto el ascenso como la depresion de los líquidos en tubos capilares son efecto de la forma del menisco.

Se dá el nombre de *difusion* á la mezcla espontánea de dos líquidos de naturaleza y concentracion diferente, sin accion química entre sí. La difusibilidad vária de un líquido á otro, es proporcional al grado de concentracion en las disoluciones del mismo cuerpo, y en el caso de hallarse dos ó mas líquidos mezclados se separa primero de la mezcla el mas difusible.

*Osmosis* se llama la mezcla de dos líquidos cuando se verifica á

través de una membrana ó de un diafragma inorgánico poroso. Por efecto de la osmosis se establece una doble corriente entre los dos líquidos en sentido opuesto, y se dice que hay *endósmosis* para el líquido cuyo volúmen crece, y *exósmosis* para aquel cuyo volúmen disminuye. Dutrochet ha comprobado por medio del *endosmómetro* que la ósmosis solo tiene lugar entre líquidos heterogéneos, de diferente densidad, susceptibles de mezclarse, y á condicion de que el diafragma que los separa sea permeable por lo menos para uno de ellos.

*Absorcion* como fenómeno físico es la penetracion de un fluido en el interior de una sustancia porosa, llamándose *imbibicion* cuando el cuerpo absorbido es un líquido.

*Dialisis* es una operacion mediante la cual se separan dos líquidos desigualmente difusibles poniendo en contacto la mezcla de ellos con membranas apropiadas. Para las aplicaciones de la dialisis se dividen los cuerpos en dos clases: los que son susceptibles de cristalizar ó *cristaloides* y los no cristalizables ó *coloides*. Los primeros se difunden fácilmente mientras que los segundos ofrecen poca aptitud para la difusion.

## A C Ú S T I C A .

### LECCION XVI.

*Acústica* es la parte de la Física que se ocupa del estudio de los sonidos en lo que se refiere á su produccion, propagacion, y á las cualidades que sirven para distinguirlos.

*Sonido* es la sensacion que producen en el órgano del oido las vibraciones de los cuerpos elásticos trasmitidas por un medio tambien elástico y ponderable.

Llámanse *vibracion* el movimiento de vaiven que las moléculas de los cuerpos ejecutan alrededor de su posicion de equilibrio cuando cualquier agente altera la relacion de las fuerzas moleculares. Las vibraciones de los cuerpos sonoros pueden escitarse de varios modos, pero los medios mas usados son el choque ó el rozamiento.

El sonido se propaga generalmente por el aire, pudiendo trasmitirse por cualquier cuerpo elástico, sólido, líquido ó gaseoso, pero no se trasmite en el vacío.

Los movimientos vibratorios de los cuerpos sonoros se comunican al aire produciendo en él una serie de condensaciones y dilataciones sucesivas en forma de capas yustapuestas que reciben el nombre de ondas. La porcion de aire que resulta comprimida se llama *onda condensada*, la parte de este fluido enrarecida se denomina *onda dilatada*, y el conjunto de ambas constituye la *onda sonora*. Esta representa la parte de aire modificada durante una vibracion del cuerpo.

*Longitud de la onda sonora* es el espesor de la onda condensada y dilatada reunidas, ó sea el espacio que el sonido recorre mientras dura una vibracion.

La trasmision de los sonidos en el aire tiene lugar por el intermedio de las ondas con una velocidad de 340 metros próximamente por segundo á la temperatura de 16°. En el agua recorre el sonido 1,435 metros á la temperatura de 8°, y en los cuerpos sólidos llega á ser su velocidad hasta diez y seis veces mayor que en el aire.

*Reflexion* del sonido es el retroceso que experimentan las ondas sonoras cuando encuentran un obstáculo en la direccion en que se propagan; llamándose *rayo sonoro* la línea recta que sigue el sonido al transmitirse de un punto á otro en un medio homogéneo. Suponiendo levantada una perpendicular á la superficie reflejante, el ángulo que con ella forma el rayo sonoro procedente del cuerpo que vibra se denomina *ángulo de incidencia*, y el formado por la nueva direccion del rayo despues de reflejado con la misma perpendicular *ángulo de reflexion*.

Las leyes de la reflexion del sonido son dos: 1.ª *El ángulo de incidencia es igual al de reflexion*. 2.ª *El rayo incidente, el reftejo y la normal se hallan en un mismo plano, perpendicular á la superficie reflejante*. Estas leyes se comprueban por medio de los espejos conjugados.

Se llama *eco* la repeticion de un sonido por efecto de la reflexion. Los ecos reciben el nombre de *monosilábicos*, *bisilábicos*, &c., segun el número de sílabas que se repiten. Para que se produzca un eco monosilábico es indispensable que el obstáculo en que las ondas se reflejan diste al menos 34 metros del observador si este pronuncia la palabra, porque requiriendo cada sílaba un quinto de segundo para ser percibida con distincion de las demás, y siendo 68 metros el espacio que atraviesa el sonido en este tiempo, es precisamente el trayecto que la onda recorre al ir y volver desde el sitio que ocupa

el observador á la superficie reflejante. Los *ruidos* ó sonidos de poca duracion producen eco á una distancia de 17 metros; por tanto, para estos como para las palabras, hay *resonancia* cuando la distancia es menor, porque entonces el sonido reflejo se sobrepone al directo. Cuando las ondas se reflejan sucesivamente sobre dos ó mas obstáculos resultan los ecos *dobles*, *triples*, &c.

*Interferencia* es el encuentro de dos sistemas de ondas en igual ó diferente fase de su movimiento, del cual resulta un refuerzo del sonido cuando coinciden dos semi-ondas condensadas ó dilatadas, y la destruccion del movimiento vibratorio, ó sea el silencio, si se encuentra una semi-onda dilatada con otra condensada.

## LECCION XVII.

Los sonidos se distinguen unos de otros por tres cualidades: la *intensidad*, el *tono* y el *timbre*.

La intensidad del sonido se aprecia por la distancia máxima á que este puede percibirse, y depende de la amplitud de las vibraciones. La agitacion del aire, su densidad en el sitio donde el sonido se produce, y la proximidad de cuerpos sonoros la modifican notablemente.

Se dá el nombre de *tono* ó *altura del sonido* á la impresion que resulta en el órgano del oido por efecto del mayor ó menor número de vibraciones del cuerpo sonoro: sonidos *graves* son los producidos por un número de vibraciones menor que los *agudos*, pues la agudeza ó gravedad no se pueden determinar en general sino de una manera relativa.

Para averiguar el número absoluto de vibraciones que corresponden á un sonido se pueden emplear cuatro métodos: el *acústico*, el *gráfico*, el *óptico* y el de las *llamas manométricas*: el primero comprende dos procedimientos; el de la *sirena* y el de la *rueda de Savart*.

Llámanse sonidos *armónicos* aquellos cuyo número de vibraciones, determinado por cualquiera de los medios indicados, son entre sí como la série de los números 1, 2, 3, 4, 5,.... y tienen la particularidad de que su coexistencia produce un efecto agradable al oido.

Estudiando Helmholtz los sonidos, ha conseguido demostrar que solo un corto número de ellos son *simples* ó producidos por una especie de vibraciones sin mezcla de armónicos, mientras que la ma-

yoría resultan de la superposición de varios de estos á otro predominante ó fundamental del cual depende su valor músico. El procedimiento empleado para hacer el análisis de los sonidos se funda en la propiedad que tienen las cajas sonoras de reforzar cada cual un sonido determinado segun el volúmen de aire que encierran. Estas cajas, llamadas *resonadores*, tienen la forma esférica ó cilíndrica con una de sus bases hemisférica, y llevan dos perforaciones en los extremos del eje, una mayor que se dirige al cuerpo sonoro y otra provista de un tubo cónico para aplicarlo al oído.

*Timbre* es una cualidad del sonido, perfectamente distinta de la intensidad y de la tonalidad, por la cual distinguimos unos de otros los sonidos de igual valor músico producidos por instrumentos diferentes. El timbre depende de la naturaleza, número é intensidad de los armónicos que acompañan al sonido fundamental, lo cual se demuestra con el *aparato de Kœnig*.

La Música, que es el arte de combinar los sonidos de una manera agradable al oído, se vale para realizar su objeto de la melodía, la armonía y el ritmo. Sus efectos dependen de la relacion hábilmente establecida entre las intensidades, tonos y timbres de los sonidos sucesivos ó simultáneos, así como de su duracion relativa. La Física, sin penetrar en los dominios de la Música, estudia en su origen los fenómenos que sirven de base á los principios fundamentales de este arte: dicho estudio constituye *la teoría física de la Música*.

Llámase *escala musical* una série de sonidos ó *notas* que van creciendo ó decreciendo en tonalidad y está formada por períodos sucesivos de siete en siete, cada uno de los cuales constituye una *gamma*. La agudeza ó gravedad relativa del grupo de sonidos que la gamma comprende, tiene por único fundamento la naturaleza de nuestro oído, de tal modo, que es casi instintivo el conocer la discrepancia de tonalidad en las siete notas cuando se perciben por su orden natural. Físicamente se esplica la generacion de la gamma por la mayor aptitud de nuestro aparato auditivo para apreciar con tanta mas facilidad las relaciones cuanto mas simples son. Las siete notas de la gamma, empezando por la mas grave reciben los nombres *do, re, mi, fa, sol, la, si*.

Para determinar los sonidos basta indicar el número de vibraciones que los producen; pero se facilita su comparacion representándolos por los números que expresan la relacion existente entre las vibraciones que les corresponden en cada segundo. Así, dos sonidos

originados respectivamente por 80 y 160 vibraciones se indican con los números 1 y 2.

Comparando el número de vibraciones de la primera nota de la gamma con todas las demás, resultan las relaciones siguientes:

$$do=1, re=\frac{9}{8}, mi=\frac{5}{4}, fa=\frac{4}{3}, sol=\frac{3}{2}, la=\frac{5}{3}, si=\frac{15}{8}, do=2.$$

Suponiendo que el número absoluto de vibraciones de la primera nota *do* fuese 522 tendríamos para las sucesivas estos valores: *do* =

$$522, re=522 \times \frac{9}{8}, mi=522 \times \frac{5}{4}, fa=522 \times \frac{4}{3}, sol=522 \times \frac{3}{2}, la=$$

$$522 \times \frac{5}{3}, do=522 \times 2.$$

El número de vibraciones de las notas de la gamma consideradas aisladamente es arbitrario puesto que depende de su tonalidad, pero una vez fijado el de cualquiera de ellas queda establecido el que corresponde á todas las demás de la escala. Para expresar el órden de sucesion de las gammas que constituyen la escala se acostumbra en Física á poner un índice á la derecha y debajo de cada nota, asignando el número<sub>1</sub> á la gamma cuyo *do* corresponde al sonido mas grave del contrabajo, el <sub>2</sub>, <sub>3</sub>, ..... á las que le siguen creciendo en agudeza, y los índices <sub>-1</sub>, <sub>-2</sub>, ..... á las notas de las gammas mas graves; por ejemplo: *do*<sub>1</sub>, *re*<sub>1</sub>, *mi*<sub>1</sub>, ..... *do*<sub>2</sub>, *re*<sub>2</sub>, *mi*<sub>2</sub>, ..... *do*<sub>-1</sub>, *re*<sub>-1</sub>, *mi*<sub>-1</sub>, ..... &c.

Con el fin de arreglar los instrumentos de una orquesta, ó las voces en el canto, y para que el compositor y los artistas tengan un punto de partida fijo, han convenido los centros artísticos de las naciones mas ilustradas en adoptar un *diapason normal*, cuyo instrumento produce la nota *la* que corresponde hoy en Francia á 870 vibraciones simples por segundo, en Alemania á 880 y en Inglaterra á 888. Este *la* pertenece á la gamma que empieza por *do*<sub>2</sub>.

La nota mas grave usada en música es *do*<sub>-2</sub>, cuyo número de vibraciones por segundo es  $32\frac{2}{3}$ , y la mas aguda *la*<sub>6</sub> á la que corresponden 6.960: hay sin embargo sonidos bien apreciables mas graves y mas agudos que estos. La nota mas grave que dá la voz de bajo profundo es *do*<sub>1</sub>, de 130,5 vibraciones, y la mas alta de la voz de soprano es *do*<sub>5</sub>, representada por 2.088. El alcance de todas las voces dentro de este intervalo tiene por límite general dos gammas.

*Intervalo* entre dos sonidos es la relacion de su número de vibraciones tomando como primer término de dicha relacion el sonido

mas agudo. Si se compara la nota mas grave ó la *tónica* con las demás de la gamma, se tienen los intervalos empleados en música, cuyos nombres se expresan á continuacion:

<i>Unísono</i> ..... de <i>do</i> á <i>do</i> = $\frac{1}{1}$	<i>Quinta</i> ..... de <i>sol</i> á <i>do</i> = $\frac{3}{2}$
<i>Segunda</i> ..... de <i>re</i> á <i>do</i> = $\frac{9}{8}$	<i>Sesta</i> ..... de <i>la</i> á <i>do</i> = $\frac{5}{3}$
<i>Tercera mayor</i> de <i>mi</i> á <i>do</i> = $\frac{5}{4}$	<i>Séptima</i> ... de <i>si</i> á <i>do</i> = $\frac{15}{8}$
<i>Cuarta</i> ..... de <i>fa</i> á <i>do</i> = $\frac{4}{3}$	<i>Octava</i> ..... de <i>do</i> <sub>2</sub> á <i>do</i> = 2.

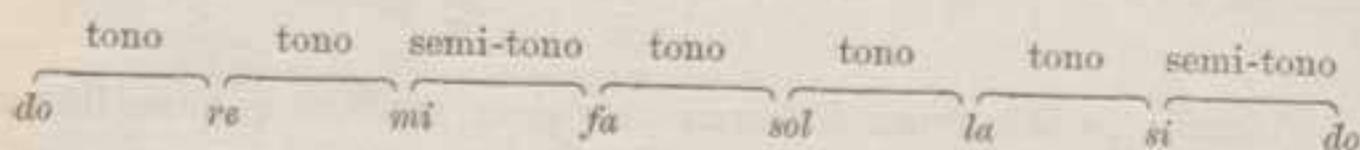
Llámase *acorde* la coexistencia de varios sonidos que produce en el oído una sensación agradable, siéndolo tanto mas, cuanto mas sencilla sea la relación de los sonidos coexistentes. El acorde mas simple es el unísono, á este sigue la octava y sucesivamente la sexta, quinta, cuarta y tercera. Lo mismo acontece si se producen tres sonidos simultáneos: *do*, *mi*, *sol*, cuyos números de vibraciones son 1,  $\frac{5}{4}$  y  $\frac{3}{2}$ , ó multiplicando por cuatro, 4, 5 y 6 forman el *acorde perfecto mayor* que tambien se obtiene con las notas *sol*<sub>1</sub>, *si*<sub>1</sub>, *re*<sub>2</sub> y *fa*<sub>1</sub>, *la*<sub>1</sub>, *do*<sub>2</sub>.

Un fundamento análogo al de los acordes tienen ciertas reglas que el compositor, en medio de su libertad, no puede infringir sin faltar á las exigencias del oído. Por esta razón la *tónica* es la conclusión natural; la quinta ó *dominante* constituye una terminación menos perfecta: la tercera ó *mediante* un descanso menos perfecto aún, y la séptima ó *nota sensible*, por su relación  $\frac{15}{8}$  mas complicada, exige la sucesión pronta de la *tónica*.

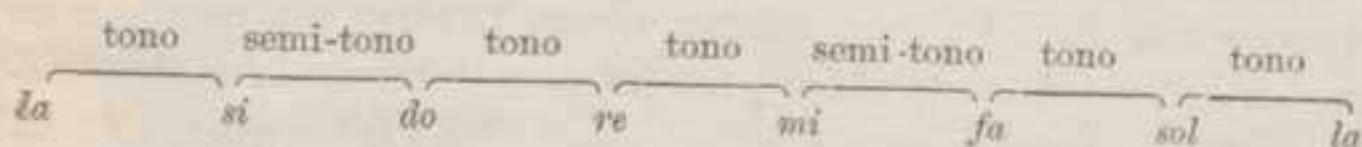
Comparando las vibraciones de cada nota de la gamma con las de la precedente se obtienen las siguientes relaciones: de *do* á *re*  $\frac{9}{8}$ , de *re* á *mi*  $\frac{10}{9}$ , de *mi* á *fa*  $\frac{16}{15}$ , de *fa* á *sol*  $\frac{9}{8}$ , de *sol* á *la*  $\frac{10}{9}$ , de *la* á *si*  $\frac{9}{8}$  y de *si* á *do*  $\frac{16}{15}$ . Estas relaciones representan solo tres intervalos diferentes que son  $\frac{9}{8}$ ,  $\frac{10}{9}$  y  $\frac{16}{15}$ : el primero es la segunda mayor, y se llama *tono mayor*, el segundo *tono menor*, y el tercero *si-*

*mi-tono mayor*. La relacion entre el tono mayor y el tono menor es  $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ : este intervalo  $\frac{81}{80}$ , llamado *comma*, pasa generalmente desapercibido por ser el mas pequeño que se considera en la música, y de aquí el que se confundan el tono mayor con el menor bajo el nombre comun de tonos.

La gamma ordinaria, llamada *gamma mayor*, ó *modo mayor*, porque se funda sobre el acorde perfecto que contiene la tercera mayor, está compuesta de dos tonos, un semi-tono, tres tonos y un semi-tono; ó bien de dos veces dos tonos y un semi-tono separados por un tono, como se vé á continuacion:



Empléase tambien en música la *gamma menor* ó *modo menor*, en la cual los tonos y semi-tonos se hallan distribuidos en un órden diferente, no siendo sus bases tan fijas como las del modo mayor. Hé aquí una de las gammas menores en que se toma *la* como tónica.



En ella se suceden los tonos y semi-tonos como en la gamma mayor si comenzase por *la*.

Entre las notas de la gamma se intercalan otras intermedias cuyo valor indican los signos  $\sharp$ ,  $b$ , llamados el primero *sostenido* y el segundo *bemol*. Sostener una nota es aumentar el número de sus vibraciones en la relacion de 24 á 25, ó hacerla medio tono mas aguda; bemolizarla es disminuir dicho número en la relacion de 25 á 24, ó bajarla medio tono. La relacion  $\frac{25}{24}$ , denominada *semi-tono menor*, es el mas pequeño intervalo usado generalmente en música.

La necesidad de los sostenidos y bemoles se comprende considerando que las composiciones deben, segun su carácter, escribirse en gammas mas agudas ó mas graves unas que otras; y si el único medio de realizarlo fuese tomar los sonidos de diferentes octavas, en la mayor parte de los casos seria insuficiente la extension de los instrumentos y con mayor razon el alcance de las voces para ejecutarlas. Ocurre además tener que cambiar de tono, ó *modular*, en una

composicion para lo cual son indispensables estas notas auxiliares.

La comparacion de las siguientes gammas demuestra el modo de establecer la correspondencia en el órden de los intervalos: los tonos y medios tonos van indicados con números.

Gamma ordinaria..	do	re	mi	fa	sol	la	si	do
	1	1	$\frac{1}{2}$	1	1	1	$\frac{1}{2}$	
Tónica re.....	re	mi	fa	sol	la	si	do	re
	1	1	$\frac{1}{2}$	1	1	1	$\frac{1}{2}$	
		$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$	$1 - \frac{1}{2}$			$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$	$1 - \frac{1}{2}$	
Tónica fa.....	fa	sol	la	si <sup>b</sup>	do	re	mi	fa
	1	1	$\frac{1}{2}$	1	1	1	$\frac{1}{2}$	
			$1 - \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$				

Además de la gamma formada por siete sonidos que se llama *diatónica* ó *natural*, hay otra denominada *cromática* que está compuesta de trece; los siete de la primera mas seis intermedios, cuyos intervalos vienen á ser la mitad de cada uno de los comprendidos entre las notas de la diatónica. Los valores numéricos de las vibraciones que corresponden á una nota sostenida y á su inmediata superior bemolizada no son idénticos; pero difieren tan poco que se pueden suplir indistintamente por otra nota intermedia en los instrumentos de sonidos fijos como el piano. En esto consiste el *temperamento*, y así se establece la gamma cromática ó *temperada*.

*Pulsacion* es el refuerzo sonoro que se percibe á intervalos iguales cuando se producen simultáneamente dos sonidos que no son unísonos. Si la diferencia entre el número de sus vibraciones es corta, engendran un sonido continuo mas grave que aquellos de que procede.

Conociendo el número de vibraciones de un cuerpo sonoro por segundo, se averigua la longitud de la onda dividiendo la velocidad del sonido por el número de vibraciones.

### LECCION XVIII.

Bajo el nombre de *cuerdas* se comprenden todos los cuerpos filiformes y flexibles que fijados por sus extremos son capaces de vibrar y por consiguiente de producir sonidos. Las vibraciones de las cuerdas pueden ser *transversales* ó en direccion perpendicular á su eje, y *longitudinales* ó en el sentido de su longitud. Las primeras se

provocan con los dedos como en la guitarra, con un arco como en el violin, ó por percusion con un martillo como en el piano; las segundas se obtienen frotándolas en su misma direccion con un paño cubierto de colofonia. Las leyes de las vibraciones transversales comprobadas con el *sonómetro* son las siguientes: 1.<sup>a</sup> *El número de vibraciones en la unidad de tiempo se halla en razon inversa de la longitud.* 2.<sup>a</sup> *En igualdad de circunstancias dicho número es inversamente proporcional al diámetro de las cuerdas.* 3.<sup>a</sup> *Es directamente proporcional á la raiz cuadrada de los pesos tensores.* 4.<sup>a</sup> *Se halla en razon inversa de la raiz cuadrada de su densidad.* Todas es-

tán comprendidas en la fórmula  $n = \frac{1}{rl} \sqrt{\frac{P}{\pi d}}$ , en la cual  $n$  representa el número de vibraciones simples por segundo,  $l$  la longitud,  $r$  el radio,  $P$  el peso,  $d$  la densidad y  $\pi$  la relacion de la circunferencia al diámetro.

En toda cuerda que vibra transversalmente hay que considerar los *nodos*, *concameraciones* y *vientres*. Nodos son los puntos en que la vibracion es casi imperceptible; concameraciones las partes vibrantes comprendidas entre los nodos, y vientres las partes medias de cada concameracion en que las vibraciones tienen su mayor amplitud.

Cuando una cuerda vibra se perciben, escuchando con atencion, además del sonido fundamental los armónicos 2 y 3, es decir, la octava de aquel y la de la quinta; pudiendo un oido ejercitado apreciar tambien el 4.<sup>o</sup> y 5.<sup>o</sup> armónico, es decir, la doble octava y la tercera mayor correspondiente.

Las vibraciones longitudinales producen sonidos mucho mas agudos relativamente y tienen pocas aplicaciones.

En acústica se llaman *varillas* á los cilindros ó prismas de madera ó metal cuyo grueso es bastante para que no se doblen cuando se colocan horizontalmente. Las vibraciones de las varillas se dividen en *longitudinales* y *transversales*, y al provocarlas pueden aquellas estar libres por los dos extremos ó fijas por uno de ellos: en el primer caso se asemejan á tubos sonoros abiertos y se someten sus vibraciones á las mismas leyes que en estos; en el segundo son comparables á los tubos cerrados.

Los *diapasones* son varillas curvas de acero que vibran transversalmente: sirven para producir una nota fija, por lo cual se conocen con el nombre de *templadores*, *hierros de tono* ó *coristas*.

Las *placas* ó *láminas vibrantes* son cuerpos rígidos, cuyo largo y ancho esceden mucho al grueso, las cuales se hacen sonar generalmente sujetándolas por un punto y rozando sus bordes con un arco. Dispuestas horizontalmente y cubriéndolas de arena se observa que al vibrar se distribuye esta formando dibujos variados llamados *figuras acústicas*, aplicándose el nombre de *líneas nodales* á las direcciones que marca la posición de la arena. Las leyes que solo por la experiencia se han podido establecer sobre las vibraciones de las placas, en el caso de que produzcan el sonido fundamental ú otro mas agudo de líneas nodales semejantes, cuando tienen la misma figura y son de la misma sustancia, se reducen á dos. 1.<sup>a</sup> *El número de vibraciones es proporcional al espesor.* 2.<sup>a</sup> *Se halla en razon inversa del cuadrado de las dimensiones homólogas.*

*Tubos sonoros* se llaman aquellos que producen sonidos por las vibraciones de la columna de aire que encierran. Segun la disposición adoptada para hacer vibrar el aire se denominan *tubos de boca* ó de *embocadura de flauta*, y *tubos de lengüeta*. En la embocadura se distinguen varias partes todas fijas: la inferior que dá paso al aire y sirve para fijar el tubo al fuelle se llama *pie*, por encima hay una hendidura denominada *luz*, y en frente de esta una abertura transversal, que es la *boca*, compuesta de un *labio superior* y otro *inferior*. La intermitencia en el paso del aire á la porcion del tubo situada por encima de la embocadura, que siempre tiene mucha longitud con respecto al diámetro, se produce por el choque de la corriente de aire que pasa por la luz contra el borde del labio superior, y de aquí nacen una série de semi-ondas alternativamente condensadas y dilatadas.

En los tubos de lengüeta la vibracion se comunica al aire por medio de una lámina elástica, y pueden ser de *lengüeta batiente* y de *lengüeta libre*: la primera se compone de una pieza cóncava llamada *rigola*, la cual está fija á una especie de tapon que cierra la caja, ó *porta-viento*, donde llega el aire por el pie; á la rigola se aplica una chapa metálica ligeramente encorvada, que es la lengüeta, cuya desviacion de los bordes de la rigola se gradúa mediante un alambre denominado *raseta*. Los tubos de lengüeta libre tienen la rigola de forma prismática con una de sus caras cerrada por una chapa de laton que tiene una abertura rectangular en la cual puede oscilar la lengüeta rasando con sus bordes. Tanto en unos como en otros las vibraciones resultan de la interrupcion que por intervalos

experimenta la corriente de aire en su paso del porta-viento á la rigola.

En la columna de aire contenida en los tubos se distinguen, mientras estos suenan, unas partes que varían continuamente de presión y densidad pero que no vibran llamadas *nodos*, entre las cuales se encuentran porciones de igual longitud, ó *vientres*, que vibran constantemente sin cambiar de densidad ni de presión. La distribución de los nodos y vientres varía según que los tubos están cerrados ó abiertos por su extremidad: en los primeros hay siempre un nodo en el fondo y un vientre en la boca; en los segundos existen dos vientres en ambos puntos. La causa de los nodos y vientres es la interferencia de la onda directa producida en la embocadura con la onda reflejada en el fondo del tubo si es cerrado, y en la masa de aire exterior si es abierto. Las ondas que al encontrarse llevan el mismo sentido se superponen y forman un vientre, y las que se encuentran en fases opuestas de su movimiento se equilibran y producen un nodo.

Las leyes de Bernoulli, aunque no son rigurosamente demostrables por la experiencia, reasumen las condiciones generales de las vibraciones en los tubos: las principales son las siguientes. 1.<sup>a</sup> *Los tubos cerrados producen sonidos cada vez mas agudos á medida que se fuerza la corriente de aire, y si se representa por 1 el sonido mas grave ó fundamental, los sucesivos corresponden á la série de los números impares 3, 5, 7, 9, 11, &c.* 2.<sup>a</sup> *Los sonidos del mismo órden en tubos desiguales corresponden á un número de vibraciones que está en razon inversa de sus longitudes.* 3.<sup>a</sup> *Cuando no se forma mas de un nodo, el tubo da el sonido fundamental y la longitud de la onda es igual al cuádruplo de la de aquel.* 4.<sup>a</sup> *Las vibraciones de los sonidos sucesivos que se obtienen con los tubos abiertos se hallan en la relacion de los números 1, 2, 3, 4, 5....* 5.<sup>a</sup> *El sonido fundamental de un tubo abierto es la octava aguda del que produciria si fuese cerrado.*

El órgano de la fonacion en el hombre es la *laringe*, situada en la parte anterior y superior del cuello donde está enlazada superiormente con el hueso hiodes, continuándose por abajo con la *traquearteria*. Es un conducto que resulta de la union de cuatro cartilagos, el *tiroides*, el *cricoides* y los dos *aritenoides*; encontrándose en su interior cuatro repliegues membranosos formados por un tegido elástico, paralelos dos á dos, en cuyo intervalo queda una hendidura para el paso del aire, y reciben el nombre de *ligamentos superiores é in-*

*feriores*. Estos últimos se llaman también *cuerdas vocales* y la abertura que limitan *glotis*: los espacios ó concavidades que median entre los dos ligamentos de cada lado constituyen los *ventrículos* de la laringe.

La producción de la voz tiene lugar por la acción del aire sobre las cuerdas vocales que vibran á la manera de las lengüetas libres; el tono depende del grado de tensión que en aquellas determinan los músculos aritenoides y de la mayor ó menor abertura de la *glotis*; produciendo los ventrículos el efecto de cajas sonoras, ó sea el de reforzar el sonido. Savart compara la laringe con un *reclamo*, y no falta quien la considere como un instrumento de cuerdas en que el aire hace las veces de arco.

El *órgano del oído* ocupa las partes laterales de la cabeza, hallándose alojada su porción más esencial en los huesos temporales. Se compone del *oído externo*, *medio* é *interno*: el primero comprende el *pabellón de la oreja* y el *conducto auditivo externo*; el segundo lo constituye la *caja del tambor*, cavidad limitada hácia afuera por la *membrana del tímpano*, que comunica por delante con la garganta mediante un conducto llamado *trompa de Eustaquio*, por dentro con el oído interno por dos aberturas denominadas *ventana oval* y *ventana redonda* y por detrás con las *células mastoideas*. En el interior de la caja del tímpano hay cuatro pequeños huesos llamados *martillo*, *yunque*, *lenticular* y *estribo*, articulados entre sí formando una cadena dirigida de fuera adentro; el martillo se adhiere á la cara interna de la membrana del tímpano y el estribo se adapta á la ventana oval.

El *oído interno* ó *laberinto* se compone de varias cavidades: el *vestíbulo* que comunica con el oído medio por la ventana oval; los *tres canales semicirculares* que desembocan en el vestíbulo, y el *caracol* cuyo conducto en hélice está dividido según su longitud en dos que se comunican por un extremo, mientras que por el otro termina uno en el vestíbulo y el otro en la ventana redonda, cerrada por una membrana. El laberinto contiene un líquido llamado *linfa de Cotugno* donde flotan las ramificaciones del *nervio acústico*.

El mecanismo de la audición, tal como lo explica Savart, es muy sencillo. Las ondas sonoras reflejadas por la oreja hácia el conducto auditivo externo hacen vibrar la membrana del tímpano; esta transmite las vibraciones por el intermedio de la cadena de huesecillos á la ventana oval y por el aire de la caja del tímpano á la membrana

de la ventana redonda. El líquido que llena el laberinto y baña tanto esta membrana como la base del estribo, recibe de ambos el movimiento vibratorio, que trasmitido á los filamentos del nervio acústico produce la sensacion del sonido.

## ELECTRICIDAD.

### LECCION XIX.

Se han llamado *fluidos imponderables* los agentes de naturaleza desconocida, que aparte de la atraccion terrestre y molecular, se consideran como causa de los fenómenos físicos. Estos fluidos, como su nombre indica, carecen de peso, son incoercibles é inapreciables por sí mismos, y solo manifiestan su existencia por las modificaciones que en los cuerpos producen.

Por mucho tiempo se han admitido cuatro distintos, la *electricidad*, el *magnetismo*, el *calórico* y el *lumínico*; pero cada dia vá ganando mas terreno la hipótesis de la *unidad de las fuerzas físicas*, la cual supone la existencia de un fluido único, llamado *éter*, sumamente sutil y elástico, que está esparcido por todo el universo penetrando en la masa de todos los cuerpos. Segun este modo de ver, los fenómenos eléctricos, magnéticos, caloríficos y luminosos resultan del movimiento que los átomos de la materia ponderable trasmiten á dicho fluido, y la diferente apariencia que aquellos presentan depende únicamente de la naturaleza del movimiento.

*Electricidad* es un agente cuya existencia se manifiesta por diversos fenómenos, entre los que sobresalen las conmociones, descomposiciones y produccion de calor y de luz. Se divide en *estática* y *dinámica*: bajo la primera forma se desarrolla por el rozamiento, acumulándose en la superficie de los cuerpos al estado de *tension*; y bajo la segunda se produce por las acciones químicas y los atraviesa en forma de *corriente*. Los que la trasmiten con facilidad se llaman *buenos conductores*, y *aisladores* ó *malos conductores* los que se oponen á su propagacion: la conductibilidad de la Tierra ha hecho que se le dé el nombre de *depósito comun*.

Los efectos de la electricidad se han explicado por dos hipótesis: la de Symmer que la supone constituida por la reunion de dos fluidos, *vítreo* y *resinoso*, obrando cada uno por repulsion sobre sí

mismo y por atracción sobre el otro, los cuales al reunirse se neutralizan formando lo que se llama *fluido neutro ó natural*. El estado eléctrico no se hace sensible sino cuando uno de ellos predomina sobre el otro ó se encuentra aislado. Franklin no admitía mas que un fluido, suponiendo que cada cuerpo tenía al estado latente una cantidad determinada de él: si esta aumenta se electriza aquel *positivamente*, y *negativamente* si disminuye.

La teoría moderna se asemeja bastante á la hipótesis de Franklin. Admítase hoy que la electricidad es efecto de la condensación ó enrarecimiento del éter en la superficie de los cuerpos, los cuales se hallan al estado neutro en tanto que el éter que los penetra conserva el equilibrio, pero si este se altera aparece la electricidad al *estado positivo* cuando el éter se condensa, y al *estado negativo* cuando resulta enrarecido.

Siempre que dos cuerpos se frotan, *uno se carga de la electricidad vítrea ó positiva y el otro de la resinosa ó negativa*. Las fuerzas eléctricas se miden por el grado de atracción ó repulsión que producen, el cual tiene lugar *en razon inversa del cuadrado de la distancia*.

La electricidad ocupa siempre la superficie de los cuerpos conductores, sobre la cual forma una capa tanto mas gruesa cuanto mas saliente es la parte que cubre, aumentando su *tension* ó esfuerzo por desprenderse en proporcion al cuadrado del espesor que aquella tiene. En las puntas adquiere el máximum de tension y por esto se escapa por ellas á la atmósfera á pesar de la poca conductibilidad del aire. En dos cuerpos conductores en contacto, el uno electrizado y el otro al estado neutro, la electricidad del primero se reparte entre los dos proporcionalmente á las superficies: si son malos conductores solo se electriza el segundo en los puntos de contacto. Las sustancias conductoras aisladas pierden prontamente el fluido libre por la conductibilidad del aire, en razon al vapor de agua que este contiene, y por los sostenes en que descansan.

## LECCION XX.

Se ha convenido en llamar *electrizacion por influencia ó por induccion* al hecho de producirse el estado eléctrico en un cuerpo bajo la accion de otro electrizado mas ó menos distante. En tal caso este, ó sea el *inductor*, altera el equilibrio de los fluidos del primero ó

*inducido*, atrayendo hácia sí el de distinto nombre y repeliendo el de su misma especie.

Si dos cuerpos conductores cargados de diferente fluido se hallan próximos, cuando la tension de las dos electricidades supera á la resistencia del aire se reunen á través de él produciendo una chispa. Por efecto de esta reunion desaparece total ó parcialmente el fluido libre que ambos tenian, á lo que debe este fenómeno el nombre de *descarga disruptiva* para distinguirlo del paso de los cuerpos electrizados al estado néutro cuando comunican con el depósito comun. De este modo se unen tambien á distancia los dos fluidos en los casos de electrizacion por influencia.

Los movimientos de atraccion y repulsion que se producen entre los cuerpos electrizados se pueden referir á tres casos: 1.º el cuerpo movable es conductor y se halla al estado natural; 2.º el cuerpo movable es conductor y está electrizado, y 3.º el cuerpo movable no es conductor. La teoría de la electrizacion por influencia explica por qué en el primer caso hay atraccion; en el segundo la hay tambien si el cuerpo movable tiene fluido de nombre contrario al otro, ó se halla muy próximo á él, aun cuando tenga fluido igual, y repulsion permanente si con electricidades diferentes se hallan bastante separados; y en el tercero habrá atraccion si los estados eléctricos difieren y repulsion si son idénticos.

La existencia y naturaleza de la electricidad que los cuerpos tienen se averigua por medio de los *electróscopos*.

Máquinas eléctricas son unos aparatos que sirven para producir electricidad estática. Constan esencialmente de un cuerpo que frota, otro que es frotado y un conductor aislado donde se acumula la electricidad desarrollada por el rozamiento: la máquina mas simple es el *electróforo*.

## LECCION XXI.

En las máquinas eléctricas antiguas, que son las mas generalizadas, se produce la electricidad por el rozamiento continuo de dos sustancias, pudiéndose clasificar segun la forma del cuerpo frotado en máquinas de *esfera*, de *disco* y de *cilindro*; formando grupo aparte la *hidro-eléctrica*. A la primera clase perteneció la de Otto de Guerick inventor de esta especie de aparatos; en la segunda figuran las de Ramsden, Winter y Van Marum; y entre las de cilindro merece citarse la de Nairne.

La máquina de Ramsden puede tomarse como tipo para establecer la teoría de todas las demás. Compónese de un disco de cristal que roza con cuatro almohadillas colocadas en el plano de un diámetro vertical y pasa al nivel de su diámetro horizontal muy cerca de varias puntas metálicas, fijas á un cilindro de laton encorvado que comunica con uno ó dos conductores aislados.

Haciendo girar el disco con un manubrio, se carga de fluido positivo, mientras las almohadillas toman el negativo que escapa al suelo por los sostenes: al llegar la porcion electrizada en frente de las puntas, atrae á ellas por influencia el fluido negativo, que se dirige al disco y lo reduce al estado néutro; quedando en los conductores la electricidad positiva, cuya tension vá creciendo hasta que se equilibra la cantidad de fluido engendrada en el disco con la que se pierde por el aire.

En la máquina de Armstrong se produce la electricidad por el rozamiento de pequeñas partículas de agua, resultado de la condensacion incompleta del vapor, sobre unos tubos sinuosos que atraviesa este al desprenderse.

Las máquinas recientemente inventadas difieren de las anteriores en que la electricidad no es debida al rozamiento, sino á la induccion de un cuerpo electrizado de antemano sobre un sistema móvil. De este género son la de Holtz, la de Bertsch y la de Carré.

Las experiencias que ordinariamente se hacen con las máquinas eléctricas son la chispa en el aire y gases rarefactos; la del tubo y globo chispeante; cuadro mágico, electrizacion del cuerpo humano; campanario, granizo y danza; insuflacion, molinete eléctrico, pistolete de Volta y pez volador de Franklin.

## LECCION XXII.

Con el nombre de *electricidad latente* se conoce un estado particular de los dos fluidos eléctricos, en el cual por efecto de la accion recíproca que entre sí ejercen, se acumulan en grandes cantidades sobre pequeñas superficies, sin dar muestras directamente de su existencia con tales condiciones. Los aparatos usados para producir este efecto son los *condensadores*, cuya forma varía mucho; pero todos se componen esencialmente de dos cuerpos conductores separados por otro aislador, y están fundados en la electrizacion por influencia.

El *condensador de Aepinus* consta de dos platillos metálicos aplicados á las caras opuestas de una lámina de cristal, que como ellos vá montada sobre un pie no conductor. Puesto en comunicacion uno de los platillos con la máquina eléctrica y otro con el depósito comun, la electricidad positiva del primero descompone por induccion el fluido néutro del segundo, atrayendo hácia sí el negativo y repeliendo el positivo á la tierra. Cuando se interrumpen las comunicaciones, las dos electricidades permanecen retenidas en los platillos por efecto de su atraccion mútua; pero solo se revela su existencia en el que comunicó con la máquina. Los condensadores se pueden descargar tocando sucesivamente los dos platillos con el dedo, ó haciéndolos comunicar mediante un *escitador*. El *cuadro fulminante* y la *botella de Leyden* no son otra cosa que condensadores.

La electricidad estática es capaz de producir efectos *fisiológicos luminosos, caloríficos, mecánicos y químicos*; que se comprueban por las experiencias de la cadena de personas; del huevo eléctrico, botella chispeante, inflamacion del éter, fusion de alambres, retratos de Franklin, perfora-vidrios, mortero eléctrico, termómetro de Kinnersley, pistolete de Volta y eudiómetros.

Sin necesidad de rozamiento se obtiene electricidad estática por la presion, la evaporacion y el clivage.

### LECCION XXIII.

El hecho fundamental de la *electricidad dinámica* se debe á Galvani, quien descubrió en 1786 que cuando los nervios lumbares de una rana comunicaban por un circuito metálico con los músculos crurales, estos experimentaban contracciones. Para explicar el fenómeno supuso que los nervios y los músculos poseian una electricidad propia y que las sacudidas eran resultado de la combinacion de sus dos fluidos á través del arco metálico. Volta, juzgando que la parte activa correspondia á los metales, rechazó por completo toda influencia vital, y sentó definitivamente el principio de que siempre que se ponian en contacto dos sustancias heterogéneas cada cual se cargaba de fluido de nombre contrario.

Basada en esta teoría construyó la *pila de columna*, formada por la reunion de láminas circulares de zinc y de cobre separadas por

rodajas de paño mojado en agua acidulada. En ella como en las mas modernas, se llama *par* la reunion de los dos cuerpos electro-motores, *polos* los puntos en que se acumulan separadamente los dos fluidos, *electrodos* los conductores que á ellos se unen, y *corriente* la recomposicion que se verifica cuando estos se juntan, suponiéndose que marcha del polo positivo al negativo: *tension* es el esfuerzo que hacen los fluidos por desprenderse. A la misma categoría corresponden las pilas de *artesa*, de *Wollaston* y de *Munk*, y las *cilíndricas*, *espirales*, de *cadena* y *secas*.

#### LECCION XXIV.

Las pilas compuestas de dos metales y un solo líquido tienen el defecto de producir corrientes cuya intensidad disminuye con rapidez por el empobrecimiento del ácido á medida que se combina con el zinc, y porque engendran *corrientes secundarias*, ó en sentido contrario de la corriente principal, que la neutralizan mas ó menos completamente.

En las pilas de *corriente constante* se obvia este inconveniente empleando dos líquidos susceptibles de reaccionar el uno sobre el otro. Inventadas por Becquerel en 1829 han sufrido muchas modificaciones introducidas principalmente por Daniell, Verité, Grove, Bunsen, Marié Davy, Callaud, Minotto y Duchemin. Las de Daniell y Bunsen son las de uso mas general.

Cada *elemento* ó *par* de la pila de Daniell mas moderna se compone de un vaso de vidrio lleno de una disolucion saturada de sulfato de cobre, donde vá introducida una lámina de cobre agugereada y encorvada en forma de cilindro, con una caja anular en su parte superior, cuyo fondo está tambien perforado para colocar en ella cristales de sulfato de cobre, que se disuelven á medida que la pila funciona. En el hueco que deja esta lámina se coloca un recipiente cilíndrico de tierra porosa lleno de agua pura, ó mejor con ácido sulfúrico ó sal marina en disolucion, y en el interior del vaso poroso un cilindro de zinc abierto por ambas extremidades.

Al poner en comunicacion los dos electrodos, ó *cerrar la corriente*, empieza la reaccion química; el agua se descompone uniéndose su oxígeno al zinc *electrizándose este negativamente*, mientras que el hidrógeno es arrastrado por el agua acidulada *que toma la electri-*

*cidad positiva*; la cual se dirige atravesando el vaso poroso y la disolución de sulfato cúprico á la lámina de cobre: el hidrógeno á su paso por la disolución separa el oxígeno del cobre y este vá á depositarse sobre la lámina del mismo metal. En cuanto al óxido que resulta de la descomposición del sulfato de zinc por la corriente interior queda dentro del vaso poroso; y respecto á la disolución de sulfato de cobre recupera su grado de concentración inicial por la disolución de los cristales. El ácido sulfúrico puesto en libertad por la descomposición del sulfato de cobre, y el oxígeno del agua se dirijen hácia el zinc para convertirlo en sulfato. En esta pila, como en todas, el polo *positivo* corresponde al cuerpo inactivo que es el cobre; y el *negativo* al metal atacado por el líquido que lo baña, es decir, al zinc. La pila de Verité ó *de balon* es una modificación de la de Daniell.

La pila de Bunsen, ó de *carbon*, inventada hace treinta años, consta de un vaso cilíndrico de vidrio ó de barro lleno de una disolución acuosa de ácido sulfúrico que contiene un décimo de este cuerpo; dentro de ella un cilindro de zinc amalgamado, un vaso poroso con ácido nítrico ordinario y en su interior un prisma ó cilindro de carbon: á este y al zinc se sujetan por medio de tornillos de presión unas láminas de cobre que hacen veces de electrodos y sirven para enlazar los pares unos con otros.

Las reacciones que tienen lugar en el momento que se cierra el circuito son las siguientes. El zinc bajo la acción del ácido sulfúrico descompone el agua, se combina con el oxígeno de esta, y el óxido formado se une al ácido sulfúrico constituyendo sulfato de zinc. Este metal se carga de fluido negativo y el agua del positivo, el cual atraviesa el vaso poroso llevando consigo el hidrógeno, que se consume en descomponer parcialmente al ácido nítrico, y termina extendiéndose en el carbon. El sulfato de zinc es descompuesto por la corriente interior produciendo ácido sulfúrico que vivifica la disolución y óxido de zinc que se precipita en el vaso interno.

La corriente de esta pila no es constante como la obtenida con la de Daniell. Su decrecimiento inevitable depende de que la disolución sulfúrica se debilita gradualmente, porque nunca se descompone todo el sulfato de zinc engendrado por la acción química, á lo que se une la disminución de la permeabilidad del vaso poroso por el depósito del óxido de zinc, y el empobrecimiento del ácido nítrico á consecuencia del cual llega por último el hidrógeno á depositarse en el carbon y le quita la conductibilidad.

Los pares se enlazan uniendo sucesivamente mediante láminas ó alambres de cobre el zinc del uno con el cobre del otro, correspondiendo el polo positivo al carbon del elemento de un extremo y el polo negativo al zinc del que ocupa la otra extremidad.

Las corrientes producen con mayor intensidad que la electricidad estática efectos fisiológicos, caloríficos y luminosos; siendo entre estos últimos notable la *luz eléctrica*, susceptible de adquirir una brillantez casi comparable á la del sol.

## LECCION XXV.

La *electro-química* se ocupa del estudio de los fenómenos de combinacion y descomposicion determinados por las corrientes.

Diversas experiencias, y en particular las verificadas con el electrómetro condensador y el galvanómetro, han comprobado que toda reaccion química vá acompañada de algun desprendimiento de fluido eléctrico. La generalidad de este hecho ha servido de base á Becquerel para establecer las siguientes leyes. 1.<sup>a</sup> *Al combinarse el oxígeno con otro cuerpo, toma aquel el fluido positivo y el combustible el negativo.* 2.<sup>a</sup> *Cuando un ácido obra químicamente sobre un metal ó se combina con una base, el ácido se electriza positivamente y el metal ú óxido negativamente.* 3.<sup>a</sup> *En las descomposiciones se produce la electrizacion en el orden inverso.* 4.<sup>a</sup> *En las dobles descomposiciones no se altera el equilibrio eléctrico.* Segun estas leyes, la fuerza electromotriz de Volta reside en la accion química resultante del efecto del ácido sobre el zinc; y ellas explican porqué en toda pila corresponde el polo negativo al metal atacado y el positivo al elemento inerte; como tambien el decrecimiento de la corriente en las pilas de un solo líquido por la debilitacion del ácido, y el desarrollo de corrientes secundarias.

Con la pila se descomponen todas las combinaciones cualquiera que sea su órden, recibiendo la calificacion de *electro-negativos* los elementos ó compuestos que se dirijen al polo positivo, y la de *electro-positivos* los que van al polo opuesto: la descomposicion efectuada por la pila se llama *electrolisis*. Demuestra la experiencia que son siempre electro-negativos el oxígeno de los oxácidos y de los óxidos, y el ácido de las sales.

El agua se descompone por medio del *voltámetro* con tal re-

gularidad que se ha querido sustituir este aparato al galvanómetro para medir las corrientes intensas, fundándose en el hecho de que en tiempos iguales descomponen las corrientes pesos de agua proporcionales á sus intensidades: la unidad de intensidad es la de una corriente que desprenda un gramo de hidrógeno por minuto.

Para explicar Grottuss la acumulacion de los cuerpos en los dos polos de la pila cuando la corriente destruye sus combinaciones, admite que en las disoluciones donde los electrodos se introducen se verifica una série de descomposiciones y recomposiciones sucesivas de molécula á molécula, de las cuales resulta que solo las que ocupan los extremos dejan de recomponerse quedando libres cada cual en su polo respectivo.

Entre las aplicaciones de la electrolisis figuran en primer término la *galvanoplastia* y el *dorado y plateado galvánicos*.

## LECCION XXVI.

Se ha llamado *magnetismo* á la causa productora de ciertas atracciones y repulsiones que se observan en varias sustancias, sobre todo en el hierro. *Imanes* son los cuerpos que poseen la propiedad de atraer á este metal y algunos otros como el níquel y el cobalto. Se dividen en *naturales* y *artificiales*; notándose en todos que la fuerza atractiva ó *magnética* es mas poderosa en dos puntos extremos llamados *polos*, y nula en la parte media del intervalo que los separa. Los polos se designan con los nombres de *boreal* y *austral*, y tienen la propiedad de repeler á los del mismo nombre y atraer á los de nombre contrario de otros imanes.

Este hecho se explicaba antes suponiendo que el magnetismo consistia en dos fluidos llamados boreal y austral que obraban por repulsion consigo mismos y por atraccion uno con respecto á otro, incapaces de producir efecto hallándose combinados; pero que orientándose alrededor de las moléculas constituian los imanes, los cuales se diferencian de las simples *sustancias magnéticas* en que estas carecen de polos, si bien pueden adquirirlos por el contacto con un iman, quedando así imanados por influencia. La fuerza que en una sustancia magnética se opone á la orientacion de los fluidos, ó á su recomposicion cuando están separados, se llama *fuerza coercitiva*.

Con la balanza de Coulomb se demuestra que las atracciones y repulsiones magnéticas se verifican en razon inversa del cuadrado de la distancia.

La direccion constante de las extremidades de la aguja imanada ha dado lugar á que se atribuya á la Tierra una accion directriz sobre los imanes, asimilándola á un gran iman cuyos polos se hallan próximos á las extremidades del eje terrestre; llamándose por analogía *meridiano magnético* de un lugar al plano vertical que pasa por él y por los polos de un iman en equilibrio, movable sobre un eje vertical. El ángulo formado por el meridiano magnético y el astronómico se llama *declinacion*, y sus variaciones se comprueban con la brújula de este nombre. *Inclinacion* es el ángulo que la aguja forma con el horizonte cuando se mueve en un plano vertical comprendido en el meridiano magnético. El *ecuador magnético* está representado por una línea trazada por los puntos en que la inclinacion es nula.

*Agujas astáticas* son las que están sustraídas de la accion directriz de la Tierra, y *sistema astático* la reunion de dos agujas de igual poder, montadas sobre el mismo eje de modo que se correspondan sus polos contrarios.

Para imanar un cuerpo magnético por medio de otros imanes se emplean tres métodos: el del *contacto simple*, el del *contacto separado*, y el de *doble contacto*.

## LECCION XXVII.

*Electro-magnetismo* es el nombre que se aplica á la parte de la Física que trata de las acciones recíprocas que tienen lugar entre los imanes y las corrientes. Oersted fué el primero que descubrió el enlace del magnetismo con la electricidad en 1819, observando que cuando una corriente pasa cerca de una aguja magnética la desvia tanto mas del plano del meridiano magnético cuanto mayor es su intensidad.

Ampère redujo los hechos comprobados por Oersted al siguiente principio. *Mediante la accion directriz de las corrientes sobre los imanes, el polo austral, ó sea el que mira al norte, se desvia hácia la izquierda de la corriente.* Para fijar esta posicion que personifica á la corriente, se supone al observador tendido en el hilo conjuntivo de modo que teniendo la cara vuelta hácia la aguja le entre aquella por los pies y le salga por la cabeza. Fijándose en esta consideracion se comprende que todas las partes de un circuito rectangular

que rodea á una aguja confluyen á darle la misma direccion, multiplicando su efecto en proporcion al número de vueltas.

El *galvanómetro* llamado tambien *multiplicador* ó *reómetro*, inventado por Schweigger y perfeccionado por Nobili, es una aplicacion de la influencia de las corrientes sobre los imanes. Consta esencialmente dicho instrumento de un sistema astático pendiente de un hilo de seda sin torsion, dispuesto de manera que la aguja inferior gira dentro de un bastidor rectangular ó elíptico, al cual va rollado un alambre fino de cobre cubierto de seda, que puede dar hasta 30.000 vueltas. La aguja superior se mueve encima y á corta distancia de un platillo circular metálico dividido en dos partes por un diámetro, con dos cuadrantes graduados á cada lado de uno de sus extremos.

Las extremidades del hilo conductor se hacen comunicar con los puntos por donde se sospecha que pasa la corriente, despues de colocar horizontalmente el zócalo del galvanómetro y el diámetro del platillo paralelo al eje de las agujas. La desviacion angular de estas marca entonces la intensidad de la corriente, y el sentido en que se verifica determina su direccion.

El galvanómetro á mas de servir para comprobar la existencia de corrientes por débiles que sean, es un instrumento de extrema sensibilidad para apreciar las temperaturas.

## LECCION XXVIII.

La *electro-dinámica* trata de la accion que las corrientes ejercen unas sobre otras.

Introduciendo en el circuito de una pila conductores de alambre movibles, doblados convenientemente, se comprueban las siguientes leyes: 1.<sup>a</sup> *Las partes sucesivas de una corriente se repelen entre sí.* 2.<sup>a</sup> *Dos corrientes paralelas se atraen cuando van en el mismo sentido, y se repelen si marchan en sentido contrario.* 3.<sup>a</sup> *Dos corrientes rectilíneas que forman ángulo se atraen cuando ambas se aproximan ó se alejan del vértice, y se repelen cuando una se acerca y la otra se separa de este punto.* 4.<sup>a</sup> *La accion de una corriente sinuosa equivale á la de otra rectilínea igual á ella en proyeccion.*

La accion de una corriente indefinida sobre otra corriente finita

y movable, perpendicular á su direccion, está sometida á este principio. *Si la corriente finita se aproxima á la indefinida, aquella tiende á moverse paralelamente á esta en direccion opuesta al sentido de la corriente fija; si la corriente movable se aleja de la fija se mueve tambien paralelamente á ella, pero en el mismo sentido.* Dedúcese de aquí 1.º que toda corriente vertical, móvil al rededor de un eje paralelo á su direccion, trata de girar sobre él hasta colocarse en el plano de la corriente indefinida, situándose la corriente vertical hácia el origen de esta si es descendente, y en la parte opuesta si fuere ascendente: 2.º bajo el influjo de una corriente fija, las rectangulares ó circulares movibles tienden á colocarse en el mismo plano que ella, de modo que ambas tengan igual direccion en la parte mas próxima.

Las atracciones y repulsiones que se ejercen entre las corrientes angulares, explican los movimientos de rotacion que se producen por una indefinida sobre las rectilíneas finitas situadas en su mismo plano, y sobre las que son perpendiculares á ella.

Llámanse *solenoides* un sistema de corrientes circulares iguales y paralelas que recorren un alambre forrado de seda, enroscado sobre sí mismo en forma de hélice: las extremidades de los solenoides se llaman *polos*, y mientras se hallan atravesados por la corriente se confunden con los imanes bajo todos conceptos.

## LECCION XXIX.

La analogía entre los solenoides y los imanes indujo á Ampère á establecer una nueva teoría del magnetismo, segun la cual los fenómenos atribuidos á un fluido especial se explican por las leyes de la electro-dinámica.

Considera Ampère las propiedades de los imanes como el resultado de corrientes circulares en el mismo sentido, que se establecen por la imanacion al rededor de las moléculas de toda sustancia magnética, las que obrando de un modo simultáneo, producen el efecto de una corriente única, dirigida circularmente en la superficie del iman cual si fuese un solenoide. Como un medio de recordar la direccion de estas corrientes hipotéticas, se vale Faraday de una comparacion ingeniosa diciendo: *en el polo boreal de un iman van estas corrientes en el sentido de las agujas de un reloj y en el austral en sentido contrario.*

La acción directriz de la Tierra sobre los imanes depende, según Ampère, de la existencia de corrientes que circulan en nuestro globo de Este á Oeste en planos perpendiculares al meridiano magnético de cada lugar.

Los fenómenos del electro-magnetismo despertaron la idea de aplicar las corrientes á la imanación. Para imanar por este método se enrollan alambres forrados de seda sobre tubos de cristal donde se colocan las barras de hierro. Cuando las vueltas van dirigidas de izquierda á derecha por arriba resulta una hélice llamada *dextrorsum*, y si se practican de izquierda á derecha por abajo una hélice *sinistrorsum*. Con la primera hélice el polo boreal de la barra resulta en el extremo por donde entra la corriente, correspondiendo á este punto el polo austral en el caso contrario.

*Electro-imanes* son unas barras de hierro dulce, encorvadas generalmente en herradura, cuyas dos ramas van cubiertas por hélices enrolladas en sentido opuesto, que al ser atravesadas por la corriente de una pila imanán transitoriamente el metal. La potencia atractiva de un electro-iman depende de la intensidad de la corriente, del número de vueltas de la hélice, y de la calidad y dimensiones de la barra.

*Telégrafos eléctricos* son unos aparatos destinados á transmitir señales á grandes distancias por medio de corrientes voltaicas que se propagan por alambres. Todo el juego de estos telégrafos estriba en la propiedad que tienen los electro-imanes de adquirir el poder magnético mientras son atravesadas por la corriente, quedando inertes en cuanto esta se interrumpe.

Aprovechando esta circunstancia, se coloca un electro-iman cerca de una pieza movable de hierro llamada *armadura*, la cual se aproxima á él cuando se halla imanado, alejándose en seguida por la acción de un muelle. De esta manera, por el intermedio de hilos metálicos se producen de una estación á otra oscilaciones, que varían á voluntad abriendo ó cerrando el circuito. En último resultado, todos los telégrafos funcionan transmitiendo este movimiento á un mecanismo cuya diferente disposición sirve de base para clasificarlos en *telégrafos de cuadrante, de señales, impresores y electro-químicos*; siendo sus partes esenciales la pila, los conductores, el aparato manipulador y el receptor. En el mismo principio se fundan los *relojes y los motores eléctricos*.

### LECCION XXX.

Se llama *inducción* el influjo que á distancia ejercen las corrientes ó los imanes poderosos sobre los circuitos metálicos y sobre las sustancias magnéticas. Por este medio se producen corrientes denominadas *corrientes inducidas* ó *de induccion*.

Pueden desarrollarse bajo la accion de corrientes intermitentes ó contínuas, por la presencia de los imanes, y por la accion de la Tierra ó de los cuerpos en movimiento. Las corrientes intermitentes producen induccion solo en el acto de empezar ó concluir; y las contínuas lo mismo que los imanes, al aproximarse ó separarse del circuito inducido. Las corrientes que provocan en el primer caso van en sentido contrario de la inductora y tienen la misma direccion en el segundo, ó sea cuando aquella concluye, disminuye de intensidad, ó se aleja del hilo inducido. La induccion se desenvuelve tambien por las corrientes sobre sí mismas y por la electricidad estática.

*Máquinas magneto-eléctricas* son unos aparatos que producen corrientes inducidas por la accion de los imanes. En la *máquina de Clarke* un poderoso haz magnético desarrolla sucesivamente polos de diferente nombre en los ejes de dos bobinas que giran delante de él, originando en cada uno las corrientes de Ampère, dirigidas como se sabe, en el polo boreal segun el sentido de las agujas de un reloj y en el austral en direccion contraria. Estas ejercen la induccion sobre los alambres de ambas bobinas, y las corrientes que los atraviesan toman direcciones opuestas en cada semirevolucion del electroimán por efecto del cambio de polos, corrigiéndose esta alternativa por medio *del conmutador*: así resulta una corriente idéntica á las voltáicas.

La *máquina electro-magnética de Nollet* se funda en el mismo principio que la de Clarke.

*Las bobinas de Siemens* tienen el hilo de cobre rollado en el sentido de la longitud del cilindro de hierro, y se disponen de modo que puedan girar rápidamente entre los polos de una série de imanes en herradura. De esta manera funcionan en la *máquina magneto-eléctrica* de Wilde y en la *dinamo-magnética* de Ladd.

---

### LECCION XXXI.

Las máquinas *electro-medicinales* son aparatos de induccion magneto-eléctricos ó electro-voltáicos. Duchenne, despues de numerosas investigaciones sobre los efectos terapéuticos de la electricidad, considera las corrientes inducidas como el agente electro-medicinal preferible, y ha llamado *faradizacion* á la aplicacion de estas corrientes al tratamiento de las enfermedades.

Las máquinas electro-medicinales tienen formas distintas, pero en todas se atiende principalmente á reducir su volúmen, y á disponerlas de manera que se pueda variar con facilidad la rapidez de las interrupciones y la intensidad de las corrientes inducidas que producen. Merecen citarse como tipos las de Breton y Duchenne.

La *bobina ó carrete de induccion de Ruhmkorff* produce corrientes inducidas por la interrupcion de la corriente continúa de una pila. Aunque varía la disposicion de algunas de sus partes y su magnitud, consta esencialmente de dos alambres de cobre cubiertos de seda, y rollados de modo que cada espira está aislada de la inmediata por una capa de goma laca. El hilo inductor ocupa la parte mas próxima al eje del carrete, tiene un grueso de unos dos milímetros y una longitud de algunos metros; mientras que el inducido, con un diámetro máximo de un tercio de milímetro, llega á tener hasta 100 kilómetros de largo. Lleva la bobina en su interior un haz de alambres de hierro dulce que se imanar bajo la accion de la corriente inductora, haciendo oscilar una pieza movible, tambien de hierro, llamada *martillo*, cuyos movimientos ocasionan interrupciones continuas á su paso, y por consecuencia corrientes inducidas, alternativamente directas é inversas, en el alambre delgado.

Los efectos de la bobina de Ruhmkorff son análogos á los de las baterías y pilas, pero de una intensidad muy superior, sobre todo los fisiológicos, pues con solo tocar el hilo inducido cubierto de seda se experimenta una fuerte conmocion. Para precaver todo accidente al disponer las experiencias, y variar ó interrumpir á voluntad la corriente, se enlazan los reoforos de la pila con un *commutador*.

*Corrientes termo-eléctricas* son las que se producen por el calor en circuitos metálicos. Su existencia se demuestra por el *experimento de Seebeck*, que fué quien las descubrió en 1821.

La causa de estas corrientes es la propagacion desigual del calor á través del circuito, dependiente de una diferencia de estructura ó densidad á uno y otro lado del punto que se calienta. Aunque de igual naturaleza que las corrientes *hidro-eléctricas*, así llamadas las de las pilas ordinarias; no son debidas al contacto, porque se desarrollan en circuitos formados por un solo metal, ni se pueden atribuir á las acciones químicas puesto que se producen en el vacío. Su carácter distintivo consiste en que no pueden atravesar los líquidos, ó lo hacen con suma dificultad á causa de su débil tension.

Ellámase *par termo-eléctrico* la reunion de dos piezas de distintos metales, soldadas por un extremo, y en comunicacion por el opuesto con un conductor. *Poder termo-eléctrico* de cada uno de los metales que constituyen un par es la intensidad relativa de la corriente obtenida calentando á un grado conocido la soldadura de ambos, mientras que el otro se mantiene á 0°.

Las *pilas termo-eléctricas* resultan de la asociacion de cierto número de pares, dispuestos de modo que se puedan calentar simultáneamente las soldaduras semejantes. Despues de la pila de Nobili, cuyos pares están formados por barras de bismuto y antimonio, merecen conocerse las de Pouillet y de Becquerel.

Las corrientes termo-eléctricas, aplicadas por Melloni al *termo-multiplicador*, que consiste en la reunion de una pila de Nobili y un galvanómetro, son el agente principal de la *pinza termo-eléctrica* y de los *termómetros y pirómetros eléctricos*.

## CALÓRICO.

### LECCION XXXII.

*Calórico* es un agente imponderable é invisible que produce la sensacion del calor.

Para explicar su naturaleza se admiten dos *hipótesis ó sistemas*: el de *la emision* por el cual se supone que la causa del calor consiste en un fluido material, imponderable, acumulado alrededor de las moléculas de todos los cuerpos, produciendo en ellas un estado de repulsion y capaz de trasmitirse de unos á otros. El otro, llamado de *las ondulaciones*, considera al calor como efecto de un movimiento vibratorio que se establece en las moléculas de los cuerpos calien-

tes y se trasmite á los demás, propagándose como el sonido, á través de un flúido extraordinariamente sutil y elástico llamado *éter*, que llena todo el espacio y penetra toda la materia. El calórico tiene por efecto general el dilatar los cuerpos, llegando hasta hacerlos variar de estado.

*Temperatura* de un cuerpo es el grado de calor apreciable que tiene en un momento dado. Los instrumentos usados para determinarla se llaman en general *termómetros*; pero se reserva especialmente este nombre para los que se aplican á medir temperaturas medias, dándose el de *pirómetros* á los que se emplean para grados de calor mayores.

El termómetro mas usado es el de mercurio; porque tiene las ventajas de conducir bien el calórico, dilatarse con regularidad y ser poco volátil. Consisten los termómetros en un tubo capilar cerrado por un extremo, y terminado por el opuesto en un receptaculo lleno de mercurio así como una parte del tubo, con una escala adjunta que marca las dilataciones. Los principales son el *centígrado*, el de *Reaumur* y el de *Fahrenheit*, que se distinguen por la graduacion. La escala del primero comprende cien partes entre el 0, que señala la temperatura del hielo fundente, y el 100 la de ebullicion del agua: la del segundo contiene solo ochenta divisiones entre los mismos límites; y la del tercero abraza ciento ochenta, á contar del grado 32 que señala en el hielo, porque el cero de ella se obtiene sumergiéndolo en una mezcla refrigerante, de donde resulta que su escala consta de 212°.

Para convertir los grados R.<sup>o</sup> en c.<sup>o</sup> se multiplica el número de aquellos por  $\frac{5}{4}$ ; si se trata de reducir á R.<sup>o</sup> los c.<sup>o</sup> se multiplican estos por  $\frac{4}{5}$ ; para pasar los F.<sup>o</sup> á c.<sup>o</sup> se resta 32 de los primeros multiplicando el residuo por  $\frac{5}{9}$ ; y para convertir los c.<sup>o</sup> á F.<sup>o</sup> se multiplican aquellos por  $\frac{9}{5}$  agregando al producto 32.

El *termómetro de alcohol* es preferible para temperaturas muy bajas y solo difiere del anterior en el líquido. El *termómetro diferencial de Leslie* y el *termoscopio de Rumford* marcan por la dilatacion del aire la diferencia de temperatura de dos puntos próximos; el de *Breguet* y el *metálico de cuadrante* se fundan en la desigual dilatacion de los metales, y los de *máxima* y *mínima* señalan por medio de un índice, arrastrado por sus respectivos líquidos, el mayor grado de calor ó de frio habido durante un intervalo de tiempo conocido.

### LECCION XXXIII.

Aunque los cuerpos se dilatan simultáneamente en sus tres dimensiones, se estudian por separado la dilatacion *lineal* y la *cúbica*. Se entiende por *coeficiente de dilatacion lineal* la prolongacion que experimenta la unidad de longitud de un cuerpo, cuando su temperatura se eleva de 0° á 1 grado, y por *coeficiente de dilatacion cúbica* el aumento que sufre en igual caso la unidad de volúmen: este último es tres veces mayor que el primero. El coeficiente de dilatacion lineal se determina por el método de Lovoissier y Laplace, ó el de Roy y Ramsden; el de dilatacion cúbica se halla directamente con el *termómetro de peso*, ó se deduce del coeficiente de dilatacion lineal.

La dilatacion de los sólidos tiene muchas aplicaciones, siendo una de las mas importantes la de los *péndulos compensadores*. Es sabido que para que no varíe la duracion de las oscilaciones de un péndulo es preciso que se conserve siempre idéntica su longitud, ó sea la distancia entre los centros de suspension y de oscilacion. Esto se consigue suspendiendo la lente por medio de una série de barras alternativamente de acero y de laton, enlazadas en forma de rectángulos, de modo que las primeras se prolonguen hácia abajo en la misma proporción que las otras se extienden hácia arriba; lo cual se obtiene haciendo que sus longitudes se hallen en razon inversa de los coeficientes de dilatacion respectivos.

En los líquidos solo se considera la dilatacion cúbica, que se divide en *aparente* y *absoluta*: aquella representa el aumento de volúmen que por el calor adquiere un líquido encerrado en una vasija menos dilatante que él, y esta indica el aumento real que experimenta sin tomar en cuenta la dilatacion del recipiente, siendo por lo tanto mayor que la primera. En los líquidos interesa fijar por separado el coeficiente de dilatacion absoluta y el de la aparente: los del mercurio son  $\frac{1}{8350}$  y  $\frac{1}{6430}$ . El agua ofrece la particularidad de que al bajar su temperatura solo se contrae hasta 4°, aumentando despues de volúmen si continúa el enfriamiento, de modo que *su mayor densidad* corresponde á dicha temperatura, lo cual se comprueba con los experimentos de Hope, Hallström y Despretz.

Los gases se dilatan en mayor proporción y con mas regularidad

que los sólidos y líquidos, y el coeficiente de dilatacion varía muy poco de unos á otros; pudiéndose tomar como tipo para todos sin grave error el del aire, representado por 0,00367. El *termómetro de aire* es un instrumento fundado en la dilatacion de este flúido.

*Peso específico de los gases* es la relacion entre el peso de un volúmen dado de un gas y el de otro igual de aire, en el supuesto de que ambos estén sometidos á la misma presion y temperatura: se acostumbra á elegir las de 0<sup>m</sup>, 760 y 0°. Los pesos específicos de los gases con relacion al agua se obtienen multiplicando su densidad respecto al aire por 0,001293.

El paso de los cuerpos del estado sólido al líquido por la accion del calor se llama *fusion*. Sus leyes son dos. 1.<sup>a</sup> *Siendo constante la presion, cada cuerpo funde siempre á la misma temperatura.* 2.<sup>a</sup> *Esta permanece invariable hasta que el cuerpo acaba de fundir, cualquiera que sea el foco calorífico empleado.* Esta cantidad de calor absorbido por el cuerpo, é inapreciable por el termómetro, se llama *calórico latente de fusion*.

El tránsito de un cuerpo del estado líquido al sólido constituye la *solidificacion*: tiene lugar á la misma temperatura que la fusion y esta temperatura permanece constante mientras no concluye la variacion de estado. La absorcion de calórico latente por los cuerpos que se liquidan explica el efecto de las *mezclas refrigerantes*.

#### LECCION XXXIV.

*Vapores* son los flúidos aeriformes que resultan del paso de los líquidos al estado gaseoso por efecto del calórico. Este cambio de estado se llama en general *vaporizacion*.

Los vapores están dotados de fuerza elástica como los gases y se producen en el vacío instantáneamente. Se halla un vapor *al estado de saturacion* ó *en su máximum de tension* cuando la cantidad de él que llena una capacidad es la mayor que puede subsistir á aquella temperatura y presion: se dice entonces que el espacio está *saturado*. En este caso los vapores se diferencian de los gases en que no están sometidos á la ley de Mariotte.

La tension de los vapores está íntimamente relacionada con la temperatura, habiéndose estudiado con especial esmero bajo este aspecto la del vapor del agua por sus importantes aplicaciones. A—30°

es de 0,<sup>mm</sup>30; á 0° de 4,<sup>mm</sup>60; á 100° de 0,<sup>m</sup>760 y á 231° pasade 28 atmósferas. Cuando el vapor de agua se halla encerrado en un espacio desigualmente caliente, la fuerza elástica en todo él es la que corresponde á la temperatura mas baja.

Al mezclarse los vapores con los gases conservan la misma tension que si se hallaran solos, suponiendo que no varíe la temperatura, y la fuerza elástica de la mezcla es igual á la suma de las fuerzas elásticas que ambos tendrían estando separados. En el acto de vaporizarse absorben los líquidos una gran cantidad de calórico latente que se denomina *calórico de elasticidad*.

La formacion lenta del vapor en la superficie de un líquido se llama *evaporacion*. La rapidez con que se produce depende de la temperatura, de la cantidad del mismo vapor contenido en la atmósfera ambiente, de la renovacion de esta, y de la extension de la superficie evaporante. Para pasar el líquido al estado gasiforme necesita hacer latente mucho calor, y no teniendo en este caso un foco que se lo comunique, lo roba al resto de su masa y á la vasija, produciendo su enfriamiento. Haciendo aplicacion de este hecho congeló Leslie el agua, evaporándola bajo la campana de la máquina neumática.

*Liquefaccion ó condensacion de los vapores* es su paso al estado líquido: se puede producir por compresion, por enfriamiento y por la afinidad química. La *destilacion* es un doble fenómeno que consiste en vaporizar un líquido por el calor y condensarlo despues por el enfriamiento: se emplea para aislar los líquidos de las sustancias menos volátiles que ellos á que están unidos.

Se dá el nombre de *absorcion* á un accidente que ocurre en los aparatos usados en Química para preparar los gases, y consiste en que el líquido sobre el cual se recojen penetra en la vasija donde se desprenden, por efecto del exceso de presion de la atmósfera sobre la tension del gas en el interior del aparato. Para precaver este efecto se emplean *los tubos de seguridad*.

Llámase *ebullicion* la produccion rápida de vapor en el interior de un líquido. Está subordinada á dos leyes. 1.<sup>a</sup> *La temperatura á que comienza, variable en distintos líquidos, es siempre igual para cada uno y proporcional á la presion.* 2.<sup>a</sup> *Desde que empieza hasta que concluye, la temperatura queda estacionaria cualquiera que sea la intensidad del calor aplicado á la vasija.* La naturaleza de esta y las sustancias disueltas en el líquido modifican bastante la temperatura inicial del fenómeno, sucediendo lo mismo con la presion. El

*hervidero de Franklin y la marmita de Papin* prueban los efectos de esta última.

Los gases son en realidad vapores muy dilatados y de aquí el que se puedan liquidar por los mismos medios que estos; siendo necesario emplear para conseguirlo la acción sola ó combinada de grandes presiones y bajas temperaturas: los que resisten á estos medios se llaman *permanentes*.

### LECCION XXXV.

*Conductibilidad calorífica* es la propiedad que los cuerpos tienen de transmitir el calor mas ó menos fácilmente á través de su masa. Son *buenos conductores* los que lo transmiten con facilidad, y *malos conductores* los que se prestan poco á propagarlo. La conductibilidad diferente de los sólidos se demuestra con los aparatos de Ingenhousz y de Jamin: yo empleo uno para este fin que está exento de las causas de error de que aquellos adolecen aun como aparatos de simple demostración.

Los líquidos y gases son malos conductores: se calientan por corrientes, mediante las cuales se ponen las moléculas sucesivamente en contacto con el foco de calor ó con las partes de la vasija que tienen mayor temperatura.

Cuando el calor se propaga de un cuerpo á otro á través del espacio se llama *calórico radiante*: rayo calorífico es la recta que marca la dirección del calórico al propagarse. *La radiación se verifica en el vacío como en el aire, y si el medio es homogéneo tiene lugar en línea recta y se efectúa en todas direcciones.* La intensidad del calórico radiante es proporcional á la temperatura del foco, está en razón inversa del cuadrado de la distancia y es tanto menor cuanto mas oblicuos son los rayos respecto á la superficie que los emite.

Prevost explica la comunicación del calórico radiante suponiendo que los cuerpos desprenden constantemente calor en todas direcciones, recibéndolo al mismo tiempo de aquellos que los rodean. De aquí resulta que los mas calientes pierden mas que reciben, sucediendo lo contrario con los mas frios, hasta que llega cada uno á emitir la misma cantidad que los otros le envían, constituyendo este estado lo que se llama *equilibrio móvil de temperatura*.

Se entiende por *reflexión del calórico* la variación de marcha que sufren los rayos caloríficos cuando llegan á la superficie de un

cuerpo. Llámase *rayo incidente* el que vá directamente desde el foco á la superficie reflejante; *rayo reflejo* la nueva direccion que entonces toma; *normal* una perpendicular que se concibe levantada en el punto de reflexion; *ángulo de incidencia* el que esta forma con el rayo incidente y *ángulo de reflexion* el formado por la misma con el rayo reflejo. Con los espejos conjugados se demuestran estas dos leyes á que está sometida la reflexion. 1.<sup>a</sup> *El ángulo de incidencia es igual al de reflexion.* 2.<sup>a</sup> *El rayo incidente, el reflejo y la normal se hallan en el mismo plano perpendicular á la superficie reflejante.*

Se conoce con el nombre de *difusion*, ó *reflexion irregular*, á la que se verifica sobre superficies deslustradas ó rugosas, llamada así porque tiene lugar en todas direcciones alrededor de cada punto de incidencia.

*Refraccion* del calórico es la desviacion que sufren los rayos caloríficos al pasar oblicuamente de un medio á otro. Este fenómeno está sometido á las mismas leyes que la refraccion de la luz y se demuestra por iguales procedimientos.

Llámase *poder reflector* la propiedad que tienen los cuerpos de rechazar una porcion variable del calor incidente; *poder emisor* la de emitir, á igualdad de superficie y de temperatura, mas ó menos calórico; *poder absorbente* la de dejar penetrar en su masa una parte mayor ó menor del calor que reciben; *poder diatérmico* la de darle paso á través suyo.

*La calorimetría* tiene por objeto medir la cantidad de calor que los cuerpos absorben ó ceden cuando su temperatura sube ó baja cierto número de grados, ó cuando cambian de estado. Se toma como unidad la *caloría*, equivalente á la cantidad de calor necesaria para elevar de 0° á 1° un kilogramo de agua.

Con el nombre de *calórico específico* de un cuerpo se indica la relacion que existe entre la cantidad de calor que absorbe para que su temperatura pase de 0° á 1° y la que absorberia en el mismo caso un peso igual de agua.

El diferente calórico específico de los cuerpos se demuestra mezclando pesos iguales de dos líquidos á temperaturas diversas; pero yo me valgo con ventaja de un aparato que lo hace patente de una manera mas clara por la fusion de tres planchas de esperma, producida simultáneamente por nueve esferas de igual peso de distintas sustancias. Para fijar el calórico específico de cada cuerpo se em-

plean los métodos *de la fusion del hielo, de las mezclas, y del enfriamiento.*

Partiendo del principio de que el trabajo mecánico puede convertirse en calor y vice versa, se considera como *equivalente mecánico del calor* el trabajo necesario para desarrollar una caloría. M. Joule ha averiguado experimentalmente que dicho equivalente es igual á 425 kilográmetros.

Son las principales fuentes de calórico el sol, el calor propio del globo, los efectos de la absorcion, las reacciones químicas, el rozamiento, la presion, la electricidad y la accion vital.

### LECCION XXXVI.

*Máquinas de vapor* son aquellas que funcionan en virtud de la tension del vapor de agua, cuyas ventajas como agente mecánico dependen de que se puede acrecentar su potencia extraordinariamente y al mismo tiempo graduarla á voluntad, ó anularla con rapidez.

Si se prescinde del ensayo hecho por el español Blasco de Garray en 1543, el principio de los motores de vapor no fué conocido hasta que Dionisio Papin publicó en 1690 la descripcion de la experiencia fundamental que constituye la base de este género de máquinas. Ocho años despues inventó Savery un mecanismo para elevar el agua, en el que se producía el vacío por la condensacion del vapor; pero no pudiendo ser aplicado al agotamiento de las minas, concibió Newcomen la idea de emplear con este objeto las bombas ordinarias movidas por el sistema debido á Papin, y asociado con Cawley y Savery construyeron la *máquina atmosférica*, primera de su especie que ha funcionado en la industria y bastante parecida á la de Papin, aunque mejorada.

La máquina de Newcomen sufrió la primera reforma de consideracion por el ingeniero Brighton, aprovechando la feliz inspiracion de un niño, Humphrey Potter; y despues, á contar desde el año de 1763 en que James Watt se dedicó á perfeccionarla introduciendo en ella casi todas las mejoras esenciales que hoy se conservan, ha experimentado multitud de variaciones de menor importancia en su mayor parte, las cuales han dado origen á los variados sistemas usados en la actualidad.

En toda máquina de vapor se distinguen dos partes: la *caldera* y la *máquina* propiamente dicha.

La caldera, ó *generador del vapor*, se construye ordinariamente de palastro y alguna vez de cobre. En las máquinas fijas de baja presión suele ser cóncava por debajo, semicilíndrica por arriba y plana lateralmente; pero con mas frecuencia tiene la forma de un cilindro terminado por dos casquetes esféricos: las de alta presión comunican inferiormente con dos tubos de menor diámetro, colocados dentro del horno, llamados *hervideros*.

En las calderas de los buques se atiende con especialidad á disminuir su peso y á conseguir la mayor superficie de caldeo con el menor volúmen posible, á cuyo fin se les dá una forma mas ó menos prismática: son *tubulares*, ó cuando menos de *hogar interior*, teniendo muchas de ellas tabiques interiores y las caras planas opuestas siempre enlazadas por tirantes de hierro.

El generador de las locomotoras vá colocado sobre muelles en un gran bastidor que descansa en las ruedas; es de forma cilíndrica y está atravesado interiormente segun su longitud por un número variable de tubos de cobre, bañados por el agua, que dan paso á la llama y gases calientes engendrados por la combustion del carbon á una cavidad prismática llamada *caja de fuego*, que ocupa la parte posterior de la locomotora. Por delante desembocan dichos tubos en otra capacidad denominada *caja de humo*, que comunica con la chimenea y aloja los dos tubos que conducen el vapor á los cilindros, y otro por donde este escapa á la atmósfera despues de producir su efecto mecánico. Las locomóviles difieren poco de las locomotoras respecto á las calderas.

El agua consumida por la vaporizacion se renueva en las calderas de distintos modos: á las de baja presión, fijas, se puede aplicar el sistema automático llamado de *columna de agua*; en las de alta presión se emplean bombas, movidas por la máquina misma, pudiéndose regularizar la entrada del agua con un tubo de conducción de Brindley; pero el sistema de alimentación preferible es el *inyector Giffard*.

Todas las calderas llevan varios accesorios destinados en su mayor parte á fijar el nivel del agua y á precaver las explosiones. Debiendo quedar un espacio suficiente para el vapor, es preciso procurar que el nivel del agua se conserve á poco mas de la mitad de la caldera, y para determinar su situacion se emplean el *tubo de nivel*, las *llaves ó grifos*, el *indicador magnético*, el *flotador de nivel* y el *silbato de alarma*. A conocer la tensión del vapor y evitar

que exceda el límite de resistencia de la caldera se destinan los *manómetros*, *termo-manómetros*, *válvulas de seguridad* y *placas fusibles*. Tienen por último dos aberturas de comunicacion con el *tubo de alimentacion* y *tubo de vapor*, y otra de mayor diámetro llamada *agujero del hombre*, que se destapa para extraer los depósitos terrosos y salinos que el agua abandona.

Las principales causas de la explosion de las calderas de vapor son: el deterioro de sus paredes por la accion corrosiva del fuego ó de algunas aguas; el entorpecimiento ó excesiva carga de las válvulas; la disminucion de tenacidad del palastro por hallarse á fuego limpio; las incrustaciones salinas; la estrechez de los tubos que enlazan los hervideros con el generador y la falta de aire en el agua al empezar la ebullicion.

### LECCION XXXVII.

Las innovaciones hechas por Watt en la máquina de Newcomen, representan casi todos los detalles fundamentales de los diversos sistemas conocidos en la actualidad.

Constaba esencialmente la *máquina atmosférica* de un *cuerpo de bomba ó cilindro*, abierto por arriba y con el fondo hemisférico, dentro del cual se movia un *émbolo ó piston* con su varilla, enlazada mediante una cadena á la extremidad de una gran palanca de primer género llamada *balancin*, el cual se unia de igual manera por el extremo opuesto á la varilla de una bomba aspirante. La caldera, situada debajo del cuerpo de bomba, comunicaba con el fondo de este por un tubo provisto de llave. Al abrir esta penetraba el vapor debajo del piston, empujándolo hasta la parte superior del cilindro, en cuyo momento se cerraba la comunicacion con la caldera y se hacia entrar un chorro de agua que condensaba el vapor, descendiendo entonces el émbolo por efecto de la presion atmosférica. El agua inyectada, así como la procedente del vapor liquidado, se extraia de tiempo en tiempo por otra llave dispuesta al efecto.

Tenia esta máquina los inconvenientes de consumir una gran cantidad de vapor en caldear el cuerpo de bomba, enfriado continuamente por el agua inyectada y por el contacto del aire con su cara interna cuando bajaba el piston; siendo además su marcha lenta, y desigual la velocidad del émbolo en los movimientos de ascenso y descenso.

Watt corrigió estos defectos: 1.º Haciendo pasar el vapor despues de producir su efecto mecánico á una vasija cerrada que llamó *condensador*, de donde lo extraia una bomba despues de liquidado, en union con el aire que desprendia por la falta de presion. 2.º Cerrando el cuerpo de bomba por arriba con una tapa perforada en el centro para dejar paso á la varilla del piston, y poniendo en la abertura una *caja de estopa*, que sin entorpecer el movimiento impedia la fuga del vapor. 3.º Haciendo entrar alternativamente el vapor en la parte superior é inferior del cilindro, para lo cual unió á este un recipiente, denominado *caja de distribucion ó repartidor*, porque el vapor que á él llegaba era conducido á la parte alta del cuerpo de bomba al concluir el émbolo su ascenso, y á la parte baja cuando terminaba el descenso: por esta reforma se llamaron las nuevas máquinas *de doble efecto*.

Las innovaciones indicadas condujeron á Watt á idear otras no menos importantes, como el *paralelógramo articulado* que estableció en la union de la varilla del émbolo con el balancin para conseguir que aquella conservara su movimiento rectilíneo, mientras este describia un arco de círculo; la aplicacion de la biela y manibela al eje para convertir el movimiento alternativo del balancin en circular continuo, y el uso del *regulador de fuerza centrífuga* para arreglar la marcha de la máquina por el movimiento de la máquina misma.

La *máquina de Watt de doble efecto* se compone de un cilindro hueco de hierro ó *cuerpo de bomba* á donde llega el vapor de la caldera por el intermedio de la *caja de distribucion*. Una pieza cóncava por una de sus caras, llamada *tirador ó válvula en D*, se mueve dentro de esta caja resbalando sobre la pared que corresponde al cilindro, en la cual terminan tres conductos: el del centro va al condensador y los otros á la parte superior é inferior del cuerpo de bomba respectivamente. Mientras la válvula sube, el vapor penetra por el orificio mas bajo á la parte inferior del cilindro, comunicando entonces la parte superior con el condensador por el espacio que limita su concavidad, y cuando aquella desciende queda libre el paso del vapor á la parte alta del cuerpo de bomba, en tanto que la baja comunica con el condensador. En el interior del cilindro hay un *piston ó émbolo* con su varilla, unida mediante el *paralelógramo articulado* con un extremo del *balancin*, palanca ordinariamente de fundicion, movil sobre su centro, que se articula por la otra extremidad con

una *biela* y esta con la *manivela* calada sobre el *eje* ó *árbol de asiento*. Siendo iguales los brazos del balancin, la longitud de la manivela está representada por la mitad del espacio que media entre las dos posiciones extremas del piston.

Al árbol de asiento vá fija una rueda de mucho peso, llamada *volante*, cuyo objeto es regularizar la marcha del movimiento, evitando por su velocidad adquirida que este se interrumpa en los *dos puntos muertos*, que corresponden al instante en que el émbolo se halla en los extremos de su carrera. Sobre el mismo eje está montada una *excéntrica* que mediante un sistema de palancas mueve la válvula del repartidor; uniéndose tambien el árbol de asiento por una cuerda sin fin al regulador de fuerza centrífuga, que rige el movimiento de la válvula situada en el tubo de vapor.

Tiene además la máquina tres bombas, puestas en juego por el balancin: *la de aire*, para extraer el agua del condensador; *la de alimentacion*, para proveer de agua caliente la caldera; y *la de pozo*, para aspirar el agua fria destinada á condensar el vapor.

Conocidas las partes constitutivas de la máquina y sus relaciones, es muy fácil comprender la marcha del movimiento. Suponiendo al piston en la parte inferior del cuerpo de bomba y á la válvula del repartidor empezando su movimiento de ascenso, el vapor penetra debajo de aquel, empujándolo hácia arriba; al subir eleva la varilla y esta el extremo del balancin con quien se articula haciendo descender el opuesto, el cual comunica su accion á la biela, está á la manivela y la manivela al árbol de asiento y al volante. La rotacion del árbol de asiento trasmitida al regulador gobierna la válvula del tubo de vapor, y pone simultáneamente en juego mediante la excéntrica la válvula del repartidor, y al mismo el balancin hace funcionar las bombas. Al descender el émbolo se produce el movimiento de una manera análoga.

Los variados tipos que presentan las máquinas de vapor usadas en el dia hacen su clasificacion difícil, siendo preciso agruparlas tomando por base consideraciones distintas.

Segun la tension del vapor, se llaman de *baja presion* cuando aquella no pasa de atmósfera y media; de *media presion* si está comprendida entre una y media y cuatro atmósferas, y de *alta presion* de cuatro atmósferas en adelante.

Máquinas *con condensador* son las provistas de este accesorio, y *sin condensador* las que dejan escapar el vapor al aire despues que

ejerce su accion mecánica. Las primeras suelen ser de media presion, las segundas siempre de alta presion.

Llámanse de *simple efecto* si el vapor obra únicamente sobre una de las caras del piston, y de *doble efecto* cuando actúa alternativamente sobre ambas.

Si el vapor penetra en el cuerpo de bomba mientras el piston recorre todo su camino, se denominan *máquinas sin expansion*; pero si se interrumpe la entrada de aquel antes que el émbolo concluya su carrera, de modo que continúe su marcha solo por efecto de la fuerza expansiva dependiente de la temperatura, se les aplica el nombre de *máquinas con expansion*.

Atendiendo á la manera como se trasmite el movimiento de la varilla del piston al árbol de asiento, se dividen en máquinas de *balancin* ó de Watt; de *biela articulada* ó de Maugdlay; y de *cilindro oscilante* ó de Mamby. Las hay tambien de *rotacion directa* en que el movimiento se produce directamente sobre el eje.

La posicion del cuerpo de bomba permite distinguir las de *cilindro vertical* y de *cilindro horizontal*; existiendo algunas bastante usadas de *dos cilindros*, como las de Woolf.

Por el uso á que se destinan se dividen en *máquinas fijas*, *máquinas de buque*, *locomotoras* y *locomóviles*.

Bastará, por último, citar la de *éter* ó de *vapores combinados*, inventada por Du Tremblay; la de *aire caliente* ó de Ericsson; la de *vapor regenerado* y la de *vapor recalentado*.

## ÓPTICA.

### LECCION XXXVIII.

*Optica* es la parte de la Física que estudia las propiedades de la luz, ó sea el agente productor de los fenómenos de la vision. Para explicar la naturaleza de este agente se han ideado las hipótesis de *la emision* y de *las ondulaciones*, iguales en esencia á las del calórico, siendo la última la que mejor satisface las necesidades de la ciencia.

Cuerpos *luminosos* son los que producen luz; *iluminados* los que reflejan la que reciben de estos; *diáfanos* los que dejan percibir á su través los objetos con todos sus detalles; *trashucidos* los que dan paso á la luz dejando solo apreciar las sombras de los cuerpos situados al

otro lado, y *opacos* los que se oponen completamente á su trasmision.

En un medio homogéneo se propaga la luz en línea recta, y su velocidad, determinada por Roemer observando los eclipses del primer satélite de Júpiter, es de 77.000 leguas métricas por segundo; de donde se deduce que la luz solar tarda en llegar á la Tierra 8' y 13".

El espacio oscuro que los cuerpos iluminados proyectan detrás de sí se llama *sombra*, dividiéndose en *geométrica* y *física*: esta última presenta en su contorno una zona menos oscura que el centro, llamada *penumbra*. Distínguese tambien la sombra en *finita* é *infinita*.

La trasmision rectilínea de la luz dá lugar á que cuando atraviesa aberturas pequeñas se vean invertidas las imágenes de los objetos.

Llámase *fotometría* la parte de la óptica que expone los medios empleados para medir la intensidad de la luz. Los *fotómetros* mas usados son los de Rumford, Wheatstone y Bunsen.

La *Catóptrica* trata de la *reflexion* de la luz, ó sea el retroceso que sufren los rayos luminosos al encontrar una superficie pulimentada. Las leyes de la reflexion y las denominaciones que reciben los rayos y los ángulos son las expuestas al tratar del calorífico. En superficies rugosas la reflexion es irregular en su conjunto y se llama *difusion*: este fenómeno dá por resultado el que podemos ver los cuerpos no luminosos en todas direcciones. Es ley general que cuando miramos un objeto *lo percibimos en la prolongacion de los rayos luminosos en el momento que penetran en el ojo, cualquiera que haya sido su direccion anterior*.

La *imagen* ó reproduccion del objeto, se llama *real* cuando resulta formada por la interseccion de los rayos reflejos, y *virtual* si lo es por el encuentro de sus prolongaciones. En la imagen hay que estudiar su especie, tamaño, situacion y posicion, lo que se consigue aplicando las leyes de la reflexion á la determinacion de las imágenes de todos los puntos del objeto.

Los *espejos planos* dan imágenes virtuales, de igual magnitud que el objeto, situadas detrás del espejo á la misma distancia que media entre este y aquel, rectas y colocadas simétricamente. El número de imágenes producido por dos espejos que forman ángulo aumenta con su inclinacion, llegando á ser teóricamente infinito cuando están paralelos.

La intensidad de la luz reflejada varía segun la naturaleza del espejo, y crece con la inclinacion de los rayos y el grado de pulimento.

### LECCION XXXIX.

Los *espejos curvos* pueden ser *cóncavos* ó *convexos* y en cada especie los hay esféricos, parabólicos, elípticos, cilíndricos y cónicos: los esféricos representan un casquete de esfera. Llámase en estos *centro de figura* el punto que equidista de todos los del borde; *centro de curvatura* el de la esfera de que el espejo representa una parte; *eje principal* la recta que pasa por estos dos centros; *eje secundario* la que pasa por el de curvatura y no por el de figura, y *seccion meridiana* la comprendida en un plano que pasa por el eje principal.

Los *focos*, ó sean los puntos de encuentro de los rayos reflejos ó de sus prolongaciones, pueden ser *reales* ó *virtuales*; *principal* ó *conjugados*: el foco principal se halla sensiblemente en la mitad del radio de curvatura. Todos se determinan aplicando las mismas leyes que en los anteriores, en el supuesto de que los espejos curvos se hallan constituidos por un número infinito de elementos planos. Los cóncavos forman imágenes reales ó virtuales, y los convexos siempre virtuales, rectas y menores que el objeto.

La *Dióptrica* se ocupa del estudio de la *refraccion*, fenómeno que consiste en la desviacion que los rayos sufren cuando pasan oblicuamente de un medio á otro. La direccion de la luz en el primer medio se llama *rayo incidente*, y la marcha que sigue en el segundo *rayo refracto*.

Las leyes de la refraccion son dos: 1.<sup>a</sup> *Los rayos incidente y refractado están en el mismo plano perpendicular á la superficie de separacion de los dos medios.* 2.<sup>a</sup> *El seno del ángulo formado por el rayo incidente con la normal levantada en el punto de incidencia, y el seno del ángulo que con la misma forma el rayo refracto se hallan en una relacion constante para iguales medios.* Esta relacion se llama *índice de refraccion*.

*Angulo límite* es el ángulo de incidencia formado en el medio mas denso, que segun el índice de refraccion, produce un rayo refracto comprendido en el plano de separacion de los dos medios. Todo ángulo de incidencia de mas valor, en vez de refraccion dá origen á la *reflexion total* en el medio mas denso sin penetrar en el otro. Cuando la luz atraviesa un medio de caras paralelas los rayos *emergentes*, ó que salen, son paralelos á los incidentes.

Se dá el nombre de *prisma* á todo medio trasparente de caras planas, inclinadas formando un ángulo diedro, el cual se llama *án-*

*gulo refrigente*. Por efecto de las dos refracciones que la luz experimenta al atravesarlo, el rayo emergente se desvía siempre hácia la base del prisma.

## LECCION XL.

*Lentes* son unos medios transparentes destinados á producir la convergencia ó divergencia de los rayos que los atraviesan. Son generalmente de cristal, dividiéndose segun la forma de su superficie en *esféricas, elípticas, parabólicas, cilíndricas y cónicas*: las primeras son las mas usadas y se refieren á dos tipos, cada uno de los cuales comprende tres especies. Al de las convergentes corresponden la *bi-convexa plano-convexa* y *menisco convergente*; y al de las divergentes la *bi-cóncava, plano-cóncava* y *menisco divergente*.

En las que tienen las dos superficies curvas se llaman *centros de curvatura* los centros de dichas superficies y *eje principal* á la recta que pasa por ellos: en las que tienen una cara plana el eje principal es una perpendicular bajada desde el centro de la superficie curva sobre esta cara. Hay un punto en el interior de las lentes situado sobre el eje principal, que tiene la propiedad de transmitir sin desviacion angular los rayos que por él atraviesan: este punto se llama *centro óptico* y las rectas que pasan por él sin pasar por el centro de curvatura son *ejes secundarios*.

Las lentes forman focos é imágenes de las mismas especies que los espejos; pudiendo ser reales ó virtuales en las convergentes, y solo virtuales en las divergentes.

Llámase *dispersion* la descomposicion que la luz sufre cuando atraviesa un medio refringente, al mismo tiempo que se refracta. La luz solar que aparece blanca está formada por siete colores que se dispersan por medio del *prisma*, disponiéndose en fajas paralelas cuyo conjunto se llama *espectro* y que por el orden de refringencia son: *rojo, naranjado, amarillo, verde, azul, indigo y violeta*.

La luz blanca se puede recomponer recibiendo el espectro sobre otro prisma, sobre una lente convergente ó un espejo cóncavo, y con el disco de Newton: haciendo pasar cada uno de los colores por un segundo prisma se prueba su homogeneidad. Se llaman *complementarios* los colores que al reunirse forman la luz blanca.

En el espectro se observan muchas líneas oscuras, fijas unas y otras variables, denominadas *rayas del espectro*.

Para explicar la coloracion de los cuerpos, supuso Newton que

el blanco resultaba de la reflexion ó trasmision íntegra de los siete colores elementales, el negro de la absorcion de todos, y las otras tintas de la reflexion ó trasmision exclusiva del color que presenta cada cuerpo.

La *aberracion de refragibilidad* es un efecto de dispersion que se observa en las lentes, el cual se corrige por el *acromatismo*.

## LECCION XLI.

La vision se verifica en el ojo, formado por la reunion de partes sólidas y líquidas. Aquellas son la *esclerótica*, *córnea*, *coróides*, *retina* é *iris*; estos reciben el nombre de *humores* y son el *acuoso*, *crystalino* y *vítreo*, teniendo el segundo la forma de una lente biconvexa. El ojo representa una *cámara oscura* en la que hacen veces de lentes la córnea y el cristalino, el íris de diafragma, la esclerótica de caja, la coróides de superficie absorbente de los rayos, y la retina de pantalla donde se forma la imágen.

Se llama *eje óptico* del ojo á su eje de figura; *ángulo óptico* el que forman los ejes de ambos ojos cuando se dirigen al mismo punto, y *ángulo visual* el formado por dos ejes secundarios trazados desde el centro óptico del cristalino á las extremidades opuestas del objeto que se mira: el valor de ambos influye mucho en la apreciacion de la distancia y el tamaño de los cuerpos.

El ojo tiene la particularidad de que aun cuando varien considerablemente las distancias no deja de formarse la imágen en la retina. Las experiencias de Cramer y Helmholtz demuestran que la acomodacion del ojo á diversas distancias depende de las variaciones de curvatura de la cara anterior del cristalino. El aparato de la vision difiere tambien de la cámara oscura en que las imágenes persisten en la retina un décimo de segundo cuando menos, en cuyo hecho se fundan el *fenakisticopo*, la *rueda de Faraday*, el *taumatropo* y el *calcidofono*.

Se dá el nombre de *irradiacion* á un fenómeno visual que consiste en que aparecen con dimensiones mayores de las naturales los objetos blancos, ó de color subido, cuando se ven sobre un fondo oscuro; aconteciendo lo contrario en el caso inverso. Este fenómeno se explica suponiendo que la impresion se propaga en la retina fuera del contorno de la imágen.

Si habiendo fijado por algun tiempo la vista sobre un objeto de color, fuertemente iluminado, se dirige de pronto hácia una super-

ficie blanca, se percibe su imágen con el color complementario del que presenta el objeto. Las imágenes que en tales casos se aprecian, reciben el nombre de *imágenes consecutivas*.

La perspectiva que un objeto ofrece á cada uno de los ojos es diferente, dependiendo de esto la apreciacion del relieve, como lo prueba hasta cierto punto el *estereóscopo*.

Aunque las sensaciones visuales son ordinariamente producidas por la accion de la luz, pueden sin embargo ocasionarlas los narcóticos, la electricidad, las congestiones sanguíneas, &c., llamándose *colores subjetivos* los que resultan de la escitacion del nervio óptico por estos agentes.

Para un ojo bien conformado la *distancia de la vision distinta*, cuando la vista se aplica á objetos de un tamaño como los caracteres ordinarios de imprenta, es de 25 á 30 centímetros; siendo mucho menor en la *miopia* y bastante mas considerable en la *presbicia*.

El *oftalmoscopio* es un instrumento compuesto simplemente de un espejo cóncavo perforado en su centro y una lente biconvexa, destinado á observar el interior del globo del ojo.

## LECCION XLII.

Los *instrumentos de óptica* son combinaciones de lentes, ó de lentes y espejos, que segun su objeto se dividen en tres clases. 1.<sup>a</sup> Los que sirven para amplificar las imágenes. 2.<sup>a</sup> Los que se emplean para observar los astros. 3.<sup>a</sup> Los que se aplican á proyectar sobre una pantalla imágenes reducidas ó amplificadas. Los instrumentos comprendidos en las dos primeras dan imágenes virtuales, y los de la última, menos la cámara lúcida, imágenes reales. En todos entran como elementos uno ó mas tubos pintados de negro en el interior, que contienen *diafragmas* algunas veces, y sirven para montar los espejos, prismas de reflexion y lentes, de las cuales se llama *ocular* á la que se aplica la vista, y *objetiva* la que se dirige hácia el objeto.

Forman el primer grupo los *microscopios simple y compuesto*. El primero consiste en una lente ó un sistema de dos ó tres, todas convergentes, que se sitúa á una distancia del objeto menor que la focal principal, percibiéndose una imágen *virtual, recta y ampliificada*. El microscopio compuesto consta de dos lentes ó sistemas convergentes, la objetiva de foco mas corto que la ocular, separadas por un intervalo tal, que hallándose el objeto un poco mas allá del foco

principal de la primera, se forme su imágen real, invertida y acrecentada delante de la segunda, entre ella y su foco principal; viéndose á través de esta otra segunda imágen, *mayor, virtual y recta* con respecto á la primera. El *aumento*, ó sea la relacion entre la magnitud absoluta de la imágen y del objeto, es el producto del aumento del objetivo por el del ocular.

Los *anteojos astronómicos* difieren esencialmente del microscopio compuesto en que el ocular es mas refringente que el objetivo, y los *terrestres* en que llevan además en el interior dos lentes convergentes fijas en un tubo, á una distancia igual á la suma de sus distancias focales principales, que sirven para quitar la inversion de la imágen. El de Galileo, ó *anteojo de teatro*, tiene el objetivo convergente y el ocular divergente, separados por un espacio igual á la diferencia de sus distancias focales principales dando una imágen *virtual, recta y poco amplificada* aunque muy clara.

El *telescopio de Gregory* consta de dos espejos cóncavos de diferente rádio, cuyos centros se hallan en la misma línea, y de un sistema ocular convergente; el de *Newton* lleva un prisma en lugar del espejo pequeño, y el de *Herschel* un solo espejo inclinado y una lente.

La *linterna mágica* se compone de una caja con una lámpara en el foco de un espejo cóncavo que refleja los rayos sobre una lente convergente, esta los concentra sobre el objeto colocado á una distancia mayor que la focal principal de otra segunda lente de la misma especie que proyecta sobre una pantalla la imágen *real, invertida y muy amplificada*. El *microscopio solar* es en el fondo una linterna iluminada por el sol.

Las *lentes de Fresnel* son plano-convexas, de grandes dimensiones; están formadas por la reunion de segmentos anulares que dan á la superficie convexa una forma escalonada, y se aplican á la construccion de los faros.

### LECCION XLIII.

*Refraccion doble* es la propiedad que presentan muchos cristales de dividir en dos cada rayo luminoso que los atraviesa, duplicando las imágenes. Estos cristales, llamados *birrefringentes*, presentan la particularidad de producir una sola imágen en una ó dos direcciones: á la línea que las marca se dá el nombre de *eje de doble refraccion*. De los rayos á que dan origen los cristales de un eje, uno se llama *ordinario* y otro *extraordinario*, distinguiéndose en que solo el primero sigue las leyes de la refraccion simple.

Se llaman cristales *positivos* los que tienen el índice de refracción del rayo extraordinario mayor que el del ordinario, y *negativos* á los que presentan los índices en relacion inversa. En los cristales de un eje el rayo ordinario sigue las dos leyes de la refracción simple en todos los planos; pero el extraordinario solo se sujeta á ellas en la sección perpendicular al eje, comprobándose que sigue solo la segunda en el plano de la sección principal.

Llámase *interferencia* la acción mútua que se produce entre dos rayos procedentes del mismo foco, cuando se encuentran formando un ángulo pequeño. Se conviene en llamar *longitud de la ondulacion* del éter, el espacio que recorre una de sus moléculas en la ida y vuelta de cada vibración, y *semi-ondulacion* el trayecto comprendido en la mitad de esta sacudida.

Admitidas estas definiciones, si dos sistemas de ondulaciones de igual longitud é intensidad marchan en la misma dirección, llevando una de ellas de adelanto ó retraso sobre la otra un número par de semi-ondulaciones, la intensidad de la luz aumenta, porque los dos sistemas contribuyen á imprimir al éter un movimiento en el mismo sentido; pero si un sistema está en retraso respecto al otro en la extensión representada por un número impar de semi-ondulaciones, el movimiento del éter se destruye y resulta la oscuridad. Esta proposición, llamada *principio de las interferencias*, sirve para explicar la formación de los *anillos de Newton* y el fenómeno de la *difracción*.

*Polarización* es una modificación que los rayos experimentan por efecto de la cual despues de reflejados ó refractados en ciertas condiciones, pierden la propiedad de reflejarse ó refractarse de nuevo en direcciones determinadas.

La luz se polariza por *reflexion*, por *refracción simple* y por *refracción doble*. Para que se polarice por reflexion es preciso que el rayo incidente forme con la superficie pulimentada del cuerpo polarizante un ángulo determinado, que no es igual para todas las sustancias. En el vidrio es de  $35^{\circ}$  y  $25'$ ; en el cuarzo de  $32^{\circ}$   $28'$  y en el agua de  $37^{\circ}$  y  $15'$ . Aunque todos los cuerpos pueden polarizar la luz por reflexion, no todos lo verifican de un modo completo.

Se llama *ángulo de polarización* el que el rayo incidente debe formar con la superficie de un cuerpo para que el rayo reflejo pierda lo mas completamente posible la propiedad de reflejarse ó refractarse, si se recibe despues convenientemente en un espejo ó se hace atravesar por ciertas sustancias, llamadas *polariscopos*, porque

revelan si la luz ha sufrido dicha modificacion: el plano en que se verifica la reflexion para producirla se llama *plano de polarizacion*.

La luz se polariza, aunque solo parcialmente, por refraccion simple cuando un rayo no polarizado cae sobre la superficie de un cristal de caras paralelas formando el ángulo de polarizacion. Se comprueba que esta tiene lugar en un plano perpendicular al que comprendia el rayo incidente. Por doble refraccion se polariza la luz cuando atraviesa un cristal birrefringente, en cuyo caso los rayos ordinario y extraordinario tienen los planos de polarizacion perpendiculares entre sí.

Llámase polarizacion *rotatoria* la inclinacion que experimenta el plano de polarizacion cuando un rayo polarizado atraviesa ciertos cristales tallados perpendicularmente al eje, y polarizacion *cromática* la dispersion que la luz sufre en condiciones parecidas.

#### LECCION XLIV.

*Meteorología* es la parte de la Física que se ocupa de los *meteoros*, ó sean los fenómenos que se observan en la atmósfera. Divídense estos en *aéreos*, que son los vientos y las trombas; *acuosos*, que comprenden las nieblas, las nubes, la lluvia, el sereno, el rocío, la escarcha, la nieve y el granizo; *luminosos*, en cuyo grupo se incluyen los crepúsculos, los halos, el arco iris y las auroras polares; y *eléctricos*, que á mas de la electricidad atmosférica, abrazan el relámpago, rayo, trueno y fuegos de S. Telmo.

*Vientos* son unas corrientes producidas en el aire por el desequilibrio de temperatura entre dos regiones próximas de la atmósfera: se dividen en *constantes*, *periódicos* y *variables*. Los constantes, llamados tambien *alisios*, soplan siempre en la misma direccion y reinan en una zona que se extiende 30° á uno y otro lado del ecuador. Los periódicos soplan en el mismo sentido á intervalos fijos, y son los *monzones*, el *simoun* y *las brisas*. Los vientos variables á pesar de la inconstancia de su direccion y del tiempo que duran, se ha podido comprobar por M. Dove que en nuestros climas su direccion cambia, girando en el sentido del movimiento aparente del sol, durante períodos mas ó menos largos, del Oriente al Mediodía, Poniente y Norte en el hemisferio boreal; é inversamente en el austral, hasta volver progresivamente á su punto de partida.

La direccion de los vientos se determina por medio de las *veletas* y cada uno recibe el nombre del punto del horizonte de donde viene. Su velocidad, medida con los *anemómetros*, puede llegar

hasta 40 metros por segundo, constituyendo entonces un huracan.

Las *nieblas* son masas difusas de vapor al estado de condensacion extendidas en las partes bajas de la atmósfera. Se diferencian de las *nubes* en que estas ocupan regiones mas elevadas y presentan contornos bien circunscritos. Las *nubes* se clasifican segun su apariencia en *cirros*, *cúmulos*, *estratos* y *nimbos*.

El agua desprendida de las *nubes* en forma de gotas se llama *lluvia*: para averiguar la porcion de ella que cae en una localidad durante el año se emplea el *udómetro* ó *pluviómetro*. La cantidad de lluvia anual disminuye del ecuador á los polos, no es igual en todas las estaciones, llegando á ser casi nula en ciertas comarcas como en las costas del Perú y en los desiertos arenosos del Asia y Africa.

#### LECCION XLV.

La *higrometría* tiene por objeto averiguar la cantidad de vapor de agua contenida en un volúmen de aire determinado. En nuestros climas nunca está el aire totalmente saturado ni desprovisto de humedad por completo, y de aquí que se llama *fraccion de saturacion* ó *estado higrométrico*, á la relacion entre la cantidad de vapor acuoso que el aire encierra en un momento dado, y la que contendria á la misma temperatura si estuviese saturado.

*Higrómetros* son los instrumentos que sirven para determinar el estado higrométrico. Se pueden referir á tres tipos: *higrómetros de absorcion*, *de condensacion*, y *psicrómetros*. En el primer grupo se comprenden el de Saussure y las sustancias muy ávidas de agua, como el cloruro de calcio, ó la potasia cáustica. El *higrómetro*, ó mejor dicho *higróscopo* de Saussure, indica si el aire está mas ó menos distante de la completa saturacion por efecto del acortamiento ó prolongacion que, segun el grado de humedad, experimenta un cabello desengrasado. Para deducir de sus indicaciones el estado higrométrico es preciso consultar las tablas formadas por Gay-Lussac con este objeto.

Los *higrómetros* de Daniel y de Regnault señalan la temperatura inicial de la condensacion del vapor acuoso de la atmósfera enfriado por la evaporacion del éter; siendo el estado higrométrico la relacion que exista entre la tension correspondiente á la temperatura del punto de rocío, y la que tenga el vapor saturado á la temperatura del aire en el momento de la observacion.

El *psicrómetro* de August se funda en el hecho de que el agua se evapora con mas rapidez produciendo al verificarlo mas enfria-

miento en el aire cuanto mayor sea el grado de sequedad. Redúcese á dos termómetros, uno que marca la temperatura del aire ambiente y otro el frio ocasionado por la evaporacion de una pequeña cantidad de agua que baña su depósito: haciendo entrar los números que marquen los grados termométricos en una sencilla fórmula se halla la fraccion de saturacion.

### LECCION XLVI.

El *arco-iris* es un fenómeno óptico que resulta de la dispersion producida en los rayos luminosos al penetrar en las gotas de agua y de su reflexion en el interior de ellas. Para que se produzca es preciso que la luz solar hiera á una nube que está desprendiendo lluvia, y que el observador la mire vuelto de espaldas al sol: los colores del arco-iris son los mismos del espectro solar.

La existencia de electricidad en la atmósfera es un hecho demostrado por los *electróscopos*, las *flechas* y los *globos cautivos*. En tiempos nublados puede ser positiva ó negativa, cambiando con frecuencia de especie por el paso de una nube electrizada; pero cuando el cielo está puro y despejado es constantemente positiva variando en cantidad segun los lugares y las horas del dia. Las causas que mas influyen en su desarrollo son la *evaporacion*, el *rozamiento* del aire con el suelo y las *acciones químicas*. Las nubes están electrizadas ya positiva, ya negativamente, y difieren tambien por el grado de tension que sus fluidos presentan.

El *relámpago*, el *rayo* y el *trueno* son una representacion en grande escala de la chispa producida por las máquinas eléctricas, reconocen una causa idéntica y se esplican por la misma teoría. Los efectos del rayo son de igual naturaleza que los de una batería.

Para evitarlos se emplean los *para-rayos*, que ejercen su accion preservativa desprendiendo hácia las nubes tempestuosas abundante cantidad de fluido contrario al que ellas contienen, y cuando esta no basta para moderar suficientemente su tension reciben la descarga, guiando la chispa por el conductor hasta un sitio en que se difunda sin peligro.

El rayo, relámpago y trueno se producen simultáneamente; pero los distinguimos con separacion por consecuencia de la diferente rapidez con que se trasmiten la electricidad, la luz y el sonido.

---

# ÍNDICE.

## NOCIONES PRELIMINARES.

	<u>Pág.</u>		<u>Pág.</u>
Ciencias físicas. Generalidades.....	3	Porosidad: lluvia de mercurio.....	4
Constitucion de los cuerpos .....	3	Compresibilidad. Inercia. Elastic.	5
Propiedades esenciales.....	4	Divisibilidad. Gravedad.....	5

## MECÁNICA.

Fuerzas: sus caractéres.....	6	Palanca. Balanza. Poleas.....	8
Composicion de fuerzas.....	6	Torno: sus variedades.....	9
Centro de gravedad. Equilibrio.....	7	Plano inclinado. Movimiento.....	10
Máquinas en general.....	8	Péndulo. Rozamiento. Choque.....	12

## HIDROSTÁTICA.

Principio de Pascal. Presiones.....	13	Principio de Arquímedes .....	15
Equilibrio de los líquidos.....	14	Peso específico. Areómetros .....	16

## HIDRODINÁMICA.

Teorema de Torricelli.....	17	Gasto. Tubos adicionales.....	18
Caractéres de vena líquida.....	17	Distribucion de aguas. Surtidores..	18

## AEROSTÁTICA.

Gases. Presiones de la atmósfera ...	19	Mezclas de gases.....	22
Barómetros: su teoría.....	20	Idem de gases y líquidos. Globos.	23
Manómetros. Bombas.....	21	Máquinas neumáticas.....	24

## FUERZAS MOLECULARES.

Caractéres generales. Capilaridad..	25	Osmosis. Absorcion. Dialisis.....	27
-------------------------------------	----	-----------------------------------	----

## ACÚSTICA.

Orígen y trasmision del sonido.....	27	Vibraciones de las cuerdas.....	34
Reflexion: ecos y resonancias.....	28	Idem de las varillas.....	35
Interferen.* Cualidades del sonido..	29	Idem de las placas y de los tubos...	36
Teoría física de la música .....	30	Organos de la voz y del oido.....	38

## ELECTRICIDAD.

	<i>Pág.</i>		<i>Pág.</i>
Fluidos imponderables: hipótesis...	39	Electro-química.....	46
Electricidad estática.....	40	Magnetismo: imanes.....	47
Electrización por influencia.....	40	Electro-magnetismo.....	48
Electrómetros. Máquinas eléctricas	41	Electro-dinámica.....	49
Electricidad latente.....	42	Electro-imanés. Telégrafos.....	51
Id. dinámica. Pilas de un líquido...	43	Inducción: máquinas diversas.....	52
Pilas de dos líquidos.....	44	Corrientes termo-eléctricas.....	53

## CALÓRICO.

Hipótesis sobre el calor.....	54	Refracción. Calorimetría.....	60
Temperatura. Termómetros.....	55	Historia de las máquinas de vapor.	61
Coefficiente de dilatación.....	56	Generador: accesorios.....	62
Peso específico de los gases.....	57	Máquina de Newcomen.....	63
Fusión. Solidificación. Vapores.....	57	Reformas de Watt.....	64
Liquefacción. Ebullición.....	58	Máquina de balancín.....	64
Calórico radiante y reflejado.....	59	Clasificación de las máquinas de v. <sup>or</sup>	65

## ÓPTICA.

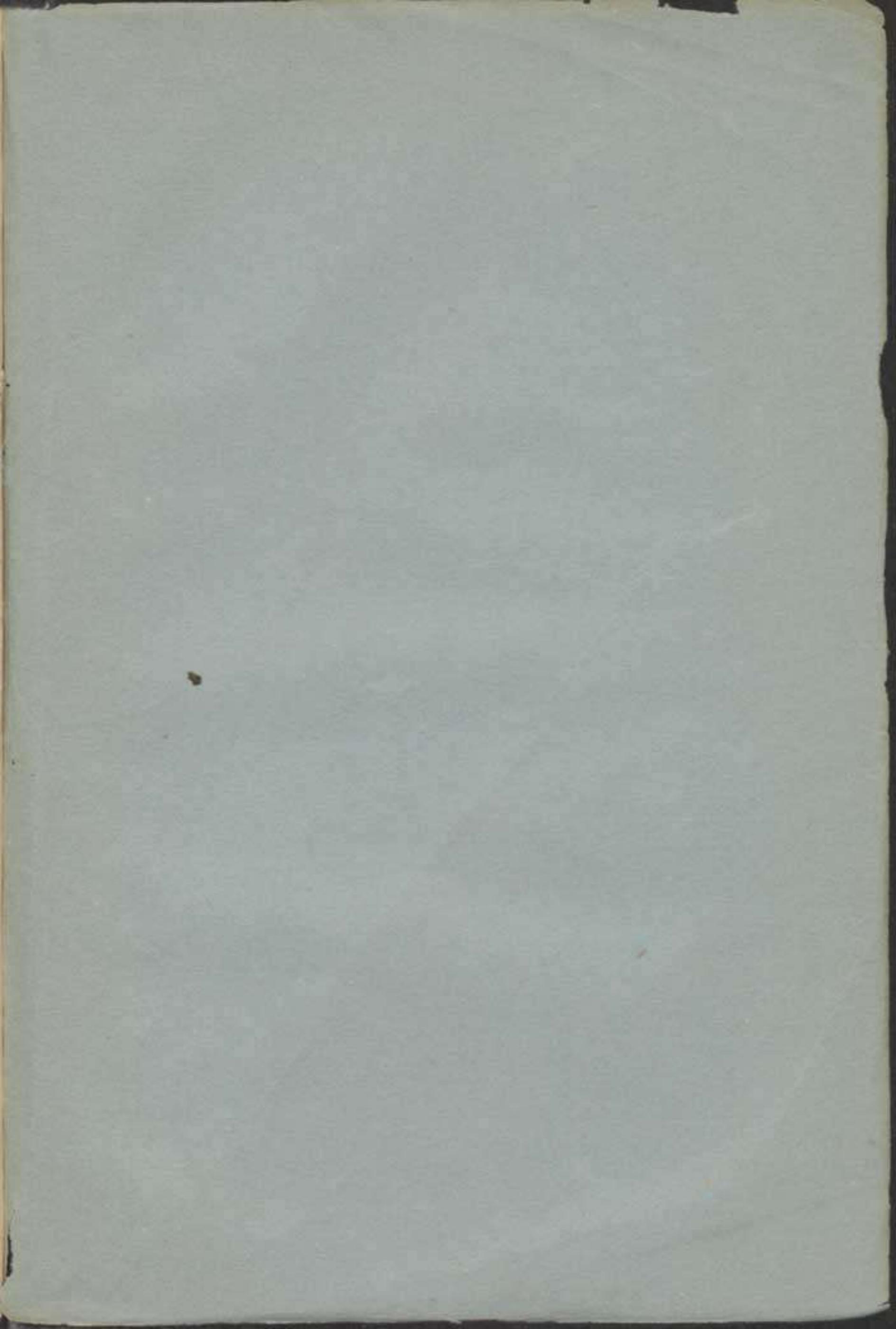
Generalidades é hipótesis.....	66	Colores. Órgano de la vista.....	70
Catóptrica. Espejos planos.....	67	Vision. Instrumentos de óptica.....	71
Espejos curvos. Dióptrica.....	68	Microscopios. Anteojos. Teloscop. <sup>s</sup> .	72
Lentes. Dispersion.....	69	Refracción doble. Polarización.....	73

## METEOROLOGÍA.

Meteoros: clasificación. Vientos.....	74	Higrómetros.....	76
Meteoros acuosos. Higrimetría.....	75	Arco-iris. Meteoros eléctricos.....	77

### ERRATAS.

<i>Página.</i>	<i>Línea.</i>	<i>Dice.</i>	<i>Debe decir.</i>
7	14	lo resultante	la resultante
11	35	la que debe	lo que debe
14	14	mas alto	mas bajo
22	15	impelentes	mixtas
40	19	cuerpos conductores	cuerpos
41	20	diferentes	iguales
45	32	interno	externo
62	19	á una cavidad	en una cavidad



18-20