

2.º Dirección. La dirección de la gravedad es la línea recta, según la cual caen los cuerpos libremente abandonados á sí mismos; y se denomina *vertical*. La dirección de un punto está determinada por la plomada en equilibrio, que se llama su línea de reposo. Puede decirse también que es perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas.

Observacion. Siendo la tierra proximately esférica, todas las verticales concurren hasta su centro, de lo que resulta que las verticales de dos puntos lejanos forman entre sí un ángulo sensible, pero en los diferentes puntos de un mismo cuerpo y aun en cuerpos poco separados, las verticales pueden considerarse como paralelas porque la distancia á que se encuentra, es infinita relativamente á la distancia que las separa.

3.º Intensidad. Siendo la gravedad una fuerza continua, su medida depende de la naturaleza del movimiento que imprime á los móviles. Estudiemos, pues, las leyes de la caída de los cuerpos.

§. II. *Leyes de la caída de los cuerpos.*

1. A quién se debe el conocimiento de las leyes de la caída de los cuerpos?—2. Primera ley.—Experiencia.—3. Segunda ley.—4. Medio de comprobar la segunda ley—5. Plano inclinado de Galileo.—6. Máquina de Atwood.—7. Comprobación de la ley de los espacios por la máquina de Atwood.—8. Comprobación de la ley de las velocidades por la máquina de Atwood.—9. Intensidad de la gravedad.—10. Disminución de la intensidad de la gravedad con la elevación.—11. Resumen de las leyes de la gravedad.—12. Fórmulas de las leyes de gravedad y medios de deducirlas.—13. Cuál es la medida de la gravedad en Madrid y París?—14. Aplicaciones.

1. El conocimiento de las leyes de la caída de los cuerpos se debe á Galileo.

2. 1.^a Todos los cuerpos caen en el vacío con la misma velocidad. La desigualdad que se observa en la caída de los cuerpos, solo se debe á la resistencia del aire.

Experiencias. Para demostrar esta ley se hace el vacío en un tubo de cristal de cinco ó seis pies de largo, que contenga cuerpos de diferentes densidades, como balas de plomo, de corcho, de papel..... Invertiendo el tubo rápidamente, todos estos cuerpos llegan al fondo á un mismo tiempo; pero si se deja entrar en el tubo un poco de aire, los cuerpos mas lijeros comienzan á quedarse atrás, y cuando el tubo está enteramente lleno de aire, los cuerpos caen en tiempos muy desiguales.

3. 2.^a La gravedad, á poca distancia del globo, es una fuerza aceleratriz constante, que imprime á los cuerpos por ella solicitados un movimiento uniformemente variado, es decir, en el cual la *velocidad crece proporcionalmente al tiempo, y el espacio recorrido proporcionalmente al cuadrado del tiempo.*

4. **Experiencias.** Para demostrar estos hechos, es necesario hallar el medio de retardar la velocidad del móvil sin alterar las leyes del descenso, para lo cual podemos valernos de dos medios.

5. 1.º **Plano inclinado de Galileo.** Concibamos una bola metálica que en lugar de caer verticalmente, rueda sobre un plano inclinado (fig. XVII) Sea cual fuere la posición de este móvil, su peso, que está aplicado verticalmente á su centro r , podrá descomponerse en dos fuerzas: la una r_0 perpendicular al plano y destruida por su resistencia; la otra r_a paralela al plano, y que es la única efectiva. Ahora bien, los dos triángulos rectángulos y semejantes ABC , arc dan la proporción $ar : rc :: AB : AC$. De donde se sigue que la gravedad efectiva ar es á la gravedad real rc , como la altura del plano inclinado es á su longitud.

El plano inclinado de Galileo consiste en una cuerda muy lisa de 40 metros de largo, tendida entre dos puntos fijos uno mas bajo que el otro, sobre la cual se hace rodar una poléa convenientemente dispuesta. Observando, pues, el descenso de esta poléa, se ha comprobado que los espacios parciales recorridos por la poléa en cada unidad de tiempo siguen la relacion de los números 1, 3, 5, 7..... y los espacios totales la del cuadrado de los tiempos empleados en correrlos. De lo que se deduce que la *gravedad es una fuerza aceleratriz constante*.

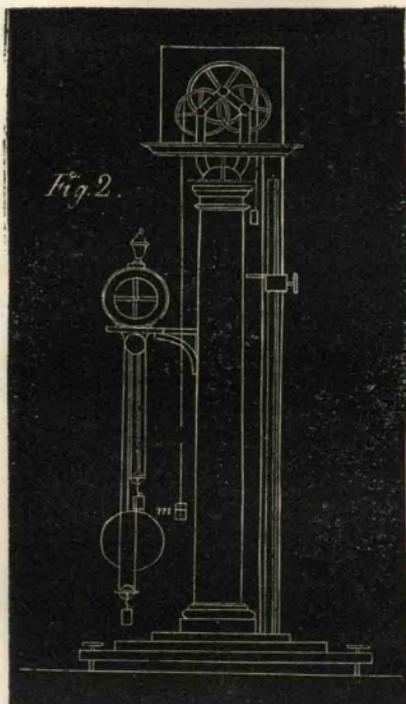
El conocimiento de las leyes de la caída de los cuerpos se debe á Galileo.

2. 1.º Todos los cuerpos caen en el vacío con la misma velocidad. La desigualdad que se observa en la caída de los cuerpos, solo se debe á la resistencia del aire.

Experiencias. Para demostrar esta ley se hace el vacío en un tubo de cristal de cinco ó seis pies de largo, que contiene cuerpos de diferentes densidades, como balas de plomo, de corcho, de papel, ... Invertiéndolo, tubo rápidamente, todos estos cuerpos llegan al fondo en un mismo tiempo; pero si se deja entrar en el tubo un poco de aire, los cuerpos mas ligeros caen mas á guisa de aves, y cuando el tubo está casi totalmente lleno de aire, los cuerpos van en tiempos muy desiguales.

3. 2.º La gravedad, á poca distancia del globo, es una fuerza aceleratriz constante, que produce á los cuerpos por ella solictados un movimiento uniforme y variado, es decir, en el cual la velocidad crece proporcionalmente al tiempo, y el espacio recorrido proporcionalmente al cuadrado del tiempo.

6. **Máquina de Atwood.** Esta máquina llena el mismo objeto que el



plano inclinado, pero de una manera mas satisfactoria (fig. 2). Compónese de una polea muy lijera que jira con una perfecta movilidad al rededor de un eje horizontal. En el carril de la polea se enrosca un hilo de seda muy fino, á cuyas extremidades están suspendidos dos pesos iguales. Estos dos pesos se equilibran mútuamente en todas las posiciones posibles. Pero si sobre uno de estos pesos se coloca una pequeña masa adicional m , el equilibrio se romperá y la masa m arrastrará todo el sistema con un movimiento comun. Un cálculo sencillo nos demostraria la relacion en que está disminuida la velocidad de los cuerpos pesados sin cambiar la naturaleza de su movimiento. Esto supuesto, para servirse del aparato se dispone en el tránsito de la masa m una regla vertical dividida en partes iguales, sobre la cual se mueve un anillo destinado á detener el móvil despues de

un tiempo dado.

Se adapta tambien á la máquina un reloj de segundos.

7. **Comprobacion de la ley de los espacios.** —Supongamos ahora que se haya marcado 0 y 1 á las extremidades del espacio que recorre el peso móvil en un segundo.—Colocando sucesivamente el *obstáculo* fijo á las distancias 4, 9, 16.... se reconoce que el peso choca con dicho obstáculo al cabo de 2, 3, 4... segundos, lo que demuestra la ley enunciada.—Se vé tambien que el móvil habiendo recorrido una division en el primer segundo, recorre tres en el segundo, cinco en el tercero, etc.

8. **Comprobacion de la ley de las velocidades.** Con este objeto se fija sobre la escala dividida una especie de anillo, de un diámetro suficiente para dejar pasar el peso sin tocarle, pero sus bordes detienen la masa adicional que tiene una forma prolongada. A contar desde este instante el movimiento se hace uniforme. Ahora bien: la experiencia prueba que dejando entonces al móvil moverse durante un tiempo igual al trascurrido hasta sacarle el peso adicional, recorre un espacio doble del recorrido antes. Segun esto podrá formarse la tabla siguiente.

TIEMPOS DE LA CAIDA.	ESPACIO RECORRIDO CON UN MOVIMIENTO VARIADO.	ESPACIO RECORRIDO UNIFORMEMENTE EN UN TIEMPO IGUAL.	VELOCIDAD ADQUIRIDA AL FIN DE CADA UNIDAD.
	1 ^ª 1 2
2 ^ª 4 8 4
3 ^ª 9 18 6
4 ^ª 16 32 8

9. **Intensidad de la gravedad.** Puesto que la gravedad imprime á los cuerpos que obedecen libremente á su accion un movimiento uniformemente variado, debemos concluir que es una fuerza aceleratriz constante, y que tendrá por medida la velocidad que comunica en un segundo á la unidad de la masa.

10. **Disminucion de la gravedad por la elevacion.** La intensidad de la gravedad solo es constante á muy cortas distancias de la superficie del globo. Cuando la distancia es comparable al radio terrestre, la gravedad decrece en razon inversa del cuadrado de la distancia. En la cumbre de las altas montañas, esta disminucion es ya sensible.

11. Reasumiendo lo dicho, podemos inferir las leyes siguientes. 1.^a En un mismo punto del globo la fuerza de gravedad es constante, y el movimiento que resulta para el cuerpo que está libremente sometido á ella, es *uniformemente acelerado*; 2.^a la velocidad de este cuerpo es proporcional al tiempo; 3.^a los espacios recorridos son proporcionales á los cuadrados de los tiempos; 4.^a si la accion de la gravedad cesase, el cuerpo movido uniformemente en virtud de su velocidad adquirida, describiría en un tiempo igual al de su caída un espacio doble del que hubiese recorrido.

12. Estas leyes están comprendidas en fórmulas muy sencillas.

Para deducirlas llamemos g la velocidad que comunica al cuerpo la fuerza de la gravedad en cada unidad de tiempo: estas velocidades sucesivas serán $g, 2g, 3g$, etc. y al cabo de un número de *segundos* ó unidades de tiempo que expresaremos por t , la velocidad adquirida será g tomada tantas veces como unidades hubiese en t , de modo que será gt : Luego si llamamos V á la velocidad que adquiere el cuerpo en el tiempo t tendremos $V=gt$.

Para deducir la fórmula del espacio, supongamos que el cuerpo recibe una impulsión a independiente de la fuerza de la gravedad, para hallar la ley de este movimiento seria suficiente añadir á los términos de esta progresion dicha cantidad $a, a+g, a+2g, a+3g$ y en el general $a+gt$ —Por consiguiente el espacio total recorrido por el cuerpo sería igual á la suma

de esta progresion, esto es, $E = (a + a + g t) \frac{t}{2} = (2a + g t) \frac{t}{2}$; si

suponemos $a=0$, tendríamos la fórmula $E = \frac{1}{2} g t^2$; y como $V = g t$ sería $E = \frac{1}{2} V t$; lo que nos dice: que *el espacio es igual á la mitad del producto de la velocidad por el tiempo.*

13. En Madrid se ha comprobado que un cuerpo recorre en su caída libre 17,58 pies lo que dá 35,16 pies para la velocidad del cuerpo durante el primer segundo. Esta última cantidad es la *medida de la gravedad*. En el observatorio de París se ha obtenido $g = 9^m. 80896$.

14. **Aplicaciones.** La fuerza aceleratriz de la gravedad es la causa de que una piedrecilla que cae de grande altura produzca un efecto mucho mas temible que una mucho mayor que caiga de una elevacion corta. Por la misma razon es muy peligroso saltar de grandes alturas, y son generalmente mortales las caidas de puntos elevados.—La medida de la gravedad nos proporciona tambien el medio de medir una altura cualquiera sabiendo el tiempo que ha invertido el cuerpo en correrla.

§ III.—Peso.—Centro de gravedad.—Equilibrio de los cuerpos.—Balanza.

1. Qué es peso?—2.Cuál es la medida de la presion que el cuerpo ejerce en el vacío sobre un plano horizontal?—3. Cómo pueden considerarse las acciones de la gravedad?—4. Qué se infiere de lo dicho?—5.Cuál es la fórmula del peso absoluto de los cuerpos?—6. Qué es masa?—7. Encierran los cuerpos bajo un mismo volúmen la misma masa?—8. Qué es densidad ó peso específico?—9. Deducir la fórmula de la densidad, de la masa y del peso—10. Equilibrio de los cuerpos pesados.—11. Determinacion del centro de gravedad—12. A qué se llama linea de direccion de la gravedad en los cuerpos en equilibrio.—13. Equilibrio instable y estable.—14. Qué son balanzas?—15. Qué es pesar un cuerpo?—16. Qué es la balanza comun?—17. Cómo se pesa un cuerpo?—18. Método de Borda.—19. Qué es la romana?

1. **Peso.** Llámase peso de un cuerpo la resultante de las acciones que la gravedad ejerce sobre todos sus elementos materiales.

2. Esta resultante mide la presion que el cuerpo ejerce en el vacío sobre un plano horizontal que se oponga á su caída.

3. Las acciones que la gravedad ejerce sobre los cuerpos, pueden considerarse como paralelas.

4. De lo dicho se infiere:

1.º Que el peso de un cuerpo es igual á la suma de las fuerzas elementales que le componen.

2.º Que el peso de un cuerpo es una fuerza vertical.

3.º Que el peso de un cuerpo es una fuerza que pasa siempre por un mismo punto interior, sea cual fuere la posicion del cuerpo relati-

vamente al horizonte. Este punto recibe el nombre de *centro de gravedad*.

5. **Peso absoluto de los cuerpos.** Designando por g el peso de la unidad de masa de un cuerpo, por M su masa y por P su peso absoluto, tendremos $P=Mg$; puesto que la cantidad g es igual en todos los cuerpos, sea cual fuese su naturaleza.

6. **Masa. Densidad. Peso específico.** La *masa* de un cuerpo es la cantidad de materia que le compone.

7. Todos los cuerpos, bajo un mismo volúmen, no encierran la misma masa y por consiguiente no tienen el mismo peso.

8. Llámase *densidad ó peso específico* de un cuerpo la masa ó la cantidad de materia que contiene bajo la unidad de volúmen, ó bien lo que es lo mismo, la relacion de su masa á su volúmen.

9. **Fórmula.** Designando el volúmen por V , la densidad por D ,
$$M$$
tendremos $D = \frac{M}{V}$ ó $M=VD$, y por consiguiente $P=VDg$, fórmula

cuya aplicacion veremos luego.

10. **Equilibrio de los cuerpos pesados.** Para que un cuerpo pesado esté en equilibrio es necesario que su centro de gravedad esté sostenido por un punto, un eje ó un plano fijo, porque entonces el peso del cuerpo quedará destruido por la resistencia del punto, del eje ó del plano fijo.

11. **Determinacion del centro de gravedad.** La determinacion del centro de gravedad pertenece á la *Estática*. Se halla mecánicamente el centro de gravedad en el punto de interseccion de dos líneas de direccion.

12. Llámase *línea de direccion* la vertical que pasa por el centro de gravedad.

13. Cuando un cuerpo está en equilibrio, su centro de gravedad se halla siempre ó mas alto ó mas bajo posible. En el primer caso el equilibrio se dice *instable*; en el segundo *estable*.

14. **Balanzas** Llámanse así ciertos aparatos destinados á pesar los cuerpos.

15. *Pesar un cuerpo* es comparar el peso de este cuerpo á otro peso arbitrario tomado por unidad.

16. **Balanza comun.** La *balanza comun*, consiste en una palanca de primer género, móvil al rededor de un eje horizontal. Los dos brazos de la palanca son iguales en peso y en longitud y á sus extremos están suspendidos dos platillos de igual peso, destinados á sostener los cuerpos que se

quieren pesar y el peso que debe equilibrarlos. La palanca se llama *fiel*; y cuando está *vacio* se mantiene por sí mismo horizontal, porque el centro de gravedad se halla entonces en la vertical del punto de apoyo.

17. Para pesar un cuerpo se coloca en uno de los platillos y en el opuesto el peso necesario para conseguir el equilibrio. Entonces el peso del cuerpo es igual á la carga del platillo opuesto; porque estos dos pesos son dos fuerzas paralelas que se equilibran en las extremidades de dos brazos de palanca iguales.

18. **Método de las dobles pesadas.** Como es muy difícil conseguir una exactitud rigurosa en estos aparatos, en los casos delicados se emplea el *método de las dobles pesadas* debido á Borda. Este método consiste en lo siguiente; se coloca en uno de los platillos el cuerpo que se quiere pesar, en el platillo opuesto granos de municion hasta obtener el equilibrio. Entonces se quita el cuerpo colocado en el primer platillo, y se colocan en su lugar pesos conocidos hasta conseguir de nuevo el equilibrio. Obtenido este resultado es evidente que los pesos conocidos representarán exactamente el peso del cuerpo, puesto que obrando en las mismas circunstancias, equilibran las mismas fuerzas. La pesada será, pues, rigurosamente buena apesar de la inexactitud posible de la balanza.

19. **Romana.** La balanza *romana* consiste en una palanca recta del primer género, de brazos desiguales, en la cual se pesan los cuerpos por medio de un peso único, móvil á lo largo del brazo del *fiel*, de manera que pueda colocarse á diferentes distancias del punto de suspension.

§. IV. Del movimiento de rotacion y de la fuerza centrífuga.

1. Qué es movimiento de rotacion?—2. Ejemplos?—3. Qué es fuerza centrífuga?—4. De qué nace y se desarrolla la fuerza centrífuga?—5. Intensidad de la fuerza centrífuga?—6. Leyes de la fuerza centrífuga?—7. Cómo se comprueban por la experiencia las leyes y efectos de la fuerza centrífuga?—8. Para que una masa líquida de forma esférica animada del movimiento de rotacion, esté en equilibrio, qué circunstancias son precisas?—9. Qué aparato sencillo comprueba esta verdad?—10. Qué consecuencia se deduce del hecho anterior para la tierra y cuerpos planetarios?

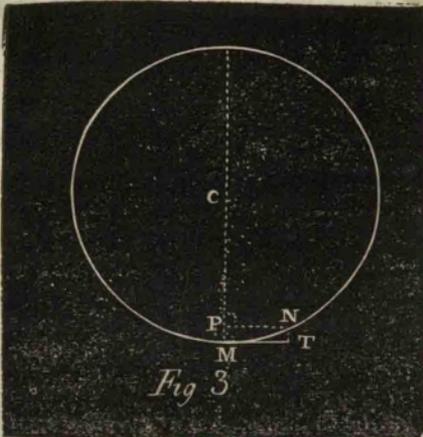
1. Llámase *movimiento de rotacion* al que se efectua al rededor de un eje que pase por el centro de gravedad, mediante un impulso impreso á un cuerpo libre que no pasa por este centro.

2. *Ejemplos.*—Una bola de billar chocada segun una direccion que no pase por el centro de gravedad, gira sobre sí misma al paso que recorre el tapiz.—La tierra describe una elipse al rededor del sol y gira al rededor de su propio eje.

3. Llámase *fuerza centrífuga* la que tiende á alejar el móvil del centro de su movimiento, obrando segun la prolongacion del radio

del círculo.—Tal es la que resulta del movimiento de rotacion de la tierra.

4. La fuerza centrífuga nace, pues, y se desarrolla del movimiento



circular.—En efecto, supongamos un punto material sin gravedad, unido á la extremidad de un hilo inextensible que jira al rededor de un punto fijo C (fig. 3) formando el círculo cuyo centro es C y CM el radio. Este punto debe experimentar necesariamente á cada instante y en la direccion del hilo un impulso que le obligue á abandonar la tangente al círculo en que se mueve en virtud de su inercia.—La suma de estas impulsiones será una fuerza aceleratriz constante; y puede

considerarse como destruyendo las impulsiones de otra fuerza contraria que solicita al cuerpo á alejarse del centro.—Tal es la fuerza centrífuga.

La intensidad de esta fuerza puede deducirse por la fuerza central que es igual á aquella en valor absoluto. En efecto si el cuerpo al llegar á M con su velocidad sobre la curva, cesase de estar unido al punto fijo, describiría sobre la tangente al círculo durante un tiempo muy corto T, un espacio MT. Por otro lado, si el cuerpo al llegar á M, sin velocidad adquirida, experimentase la accion de la fuerza central, recorrería un movimiento variado sobre el radio CM, en el mismo tiempo T, un espacio MP. Luego resulta de la ley de la proporcionabilidad de las fuerzas á las velocidades, que dada la existencia simultánea de la velocidad adquirida y de la fuerza central, el cuerpo debe describir en su movimiento compuesto, y siempre en el tiempo T, un elemento circular MN, tal que MP sea su proyeccion sobre el radio CM, suponiendo como lo hacemos aquí, que el arco MN sea bastante pequeño para que puedan considerarse las direcciones de los impulsos centrales como paralelos á CM cuando obran sobre el cuerpo yendo de M á N en el tiempo T.

5. Intensidad de la fuerza centrífuga.—Segun lo dicho, suponiendo la masa móvil igual á la unidad, r al radio del círculo, y V á la velocidad de rotacion, tendremos $f = \frac{V^2}{r}$ —Y desiguando por T el tiempo de una revo-

lucion completa, tendremos $V = \frac{2\pi r}{T}$ — y $f = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ —

6. **Leyes.**—1.^a La primera fórmula prueba que en el mismo círculo la fuerza centrífuga crece como el cuadrado de la velocidad del móvil.

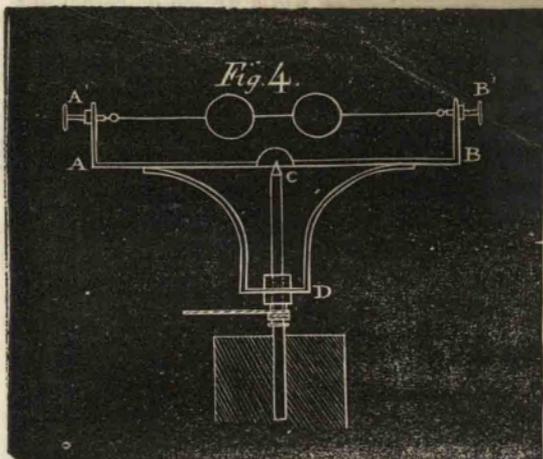
2.^a La segunda fórmula prueba que si varios círculos de radios diferentes, se describen en tiempos iguales, la fuerza centrífuga será proporcional al radio del círculo descrito.—Lo cual sucede en los cuerpos terrestres cuya fuerza centrífuga decrece desde el ecuador en que está en su máximun hasta los polos en donde es nula.

3.^a Si un cuerpo de una masa cualquiera m , jira en un círculo de un radio r con una velocidad v , la fuerza centrífuga de que estará animado, ó la presion que ejercerá sobre la circunferencia del círculo de rotacion será

$$m \text{ veces mayor que la unidad de la masa lo que dará } f = \frac{m v^2}{r}$$

Efectos.—Los efectos y las leyes de la fuerza centrífuga pueden comprobarse por la experiencia.

El aparato destinado al efecto consiste en una barra horizontal AB móvil sobre un quicio vertical CD. (fig. 4.)



Los dos extremos AA' BB', sostienen la barrilla metálica A'B' destinada á recibir unas esferitas de marfil.—Hè aqui los diferentes experimentos que pueden hacerse con este instrumento.

1.^a Una bola de marfil colocada en el centro del eje de rotacion permanece inmóvil.—En efecto sus diferentes puntos estando solicitados por fuerzas centrífugas iguales y contrarias, no pueden permitir el movimiento en ningun sentido.

2.^a Si dos bolas iguales unidas por un hilo de seda están colocadas á diferentes distancias del eje de rotacion, la mas distante del centro arrastra á la otra. (2.^a ley).

3.^a Dos bolas iguales, colocadas á igual distancia del centro de rotacion, adquieren fuerzas centrífugas iguales, rompen el hilo que las une y ambas van á chocar con los dos extremos verticales A A' B B'.

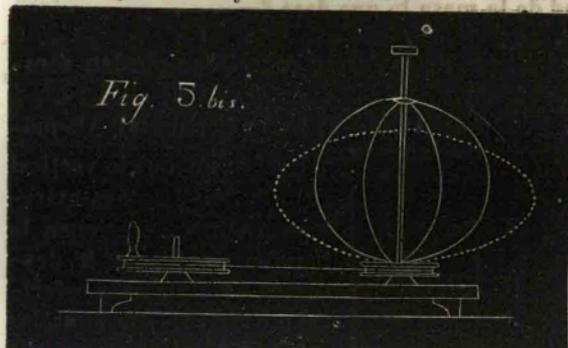
4.^a De dos bolas desiguales unidas por un hilo de seda y colocadas á igual distancia del centro de rotacion, la mayor adquiere mayor cantidad de movimiento y arrastra la menor (3.^a ley).

5.^a Colocando los centros de dos bolas desiguales unidas por un hilo á

distancias del eje de rotacion inversamente proporcionales á sus masas , las fuerzas centrífugas desarrolladas son diferentes; pero las cantidades de movimiento son iguales y en sentido contrario, por lo cual las bolas rompen el hilo y van á chocar contra los extremos verticales.

8. Suponiendo que una masa líquida de forma esférica esté animada de un movimiento de rotacion al rededor de un eje que pase por su centro, sus diferentes puntos estarán solicitados por fuerzas centrífugas de intensidad diferente, y será necesario para conseguir el equilibrio, que la esfera líquida se hinche en las partes ecuatoriales y se achate en los polos en una cantidad tanto mayor, cuanto mas rápida sea la velocidad de rotacion.

9. Un aparato muy sencillo hace sensible esta verdad. Consiste (fig. 5 bis)



en dos círculos de acero cruzados en ángulos rectos y reunidos por dos anillos. El inferior está fijo á un eje de rotacion y el superior está libre. Haciendo jirar el aparato al rededor de un eje, los círculos de acero se hinchan en el ecuador y se achatan en los polos en

una cantidad tanto mayor, cuanto mas rápida sea la velocidad de rotacion.

10. La tierra y todos los cuerpos planetarios son unos esferoides achatados en los polos de rotacion, cuyo hecho indica de una manera positiva que todos los globos estuvieron originariamente en estado flúido, y que no se solidificaron por el enfriamiento, sino despues de haber recibido el movimiento de rotacion de que estan dotados.

§. V. Del péndulo y sus aplicaciones.

1. Cuántas especies de péndulos pueden concebirse?—2. Qué son oscilaciones?—3. Cómo se demuestra el isocronismo de las oscilaciones?—4. Cuáles son las leyes del movimiento del péndulo?—5. En qué fórmula sencilla están encerradas estas leyes?—6. Péndulo compuesto y sus leyes.—7. Qué es centro de oscilacion?—8. Péndulos isócronos.—9. Advertencia.—10. Consecuencia.—11. Aplicaciones del péndulo.

1. Se conciben dos especies de péndulos: el *péndulo simple ó geométrico*, y el *compuesto ó fisico*.

El *péndulo simple* es ideal, y su existencia consistiría en un punto material pesado, suspendido de un hilo inextensible, sin gravedad, y móvil al rededor de un punto fijo. El *péndulo compuesto* es un cuerpo

de cualquier forma y dimension, susceptible de moverse al rededor de un eje horizontal.

2. Oscilaciones del péndulo simple. Si la direccion del hilo de que se supone suspendido el péndulo simple, fuese vertical, el péndulo permanecería en reposo; porque la accion de la gravedad estaría destruida por la resistencia del punto de suspension. Pero si apartamos el péndulo de su posicion vertical, bajaría para tomar su posicion primitiva, ejecutando á su alrededor *idas y vueltas* que se llaman *oscilaciones*, y que en el vacío recorren espacios iguales en tiempos iguales.

3. Demostracion del isocronismo de las oscilaciones. Efectivamente, la gravedad que solicita al punto material, es una fuerza vertical que puede descomponerse en dos: la una dirigida segun la prolongacion del hilo, está destruida por la resistencia del punto fijo: la otra perpendicular al hilo que arrastra el móvil. Llegado este á su direccion vertical, la gravedad que le solicita, está completamente destruida; pero el péndulo en virtud de su velocidad adquirida pasa esta posicion de equilibrio y sube al lado opuesto. Desde este instante la gravedad obra de otra vez sobre él y disminuye gradualmente su velocidad hasta que al llegar á la misma altura del lado opuesto la aniquila totalmente, y el péndulo baja de nuevo ejecutando una segunda oscilacion enteramente semejante á la primera. Luego suponiendo que el péndulo se mueve en el vacío, y exento de toda especie de roce, las oscilaciones tendrán instantáneamente la misma duracion, recorrerán el mismo espacio y se perpetuarán indefinidamente.

4. Leyes del movimiento del péndulo. 1.^a Las oscilaciones del péndulo son isócronas; esto es, se ejecutan en tiempos iguales.

2.^a La duracion de una oscilacion está en razon directa de la raiz cuadrada de la lonjitud del péndulo. Asi un péndulo cuatro veces mas largo que otro, tardará doble tiempo en ejecutar una oscilacion.

3.^a La duracion de una oscilacion está en razon inversa de la raiz cuadrada de la gravedad, es decir, que si la gravedad tuviese 4, 9, 16... veces mas intensidad, el péndulo oscilaría 2, 3, 4... veces mas aprisa.

5. Fórmula. Estas tres leyes están sencillamente encerradas en la fórmula $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$; en la cual t representa el tiempo de una oscilacion, π la relacion de la circunferencia al diámetro, l la lonjitud del péndulo y g la intensidad de la gravedad.

6. Péndulo compuesto y sus leyes. Los péndulos compuestos, usados en las ciencias y las artes, están generalmente formados por una vara metálica cilíndrica ó prismática á la cual está suspendida una lenteja

de platino ó cobre, que descansa por medio de un cuchillo de acero sobre dos planos pulimentados de acero ó ágata.

Centro de Oscilacion. Cuando este péndulo se pone en movimiento, es necesario que todas sus moléculas, á cualquier distancia que estén del punto de suspension, ejecuten sus oscilaciones en el mismo tiempo. Por consiguiente, si las moléculas mas próximas estuviesen libres, oscilarían mucho mas aprisa que las moléculas mas distantes; pero en virtud de la causa del sistema es forzoso que las primeras se retarden y las últimas se aceleren, y entre estos dos puntos extremos habrá otro necesariamente, cuyo movimiento no sea acelerado ni retardado. A este punto se llama *centro de oscilacion*.

8. Péndulos menores. De lo dicho se deduce que un *péndulo compuesto* ejecuta su oscilacion en el mismo tiempo que un *péndulo simple*, cuya lonjitud fuese la distancia del centro de suspension al de oscilacion.

9. Advertencia. El cálculo demuestra que, á pesar de la disminucion que experimenta continuamente el espacio recorrido en cada oscilacion en el péndulo compuesto, su duracion, cuando son muy pequeñas, permanece constante. Lo que consiste en que la resistencia del aire y el roce prolongan la *semi-oscilacion descendente* en una cantidad igual de la que estas mismas causas disminuyen la *semi-oscilacion ascendente*.

10. Consecuencia. De donde se deduce que la duracion de la oscilacion total permanece definitiva la misma, y todas las leyes contenidas en la fórmula

mula $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ son aplicables al péndulo compuesto, con tal que

se entienda por l , lonjitud del péndulo, la lonjitud del péndulo simple *unicrono* con él.

11. Aplicaciones. 1.ª Medida de la intensidad de la gravedad.

De la fórmula de las leyes del péndulo se deduce la siguiente: $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$ Lo

que nos dice que la intensidad absoluta de la gravedad es igual al cuadrado de la relacion aproximada de la circunferencia al diámetro, multiplicada por la lonjitud del péndulo, dividida por el cuadrado del tiempo de una oscilacion. Por consiguiente para obtener la intensidad de la gravedad en cualquier punto del globo, será suficiente hacer oscilar un péndulo, medir su lonjitud para obtener l , observar la duracion de una oscilacion para hallar t , y hacer en seguida los cálculos indicados.

2.ª Variacion de la gravedad con las latitudes. La intensidad de la gravedad en la superficie de la tierra varía con la latitud, aumentando del ecuador á los polos. Para comprobar este hecho es suficiente trasportar sucesivamente un mismo péndulo á diferentes puntos del globo, y medir el tiempo de una oscilacion, ó el número de oscilaciones efectuadas en

un tiempo dado. Un gran número de observaciones hechas con un *mismo péndulo* comprueban que sus oscilaciones son mas lentas en el ecuador que en las regiones polares, y como la intensidad de la gravedad aumenta cuando la duracion de la oscilacion disminuye, es evidente la variacion expresada.

3.^a **Figura de la tierra.** Las causas de la variacion indicada son dos: 1.^a El achatamiento de la tierra en los polos; 2.^a la fuerza centrifuga. Ambas causas comprueban que la figura de la tierra es un esferoide comprimido por los polos.

4.^a Los experimentos del péndulo prueban tambien · 1.^o Que la gravedad es invariable en un mismo punto del globo; 2.^o que todos los cuerpos adquieren por la gravedad la misma velocidad en su caída; 3.^o que el espacio recorrido por un cuerpo en el primer segundo de su descenso libre es próximamente 4^m, 904.

Estas mismas experiencias ponen tambien en evidencia el principio general de *Newton*, esto es, *que todos los cuerpos se atraen en razon directa de las distancias*. Se notó que en la proximidad de las altas montañas el péndulo está un poco desviado de la direccion de la vertical; cuya observacion se hizo en 1774 por *Maskeline*, que demostró por este medio que la masa del globo terrestre es próximamente cuatro veces y media mayor que la de un globo de agua de la misma dimension.

Cavendish comprobó por el mismo medio las atracciones de dos esferas metálicas entre sí.

El péndulo tiene aun otras muchas aplicaciones. El *isocronismo* de sus oscilaciones hace de él el instrumento mas exacto y precioso para la medida del tiempo.

§. VI. Hidrostática.

1. Cuál es el objeto de la hidrostática?—2. De qué fuerzas dependen las propiedades de los líquidos?—3. En qué principio están fundadas todas las leyes de la hidrostática?—Cómo se enuncia este principio?—4. Demostrar la igualdad de presion.—5. Condiciones del equilibrio de los líquidos.—6. Cual es la primera condicion de equilibrio y como se demuestra?—7. Qué consecuencias se deducen de la primera condicion de equilibrio de los líquidos?—8. Cuál es la segunda condicion y como se demuestra.—9. Presiones.—Presion de arriba abajo: cómo se demuestra?—10. Presion de abajo arriba: cómo se demuestra?—11. Presiones interiores: cómo se demuestran?—12. Presiones laterales: cómo se demuestran?—13. Qué es la paradoja hidrostática?—14. Cuáles son las condiciones de equilibrio en los líquidos de diferentes densidades?—15. Tubos comunicantes.—Equilibrio de líquidos homogéneos.—16. Equilibrio de los heterogéneos.—17. Aplicaciones de los principios de hidrostática.—Qué es hidráulica?—Ley de *Mariotte* sobre los saltadores.

1. La *hidrostática* tiene por objeto estudiar las leyes del equilibrio de los líquidos y las presiones que ejercen.

2. Las propiedades de los líquidos dependen de dos fuerzas: la *gra-*

vedad que obra sobre ellas como los demas cuerpos; y la atraccion molecular que les constituye en estado líquido.

3. Todas las leyes de *hidrostática* están fundadas en un principio único, cuya verdad se deduce de la gran movilidad de que están dotadas las partículas de los líquidos.—Este principio es la

Igualdad de presion.—La *igualdad de presion* es un axioma físico.—Este axioma se enuncia así:

Los líquidos transmiten igualmente en todos sentidos las presiones que se ejercen en un punto cualquiera de su masa ó de su superficie.

4. **Demostracion.** Para comprender el principio de la igualdad de presion, figurémos un vaso que contiene un líquido que supondrémos sin gravedad. En este caso es evidente que aunque se horadase el vaso, el líquido no se derramaría.—Si suponemos ahora un émbolo que ajuste exactamente á la superficie del vaso, y colocamos sobre él un peso de 100 libras, esta presion se transmitirá á la primera capa líquida, que sostenida por la segunda sufrirá la misma presion, que se transmitirá de capa en capa íntegramente á la base; pero esta presion se transmitiría tambien á las paredes laterales; puesto que si se horadasen, el líquido saldría con tanta mas violencia cuanto mayor fuese la presion ejercida. Finalmente horadando el émbolo, el líquido saltaría tambien de abajo arriba con tanto mayor ímpetu cuanto mayor fuese la presion empleada, lo que prueba que la pared del émbolo estaba del mismo modo comprimida.—Luego es evidente el principio de igualdad de presion.

Si consideramos ahora un líquido pesado, transmitirá las presiones de la misma manera; pero ademas de estas presiones extrañas ejercerá una presion correspondiente al peso y variable de un punto á otro.—Estos dos géneros de presiones, el uno igual para todos los puntos y en todos sentidos, y el otro variable con la profundidad del líquido, se añaden á cada punto para formar la presion total.

5. **Condiciones del equilibrio de los líquidos.**—Para que un líquido esté en equilibrio, son necesarias dos condiciones: La 1.^a relativa á las moléculas superficiales; la 2.^a á las moléculas interiores.

6. 1.^a **Condicion.**—*La superficie de un líquido pesado en equilibrio debe ser en cada punto perpendicular á la direccion de la gravedad; y mas generalmente perpendicular á la resultante de las fuerzas que sobre él actuan.*

Demostracion.—En efecto, si la superficie no fuese perpendicular, la gravedad que solicita una molécula cualquiera *m*, podria descomponerse en dos fuerzas: la una perpendicular á la superficie del líquido seria destruida por su resistencia; la otra tanjente á la superficie, no estando destruida

por nada, haría rodar la molécula líquida á que estuviese aplicada, y el equilibrio sería imposible.

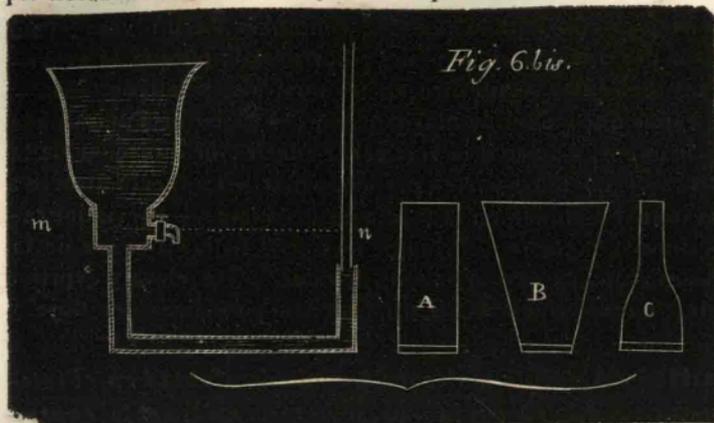
7. Consecuencias.—Un líquido pesado, contenido en un vaso, está siempre terminado por una superficie plana y horizontal; porque la gravedad obra sobre las moléculas segun direcciones verticales y horizontales.—La masa de las aguas que cubren la mayor parte del globo está terminada por una superficie curva, á la cual la vertical, es decir, la direccion de la gravedad efectiva, es en todas partes perpendicular.—La fuerza atractiva de las montañas influye tambien en la forma de los mares.—Por igual razon el Océano, buscando un equilibrio que no puede hallar á causa de la fuerza atractiva de la luna en su movimiento de rotacion, se eleva y deprime alternativamente, dando origen á las oscilaciones periódicas del flujo y reflujó.

8. 2.^a Condicion.—Una molécula tomada á voluntad en el interior de una masa líquida en equilibrio, debe necesariamente experimentar en todos sentidos presiones iguales y contrarias que se destruyan.

Demostracion.—En efecto, considerando únicamente la presion que esta molécula sufre de arriba abajo en una direccion vertical, se hallará que tiene evidentemente por medida el peso líquido vertical que actúa sobre esta molécula. Lo mismo sucederá en las demas moléculas situadas en una misma presion horizontal paralela á la superficie del líquido.—Esta capa se llama superficie ó capa de nivel, y el equilibrio exige que las moléculas que contiene sufran iguales presiones.

9. Presiones.—**Presiones de arriba abajo.** La presion que un líquido pesado en equilibrio ejerce sobre el fondo horizontal de la vasija que le contiene, es independiente de la forma de la vasija; y solo depende de la extension de la pared que sufre la presion, y de la altura del líquido sobre esta pared.—Esta presion tiene por valor el peso de una columna vertical de liquido, que tiene por base el fondo de la vasija, y por altura la distancia de este fondo al nivel.—Su expresion es $p = bad$.

Demostracion. El raciocinio y la experiencia demuestran este principio notable. — *Haldat* imaginó un aparato al efecto. (fig. 6 bis).



Consiste en un tubo metálico encorvado en ángulo recto por ambos extremos, á uno de los cuales se adapta otro tubo de cristal, y al otro un reservatorio cilindrico

de un diámetro mucho mayor destinado a recibir tres vasijas de cristal de igual base y altura, pero de distinta forma: la una cilíndrica A, la otra ancha en la parte superior B, y la tercera estrecha hácia este mismo punto C. — Ahora bien, echando mercurio en el tubo metálico se coloca en ambos brazos en un plano horizontal; y adaptando sucesivamente al aparato, las tres vasijas llenas de agua, la presión que cada una de ellas ejerce, hace subir constantemente el mercurio una cantidad igual. Luego es evidente el principio sentado.

10. Presion de abajo arriba. Si suponemos un vaso de doble fondo, resultará del principio de la igualdad de presión, que el fondo superior sufre de *abajo arriba* una presión igual al peso de una columna líquida, cuya base es la superficie de la pared, y su altura el nivel del líquido sobre ella.

11. Presiones interiores. Si en el interior de una masa líquida concebimos una capa líquida horizontal, esta experimentará de arriba abajo una presión igual al cilindro líquido que está sobre la capa líquida que hemos considerado; pero como esta capa está en equilibrio es necesario experimentar de abajo arriba una presión vertical igual y contraria.

12. Presiones laterales. De la igualdad de presión se deduce también que la presión total que sufre una pared lateral, tiene por medida el peso de una columna de líquido que tiene por base la pared que sufre la presión y por altura la distancia de su centro de gravedad al nivel.

Paradoja hidrostática. Aunque el líquido contenido en las tres vasijas del aparato de *Haldat* (fig. 6 bis) ejerce la misma presión, no por esto tiene un mismo peso, porque las presiones laterales estimadas según la vertical se añaden á las que sufre el fondo por este último caso. Por eso el primer principio recibió el nombre de *paradoja hidrostática*.

14. **Líquidos superpuestos.** Cuando varios líquidos de naturaleza ó densidad diferentes están contenidos en un mismo vaso, estos líquidos se colocan los unos sobre los otros en capas horizontales, condicion necesaria al equilibrio, porque sino fuese así, la presión no sería igual en todos los puntos de una misma capa de nivel.

15. **Tubos comunicantes.** Cuando dos tubos de una misma forma tamaño cualquiera comunican entre sí, pueden contener ó un líquido homogéneo ó líquidos de diferentes densidades (fig. 6.).

Fig. 6.



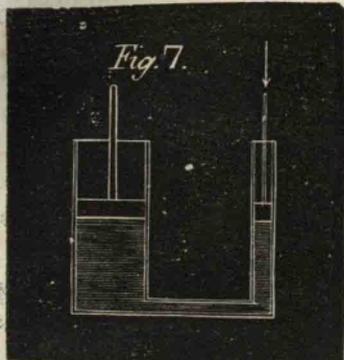
Primer caso. Líquidos homogéneos.
Para que un líquido homogéneo esté en equilibrio en dos vasos comunicantes, es necesario que el nivel del líquido en ambos tubos esté sobre un mismo plano horizontal.

Demostracion. En efecto, consideremos en el canal de comunicacion una porcion vertical *m*. Puesto que el equilibrio subsiste, esta porcion debe sufrir por ambos lados presiones iguales. Ahora bien, la presión lateral tiene por medida la base *m* multiplicada por la altura: la de derecha tiene igual medida: luego los niveles deben estar en un mismo plano horizontal.

16. **Segundo caso. Líquidos heterogéneos.** Cuando dos líquidos heterogéneos están contenidos en dos tubos comunicantes, las alturas de las columnas líquidas que están equilibradas, están en razón inversa de sus densidades.

Demostracion. Supongamos dos líquidos, agua y mercurio. Según lo ya demostrado, tendríamos $ad = b'a'd'$, en cuya ecuacion el primer miembro representa la columna de agua, que se equilibra con la columna de mercurio, representada por el segundo miembro; y suprimiendo *b*, tendremos $ad = a'd'$, de donde $a : a' :: d' : d$; lo que queremos demostrar.

17. **Aplicaciones.** Los principios sentados tienen un gran número de aplicaciones. La *prensa hidráulica* (fig. 7) es una de ellas. Consiste en dos tubos comunicantes de diferentes diámetros, en los cuales el agua está en un mismo plano horizontal ó en equilibrio. Sobre cada tubo ajustan exactamente dos pistones resistentes. Si sobre el pequeño se ejerce una presión de 10 quintales, por ejemplo, esta presión se transmitirá á toda la masa líquida, de manera que cada porción de la superficie del piston grande igual á la del pequeño sufrirá una presión de abajo arriba igual á 10 quintales. Por consiguiente, si la superficie del piston grande es 100 veces mayor que la del pequeño, la presión total sufrida por el primero será de 10×100 ó de 1000 quintales.



El pistón mayor tiene encima unas placas metálicas muy resistentes, entre las cuales se colocan los cuerpos que se quieren comprimir. Esta prensa se emplea en la compresión de los paños, en la fabricación de la pólvora, del papel, de los ladrillos, y en un gran número de artefactos.

El *nivel de aire*, la conducción de las aguas por medio de cambisas, que no son mas que una serie de tubos comunicantes, la construcción de los pozos artesianos y la teoría de los saltadores están fundadas en los principios explicados. Mariotte calculó en los jardines de Versalles la altura de los depósitos por medio de los saltadores, hallando la ley siguiente: *dividiendo por 5 la altura de los saltadores expresada en pies, resulta un cociente igual al número de pulgadas en que la altura del depósito excede á la del saltador.*

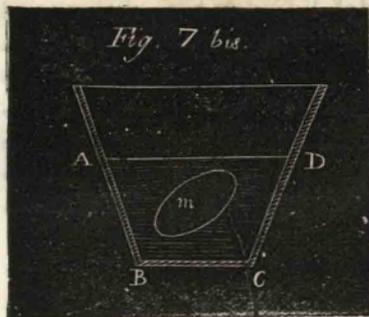
§. VII. *Cuerpos flotantes—Principio de Arquímedes—Densidades—Areometría.*

4. En qué principios descansa la teoría de los cuerpos flotantes.—2. Cuál es el principio de Arquímedes?—3. Cómo se demuestra este principio?—4. Qué consecuencias se deducen del principio de Arquímedes?—5. Qué son cuerpos flotantes?—6. Cuáles son los principios generales para determinar las densidades relativas de los cuerpos?—7. Qué cuerpo es el elegido como unidad para determinar el peso específico?—8. A qué se llama peso específico?—9. Cómo se obtiene en general el peso específico?—10. Cómo se determinan las densidades de los sólidos por medio de la balanza hidrostática?—11. Y por el método del frasco ó de Klaport?—12. Cómo se determinan las densidades de los líquidos por el primer método?—13. Y por el segundo?—14. Qué son areómetros?—15. Cuántas especies hay de areómetros?—16. Cuáles son los de volúmen constante?—17. Areómetro de Nicholson.—18. Modos de usarle.—19. Areómetro de Farenheit.—20. Modo de usarle.—21. Cuáles son los areómetros de peso constante?—22. Consecuencia.—23. Areómetro de Beaume.—24. A qué se llaman volúmetros?—25. Cómo se gradúan los volúmetros para líquidos mas pesados que el agua?—26. Y para los mas ligeros?—27. Alcóometro centesimal.—28. Aplicaciones.

1. Toda la teoría de los cuerpos flotantes en los líquidos descansa sobre un solo principio debido á Arquímedes, y que se enuncia así.

2. **Principio de Arquímedes.** *Todo cuerpo sumergido en un flúido pierde una parte de su peso igual al peso del volúmen flúido que desaloja.*

3. **Demostracion.** Este principio se demuestra por el raciocinio y la experiencia.



1.º **Raclocinio.** Consideremos una masa líquida en equilibrio ABC (fig. 7 bis); aislemos con el pensamiento una porcion cualquiera m de esta masa, el equilibrio no se turbará, aunque supongamos que esta porcion de líquido se solidifique de repente. Ahora bien, esta porcion sufrirá de parte del líquido que la rodea presiones normales, que pueden descomponerse todas en presiones horizontales y verticales. Las primeras se destruyen evidentemente por sí mismas, puesto que la masa m no tiende á moverse lateralmente en ningun sentido. Respecto á las verticales, su resultante es evidentemente igual al peso de la masa líquida m , puesto que se opone á su caída y obra de abajo arriba. Esta presion se llama la *impulsion del flúido*. Sustituyamos ahora á la masa m un cuerpo cualquiera que tenga exactamente la misma forma: este cuerpo sufrirá necesariamente de parte del líquido que le rodea la misma impulsion, y por

consiguiente su peso se habrá disminuido en una cantidad igual al peso de la masa líquida cuyo lugar ocupa.

2.º Experiencias. Por debajo de uno de los platillos de una balanza se suspende por medio de un ganchito un cilindro hueco de cobre, debajo del cual se engancha otro cilindro sólido que ajuste exactamente al primero. Luego que se consigue el equilibrio, se sumerge el cilindro sólido en un vaso lleno de agua; al momento se altera, y la experiencia prueba que para restablecerle es suficiente llenar de agua el cilindro hueco. De donde se deduce que la pérdida de peso que el cilindro sólido ha sufrido por su inmersión en el agua, es igual al peso de un volúmen de líquido igual al suyo.

4. Consecuencias. Cuando un cuerpo está sumergido en un líquido, pueden suceder tres casos:

1.º *Que el cuerpo sumergido sea mas denso que el líquido.* En este caso el peso del cuerpo es mayor que la impulsión del flúido, y el cuerpo desciende al fondo de la vasija con una fuerza igual á su diferencia.

2.º *Que el cuerpo sumergido tenga el mismo peso que el flúido desalojado.* Entonces el peso del cuerpo sumergido siendo igual á la impulsión del flúido, el cuerpo permanece en equilibrio.

3.º *Que el cuerpo sumergido pese menos que el líquido desalojado.* En este caso la impulsión del flúido siendo mayor que su peso, el cuerpo sube á la superficie del líquido.

5. Cuerpos flotantes. En la circunstancia precedente sucede siempre que el cuerpo sale en parte del líquido, y se dice que el cuerpo *flota* en su superficie. En este caso, y luego que el cuerpo cobra su posición de equilibrio, es evidente que el peso del cuerpo *flotante* es igual al peso del líquido desalojado por la *parte sumergida* del cuerpo.

6. Determinación de las densidades relativas de los cuerpos. Principios generales. Hemos llamado *densidad absoluta* de un cuerpo la cantidad de materia que encierra bajo la unidad de volúmen.

1.º principio. *Si dos cuerpos tienen la misma densidad, sus pesos son proporcionales á sus volúmenes.*

2.º principio. *Cuando dos cuerpos heterogéneos tienen el mismo peso, sus volúmenes están en razón inversa de sus densidades.*

3.º principio. *Bajo volúmenes iguales las densidades de los cuerpos son proporcionales á sus pesos.*

7. Densidades relativas ó pesos específicos. Para medir las densidades de los cuerpos, es necesario compararles á la den-

sidad de un cuerpo particular que se elije por unidad. El cuerpo á cuya densidad se comparan las de los sólidos y líquidos es el agua destilada.

8. La relacion de la densidad absoluta de los cuerpos á la del agua destilada, llámase *densidad relativa ó peso específico de un cuerpo*.

9. Puesto que, bajo el mismo volúmen, las densidades de los cuerpos son proporcionales á sus pesos, para obtener la densidad ó peso específico de un cuerpo con relacion al agua, será suficiente *pesar el cuerpo y el agua destilada, bajo un mismo volúmen, y dividir el peso del cuerpo por el del agua*.

10. **Métodos experimentales para determinar el peso específico. Densidades de los sólidos. 1.º método. Balanza hidrostática.** Esta balanza tiene un ganchito debajo de cada platillo. Se halla el peso P del cuerpo sólido, cuya densidad relativa se busca, suspendiéndole por un hilo muy fino á uno de los platillos de la balanza. Se halla en seguida el peso P' del mismo cuerpo enteramente sumergido en el agua destilada. La diferencia de los pesos P, P' expresa el peso del volúmen de agua desalojada, es decir, de un volúmen de agua igual al del cuerpo. Luego la

densidad buscada será $D = \frac{P}{P - P'}$

11. **2.º método. Método del frasco.** Se pesa un frasco lleno de agua destilada y cerrado herméticamente. Sea P su peso. Se pesa en seguida el cuerpo cuya densidad se desea determinar, sea p este nuevo peso. Se introduce cuidadosamente el cuerpo en el frasco y se pesa de nuevo. El peso P' que se obtiene, difiere de P+p una cantidad igual al peso del agua que la inmersión del cuerpo hizo salir, esto es, en un volúmen de agua igual al suyo. Luego la densidad buscada estará expresada por la relacion

$D = \frac{p}{P + p - P'}$

12. **Densidad de los líquidos. Primer método. Balanza hidrostática.** Supongamos que se trata de averiguar la densidad del alcohol: se suspenderá con un hilo muy fino por debajo de uno de los platillos de la balanza, un cuerpo sólido, cuyo peso hallaremos sucesivamente en el aire, en el alcohol y en el agua destilada: designemos estos pesos por P, P' y P''. Segun el principio de Arquímedes P-P' y P-P'', que son las pérdidas de peso sufridas por el cuerpo en el alcohol y en el agua, representan el peso de ambos líquidos bajo un mismo volúmen. Luego la densidad del alcohol estará expresada por

$\frac{P - P'}{P - P''}$

13. 2.º **Método del frasco.** Este método es independiente del principio de Arquímedes. En efecto, tómesese un frasco, y 1.º pésele vacío: sea P su peso; 2.º lleno de agua destilada: sea P'; y 3.º lleno de alcohol ó del líquido cuya densidad busquemos: sea P". Si de los últimos pesos quitamos el primero, las diferencias P'—P y P"—P representarán el peso del agua y del líquido que llenaban un mismo frasco y que por consiguiente tienen un mismo volúmen. Luego dividiendo entre sí

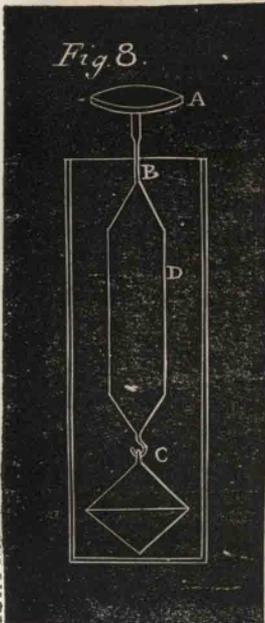
estos pesos tendremos la densidad buscada; esto es $D = \frac{P' - P}{P'' - P}$.

14. **Areometría.** Llámanse *areómetros* á unos aparatos flotantes destinados á dar á conocer las densidades relativas de los cuerpos, ó las proporciones en que ciertas sustancias se hallan mezcladas.

15. Se distinguen dos especies de areómetros: 1.ª Areómetros de *volúmen constante*; 2.ª areómetros de *volúmen variable* y *peso constante*.

16. **Areómetros de volúmen constante.** Son dos: el de *Nicholson*, que sirve para determinar la densidad de los sólidos y que es muy usado en mineralogía; y el de *Fahrenheit*, que sirve para los líquidos.

17. **Arcómetro de Nicholson.** El arcómetro de Nicholson se compone de un cilindro y de dos conos, cada uno de los cuales está unido por su base á una de las bases del cilindro (fig 8). El cono superior tiene un vástago muy fino, al cual está unido un platillo destinado á contener los pesos; en la parte inferior está suspendido un recipiente ó cápsula que sirve de *lastre*, y tiene una forma propia para contener los cuerpos sólidos cuyo peso específico se busca. En el vástago superior está señalado un punto que se llama *punto de enrasamiento*, porque en todas las experiencias el aparato debe sumergirse hasta él.



El cono superior tiene un vástago muy fino, al cual está unido un platillo destinado á contener los pesos; en la parte inferior está suspendido un recipiente ó cápsula que sirve de *lastre*, y tiene una forma propia para contener los cuerpos sólidos cuyo peso específico se busca. En el vástago superior está señalado un punto que se llama *punto de enrasamiento*, porque en todas las experiencias el aparato debe sumergirse hasta él.

18. **Modo de usar el arcómetro de Nicholson.** Se coloca en él agua destilada, se ponen en el platillo superior los pesos necesarios para enrasar el aparato: sea A este peso. Se saca del platillo en cuyo lugar se coloca el cuerpo cuya densidad se busca, añadiendo pesos conocidos hasta hacerle de nuevo enrasar: sean A' estos nuevos pesos; por manera que A—A' representa el peso del cuerpo. Entonces se traslada el cuerpo del platillo superior á la cápsula inferior y el arcómetro vuelve á sumergirse en el agua. El aparato no enrasa ya

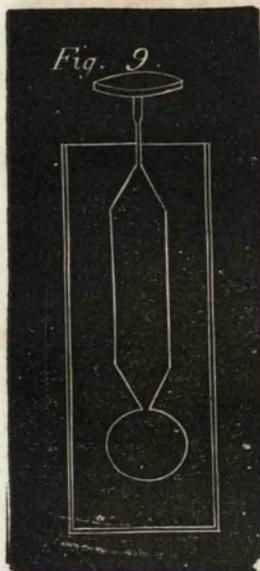
y para conseguirlo es necesario añadir al platillo superior un peso que designaremos por A'' . Este peso representa evidentemente la pérdida de peso que experimentó el cuerpo por su inmersión en el líquido, es decir, el peso de un volumen de agua igual al suyo. La densidad buscada estará, pues,

$$A - A'$$

expresada por $D = \frac{A - A'}{A - A''}$

$$A - A''$$

19. **Arcómetro de Fahrenheit.** Este arcómetro es un cilindro de cristal terminado por un vastaguito delgado, con un platillo en su parte superior (fig. 9). El vástago tiene señalado el punto de enrasamiento; y un lastre suspendido en la parte inferior sirve para dar al aparato una posición de equilibrio.



Modo de usar el arcómetro de Fahrenheit.

Debe conocerse de antemano su peso, que designaremos por P . Entonces se sumerge en el agua destilada, y se ve que es necesario poner en el platillo un nuevo peso P' para hacerle enrasar; de lo cual resulta que el peso del agua desalojada por el aparato es $P + P'$. Se sumerge en seguida el arcómetro en el líquido cuya densidad deseamos conocer; y si designamos por P'' el nuevo peso de enrasamiento, el peso del líquido desalojado será $P + P''$.

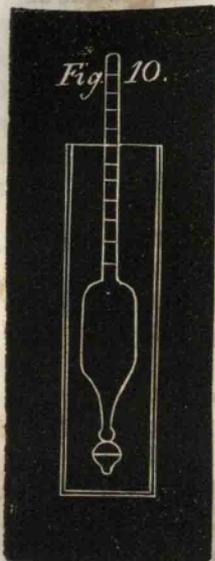
Ahora bien, sumergiéndose el arcómetro hasta un mismo punto, los líquidos desalojados tienen el mismo volumen. Luego la densidad buscada se obtendrá

$$P + P''$$

dividiendo entre sí los dos pesos hallados $D = \frac{P + P''}{P + P'}$

$$P + P'$$

21. **Arcómetros de peso constante.** Estos arcómetros (fig. 10) es-



tán todos formados por una bola de cristal colocada á la extremidad de un tubo y lastrados con una bola mas pequeña que contiene mercurio ó granos de plomo. El tubo tiene una graduacion, cuya divisiones corresponden á partes de igual capacidad.

22. **Consecuencia.** Si se introduce un instrumento de esta clase en un líquido cualquiera, se sumerjirá tanto mas cuanto menos pese el líquido bajo un mismo volumen, ó lo que es lo mismo, cuanto menor sea su peso específico; porque siendo invariable el peso del arcómetro, el volumen del líquido desalojado estará en razon inversa de su densidad.

23. **Arcómetro de Beaume.** El arcómetro de *Beaume* que es el mas usado en el comercio está graduado del modo siguiente. 1.º Cuando se destina á *pesa-ácidos* ó *pesa-sales*, se da al arcómetro un peso tal, que introducido en el agua pura, se sumerja hasta la cumbre del tubo, en cuyo punto se señala cero. Introdúcesele en seguida en una disolucion que contenga 85 partes de agua y 15 de sal marina y se señala 15 en el punto de enrasamiento. Se subdivide el intervalo en 15 partes iguales, llamadas *grados* y prolongando las divisiones hasta la bola. 2.º Si se destina á *pesa licores*, se le da un peso tal, que introducido en una mezcla de 90 partes de agua con 10 de sal marina, se sumerja hasta el nacimiento del tubo, en cuyo punto se señala cero. Se señalan en seguida 10º en el punto de enrasamiento en el agua destilada, y dividiendo el intervalo en 10 partes iguales, se prolongan las divisiones hasta la terminacion del tubo.

24. **Volúmetros.** M. *Gay-Lussac* llama así á unos arcómetros graduados de manera que sirvan para indicar no solo el orden sino las relaciones exactas de las densidades de los líquidos.

25. **Volúmetro para líquidos mas pesados que el agua.** El peso del aparato debe ser tal, que introducido en el agua pura, se sumerja todo el vástago. Se señala 100 en este punto. Se compone en seguida una disolucion salina, cuya densidad sea $\frac{3}{4}$. Puesto que el peso del aparato permanece el mismo, los volúmenes de los líquidos desalojados están en razon inversa de las densidades, esto es, cuando el primero 1, el segundo será $\frac{3}{4}$, ó bien siende el primero 100, el segundo será 75. Se divide el intervalo comprendido entre 100 y 75 en 25 partes iguales, que se prolongarán hasta la parte inferior del vástago. Si sumergido en un liquido el arcómetro toca á la division 80

es claro que la densidad del líquido es á la del agua :: 100 : 80, y que
100
es por consiguiente igual á $\frac{100}{80}$ ó á 1,25.

26. Volúmetro para líquidos mas lijeros que el agua. El peso del instrumento debe ser tal, que introducido en el agua destilada, se sumerja solo hasta el nacimiento del tubito. Se añade luego á la parte superior del aparato un peso igual á su cuarta parte; por manera que siendo el peso primitivo 4, el nuevo peso sea 5. Igual relacion existirá entre los volúmenes de agua desalojada en ambos casos, de donde se deduce que si se ha señalado 100 en el primer punto de enrasamiento, se señalará 125 en el segundo. Este intervaio se dividirá en 25 partes iguales, cuya division se prolongará hasta lo alto del tubo.

27. Alcóometro centesimal. Se gradua sumergiéndole sucesivamente en mezclas artificiales de agua y de alcohol puro en diversas proporciones, y se señala 100, 95, 85, 80... en los puntos de enrasamiento en las mezclas que en 100 partes en volúmen contienen 100, 95, 85, 80... de alcohol puro. Este instrumento se debe á Guy-Lussac.

28. Aplicaciones. La fisica, la química, la mineralogia, las artes y el comercio tienen necesidad de consultar muy frecuentemente las tablas de pesos especificos. Hay cuestiones muy útiles, cuya solucion depende del conocimiento de las densidades. Conocido el volúmen y la densidad de un cuerpo que no puede ponerse en una balanza, hallar su peso. La fórmula $P=VD$, nos lo dice.

Conociendo el peso y la densidad de un cuerpo, hallar su volúmen.

P

La fórmula $V=\frac{P}{D}$ nos lo demuestra.

D

§. VIII. De los gases.

1. Cuáles son los caracteres distintivos de los gases.— 2. Demostrar estos caracteres.— 3. Los gases son pesados?— 4. Cómo se demuestra el peso de los gases?— 5. Qué consecuencias se deducen de esta propiedad?— 6. Qué es la atmósfera?— 7.Cuál es la presión atmosférica?— 8. Qué se deduce de este principio de hidrostática?— 9. Como se llama el instrumento destinado á medir la presión atmosférica?— 10. A quién se debe la primera idea de la construcción de este instrumento y cómo se verifica la experiencia?— 11. Consecuencias de esta experiencia.— 12. Cuántas clases de barómetros se conocen?— 13. Barómetro de cubeta.— 14. Barómetro de Fortin.— 15. Barómetro de sifon.— 16. Barómetro de Gay-Lussac.— 17. Cuál es la altura media del barómetro?— 18. A qué se llama tensión ó fuerza elástica?— 19. A qué es igual la tensión en una gran masa gaseosa como la atmósfera?— 20. Demostrar esta propiedad.— 21. Qué hay que observar en esto?— 22. Qué consecuencia se deduce de lo dicho?— 23. Cuál es la ley de Mariotte?— 24. Demostrar la ley de Mariotte.— 25. Qué se deduce de esta demostración?— 26. Cómo se mide la elasticidad de los gases?— 27. Qué hay de notable en la mezcla de los gases?— 28. Se aplica lo mismo la ley de Mariotte á las mezclas que á los gases simples?— 29. Máquina neumática.— 30. Cuál es el juego de esta máquina?— 31. Cuál es la ley de la rarefacción del aire?— Puede conseguirse el vacío perfecto con la máquina neumática?— 32. Qué perfecciones principales se invierten en ella?— 33. Qué son los hemisferios de Magdebourgo?— 34. Máquina de compresión.— 35. Bombas impelentes.— 36. Fuente de compresión.— 37. Escopetas de viento.— 38. A qué se extiende el principio de Arquímedes?— 39. Qué consecuencias se deducen de esta extensión? Qué son globos aereostáticos?— 40. Qué son mongolfieras?— 41. Qué son globos de gas hidrógeno?— 42. Cuál es el mas célebre de los viajes aereostáticos.

Gases. Su expansibilidad y compresibilidad.

Los gases ó flúidos elásticos, además de la independencia absoluta y de la movilidad perfecta de sus moléculas, tienen por caracteres distintivos la *expansibilidad* ó *elasticidad*, y por consiguiente una *compresibilidad* muy grande, propiedad correlativa de la primera.

2. **Demostracion.** Colocando en el recipiente de una máquina neumática (1) una vejiga cerrada y llena de aire, se hincha luego que se hace el vacío, y se comprime de nuevo así que se vuelve á permitir la entrada del aire.

3. **Peso de los gases.** Los gases son también pesados como los demás cuerpos.

4. **Demostracion.** Pesando sucesivamente un globo de cristal vacío y lleno de aire, ó de otro cualquier gas, se ve que el peso aumenta en este último caso.

Véase la descripción de esta máquina.

5. **Consecuencia.** Resulta de las propiedades demostradas que los gases ejercen dos especies de presiones: 1.^a Las debidas á su peso; 2.^a Las debidas á su expansibilidad.

6. **Presiones de los gases en virtud de su peso atmosférico.** La *atmósfera* ó *aire atmosférico* es la capa gaseosa que circuye y envuelve nuestro globo. Su altura es próximamente de 15 leguas métricas; el aire es una mezcla de varios gases que la química nos da á conocer.

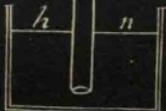
7. **Presion atmosférica.** Considerando la atmósfera como un flúido pesado en equilibrio, su presion sobre un plano cualquiera, horizontal, vertical ó inclinado de arriba abajo, y de abajo arriba, tendrá por medida *el peso de una columna de aire, cuya base sea la superficie en que se ejerce la presion, y por altura los limites de la atmósfera.*

8. De este principio de hidrostática se deduce: 1.^o que las presiones de los gases se ejercen igualmente en todos sentidos; 2.^o que la densidad del aire atmosférico decrece de una manera continua desde la superficie terrestre hasta el vacío.

9. **Barómetro.** El instrumento destinado á medir la presion atmosférica se llama *barómetro*.

10. A Torricelli discípulo de Galileo se debe la primera idea de la construcción de este instrumento.—Hé aquí su experiencia.—Un tubo de cristal de tres pies de largo próximamente, cerrado por uno de sus extremos se llena exactamente de mercurio.—Se invierte el tubo tapan-do el otro extremo con el dedo y se sumerge en una cubeta de mercurio.—El nivel baja y se detiene á la altura de 76 centímetros, ó 32 pul-gadas españolas.—Segun el modo de verificarse esta experiencia el aire no puede entrar en el tubo, el vacío es perfecto en su extremidad y por esta parte ninguna presión se ejerce sobre el mercurio. Por el contrario el de la cubeta sufre toda la presión del aire atmosférico, cuya presión sostiene la columna de las 32 pulgadas de mercurio (figu-ra 11).— De esta experiencia se deduce: 1.º

Fig. 11.



la presión atmosférica sobre una superficie dada equivale al peso de una columna de mercurio, cuya base sea la superficie sobre que se ejerce la presión, y su altura 32 pulgadas ó 76 centímetros próximamente.

2.º Si en lugar de mercurio, nos sirviésemos de otro líquido, la altura de la columna líquida que equilibrare la presión atmosférica, estaría en razón inversa de su densidad. Para el agua, por ejemplo, esta altura, sería $0^m,76 \times 13,61$ 10^m, 336 ó 32 pies próximamente.

3.º La altura barométrica es absolutamente independiente de la forma del tubo y de su diámetro con tal que no sea capilar.

4.º La altura de la columna barométrica debe disminuir á medida que uno se eleva en la atmósfera; puesto que se encuentra libre de todas las capas de aire colocadas debajo de sí.— Estos hechos han sido comprobados por la experiencia, y el último sirve de principio para medir las alturas.

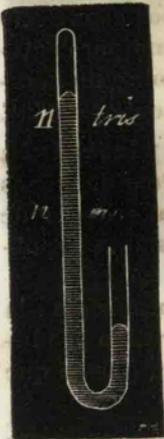
11. Clases de barómetros. Se conocen dos clases de barómetros.

1.ª Los de cubeta; 2.ª los de sifon.

12. Barómetro de cubeta. El barómetro de cubeta común consiste en un tubo unido á una tabla que eleva una escala vertical, cuyo cero corresponde al nivel del mercurio en la cubeta: el nivel superior se observa por medio de su vernier. (fig. 11).



13. **Barómetro de Fortin.** (fig. 11 bis). En este barómetro, la cubeta está provista de su fondo móvil de piel de gama, que una cinta puede subir y bajar á voluntad.—La graduacion está trazada en un estuche de cobre que rodea el tubo, y el cero corresponde á la extremidad de una punta de marfil fija que penetra por el cobertizo en la cubeta.—En cada observacion se debe alzar el fondo móvil hasta que el nivel del mercurio envase con la extremidad de la punta marfil.



14. **Barómetro de Sifon.** (fig. 11 tris). El tubo de este barómetro es encorbado y con dos brazos desiguales. El mas corto, que está abierto, hace veces de cubeta. La altura de la columna mercurial que equilibra la presion exterior de la distancia vertical. La altura barométrica se mide por medio de una escala vertical, cuyo cero puede colocarse ya entre ambos niveles, ya debajo del nivel inferior. En el primer caso se hace la suma; en el segundo se halla la diferencia de las dos distancias observadas.

15. **Barómetro de Gay Lussac** (fig. 12 bis). Es un barómetro de sifon, cuyos brazos están reunidos por un tubo capilar. El brazo corto está cerrado, y solo comunica con el aire exterior por un orificio cónico muy estrecho *o*, cuya punta es reentrante. El aparato está encerrado en un estuche metálico provisto de dos hendiduras longitudinales paralelas, destinadas á permitir la vista de los dos niveles. Dos correderas móviles haciendo veces de vernier permiten calcular muy aproximadamente la distancia de los niveles.



16. **Altura media.** La altura media del barómetro en el nivel del mar es de $0^m,76$. La presión de esta columna de mercurio á la de una columna de agua de $10^m,336$, lo que da una presión media de $103\text{cil.},36$ por cada decímetro cuadrado, ó próximamente un kilogramo por centímetro cuadrado. Calculando la presión que el aire ejerce sobre un hombre de mediana estatura, hallamos que sufre el enorme peso de 1800 kil.

17. **Presiones ejercidas por los gases en virtud de su expansibilidad.** Llámase *tension* ó *fuerza elástica* de un gas la presión que se ejerce igualmente y en todos sentidos al rededor de cada una de sus moléculas, en virtud de su mútua y constante repulsion.

18. En una gran masa gaseosa en equilibrio, como la atmósfera, la *tension* ó *fuerza expansiva* es en cada punto, igual á la presión producida por la pesantez de la columna de aire que está encima, puesto que la sostiene en equilibrio.

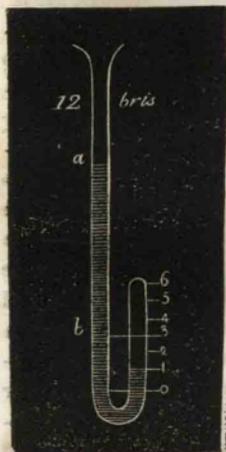
19. **Demostracion.** Si sumergimos en el agua un tubo ancho y abierto por ambos lados, el nivel del líquido será igual dentro y fuera del tubo; el nivel subsistirá así mismo, aunque uno de los extremos del tubo se cierre; lo que prueba que la fuerza elástica del gas interior es igual á la presión de la atmósfera, con la cual estaba antes en comunicacion.

Observacion. Pero si comprimimos el aire interior, ó por el contrario lo dilatamos, cambiará su tension: en el primer caso la tension aumenta y el nivel del líquido interior baja mas que el nivel exterior; en el segundo disminuye y el nivel interior sube mas que el exterior.

21. **Consecuencia.** De lo dicho se deduce que la *fuerza elástica* de un gas es independiente de su peso; pero tiene una relacion importante con el volúmen que se le hace ocupar. Esta relacion es conocida con el nombre de *ley de Boyle*, ó de *Mariotte*.

22. **Ley de Mariotte.** *Los volúmenes ocupados por una masa dada de gas estan en razon inversa de las presiones que sufren.*

23. **Demostracion.** Para demostrar esta ley se emplea un tubo en-corvado (fig. 12 tris) en forma de sifon. El brazo corto está cerrado y dividido en partes de igual tamaño. El mas largo está abierto y dividido tambien en partes iguales. Se introduce mercurio en el tubo hasta que los niveles de los dos brazos se coloquen en un mismo plano horizontal. Entonces es evidente que el aire contenido en el brazo cerrado posee una fuerza elástica exactamente igual á la presion de la atmósfera. Hecho esto, se derrama mercurio en el brazo largo hasta que el volúmen del aire interior se haya reducido á la mitad. Este aire sufrirá entonces una presion atmosférica, mas la presion de la columna de mercurio comprendida entre el nivel superior y la prolongacion horizontal del nivel inferior; pero se ha comprobado que esta altura es exactamente igual á la del mercurio en el baró-



metro, y por consiguiente que equivale á una presion atmosférica. De que se sigue que cuando la presion que sufre el gas es doble, su volúmen es dos veces menor. Del mismo modo veríamos que con una presion triple, el volúmen se reduciría al tercio, y asi sucesivamente. MM. Arago y Dulong han demostrado por la esperiencia que esta ley es cierta en el aire atmosférico hasta 27 atmósferas.

24. **Consecuencia.** En la esperiencia que precede el peso del gas no varía: luego su densidad varía en razon inversa de su volúmen. Y puesto que el volúmen varía en razon inversa de su presion, resulta: *que la densidad de los gases es proporcional á las presiones que sufren.*

25. **Medida de la elasticidad de los gases.** El medio mas exacto de medir la presion de un gas es hallar la altura de una columna líquida á que equilibra. Cuando los gases estan muy comprimidos ó se quiere graduar las presiones que ejercen en las calderas de las máquinas de vapor, se emplean unos instrumentos fundados en la ley de Mariotte, llamados *manómetros*.

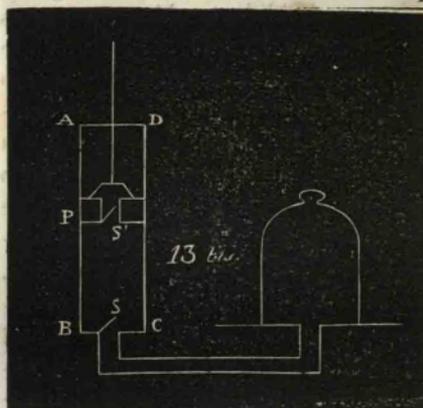
26. **Mezcla de gases.** Los gases puestos en contacto, cuando no tienen entre sí accion química, se mezclan exactamente sea cual fuere la diferencia de su peso específico. Berthollet acreditó este hecho por la esperiencia. Si la mezcla se opera á una temperatura igual y en un vaso de paredes inestensibles, la fuerza elástica de la mezcla será igual á la suma de la uerza elástica de ambos. Si el vaso es de paredes estensibles y la mezcla está sometida á la presion atmosférica, la fuerza elástica es igual á esta

presion ; pero el volúmen de la mezcla es igual á la suma de los volúmenes mezclados.

27. La ley de Mariotte se aplica lo mismo á la mezcla que á los gases simples.

28. **Instrumentos fundados sobre las propiedades del aire.**

Máquina neumática. La *máquina neumática* es un instrumento



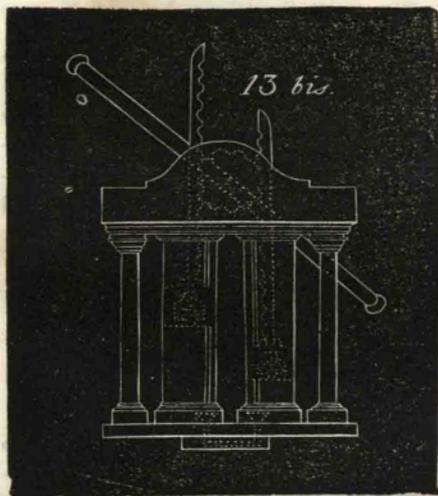
destinado á hacer el vacío en un espacio dado, ó á lo menos á enrarecer mucho el aire que contiene en el recipiente. Ha sido inventada por Otto de Guericke en 1630. Esta máquina considerada en su mayor estado de sencillez, se compone (fig. 13): 1.º de un cilindro ABCD de cristal ó metal llamado *cuerpo de bomba*; 2.º de un pistón P; 3.º de un tubo de aspiración colocado á la extremidad inferior del cuerpo de bomba, cuyo tubo viene á abrirse al centro de un platino

horizontal que se llama *platino* de la máquina, y sobre el cual se colocan los vasos ó recipientes, que son generalmente unas campanas de cristal; y 4.º dos válvulas que completan el mecanismo de la máquina, colocadas la una en el mismo pistón, y la otra en el punto de union del cuerpo de bomba con el tubo de aspiración.

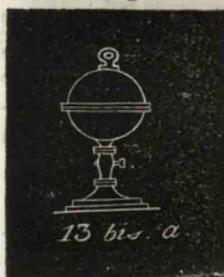
29. **Juego de la máquina.** Supongamos desde luego que el pistón está colocado en el fondo horizontal del cuerpo de bomba, y que levantamos el pistón; formaremos debajo de él un vacío: la válvula del pistón permanecerá cerrada á causa de la epresion del aire exterior: la válvula del tubo de aspiración, privada de la presión del aire, se abre por la fuerza elástica del aire contenido en el tubo de aspiración y en el recipiente. Este aire, esparciéndose uniformemente en todo el espacio que se le ofrece, aumenta por consiguiente de volúmen y disminuye de densidad. En este estado de cosas, la válvula del recipiente se cierra por su propio peso. Si entonces bajamos el pistón, el aire comprimido levanta la válvula del pistón y se lanza en la atmósfera. Si ahora volvemos á levantar el pistón, producirémos una serie de fenómenos iguales, que reproduciremos á voluntad por el mismo medio.

30. **Ley de la rarefacción del aire.** Admitiendo que el cuerpo de bomba tenga igual capacidad que el tubo de aspiración y el recipiente de la máquina, es evidente que al primer juego de la máquina la cantidad del aire interior, que era 1 se habrá convertido en $\frac{1}{2}$, al segundo juego ó embolada en $\frac{1}{3}$, al tercero á $\frac{1}{4}$, al cuarto á $\frac{1}{5}$ etc.; por manera que las restas sucesivas y las cantidades de aire sustraídas formarán una progresion geo-

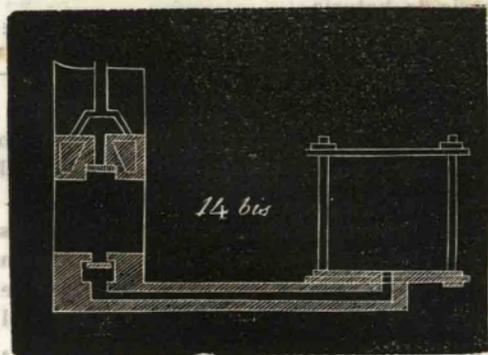
métrica decreciente á lo infinito. De que se deduce que con máquina neumática, por muy perfecta que sea, jamás puede obtenerse un vacío perfecto.



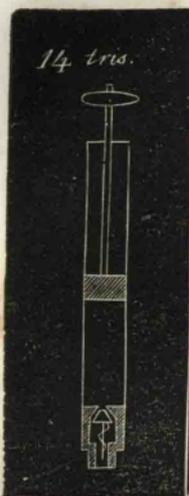
31. Perfecciones sucesivas de la máquina neumática. En la máquina neumática se han hecho varias mejoras; pero la principal fue la de sustituir al cuerpo de bomba, dos que se mueven alternativamente por medio de una rueda dentada: el vacío se opera con mayor rapidez. El tubo de aspiración, que comunica con el recipiente, se bifurca cerca de los dos cuerpos de bomba, y se termina en cada uno de ellos por una abertura única, destinada á recibir la bálbula correspondiente (fig. 13 bis). A la máquina se añade un pequeño barómetro de sifón, llamado *proveta*, que indica el grado de rarefacción.



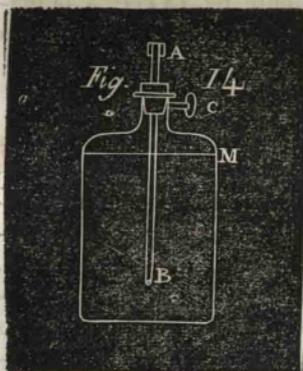
32. Esperiencias. — Hemisferios de Magdebourg. Entre las varias esperiencias que pueden hacerse con la máquina neumática, citaremos algunas que prueban la presión que ejerce el aire atmosférico. Otro de Guericke hizo con su máquina la esperiencia en los hemisferios de Magdebourg. Consisten en dos hemisferios de metal huecos que pueden sobreponerse exactamente (fig. 13 bis a). Mientras que están llenos de aire se separan fácilmente; pero luego que se hace el vacío por medio de la máquina, se adhieren con tal fuerza que dos hombres, tirando en sentido contrario, no pueden separarlos.



33. Máquina de compresión. La máquina de compresión es enteramente semejante á la máquina neumática, con la única diferencia que las bálbulas del pistón y del cuerpo de bomba se abren de arriba abajo en lugar de abrirse de abajo arriba, por cuyo medio se va comprimiendo el aire en el recipiente (fig. 14 bis).



34. Bombas impelentes. El piston de estas bombas (fig. 14 tris) no tiene válvula: en lo alto de la pared lateral del cuerpo de bomba, hay un orificio colocado algo mas abajo del limite hasta donde puede correr el piston. Cuando se levanta el piston se forma debajo un vacío, que se llena tan luego como el piston sube mas arriba del orificio: al bajar el piston, el aire interior se comprime, abre la válvula inferior y pasa al recipiente.



35. Fuente de compresion. Por medio de una bomba impelente se comprime fuertemente el aire en una basija llena de agua próximamente hasta las tres cuartas partes de su altura, y provista de un tubo que se sumerge en el agua y que se abre al exterior, por un orificio capilar: en el momento que se abre este tubo, el agua salta con violencia y forma un surtidor tanto mas alto cuanto mayor sea la compresion.

36. Escopeta de viento. En esta escopeta, la culata hace veces de recipiente: está provista de una válvula que se abre hácia dentro. Una bomba impelente sirve para comprimir el aire de la culata. Despues de cargada la bomba se sustituye por una especie de batería.

37. Aerostatacion.—Estension del principio de Arquímedes. Este principio es tan verdadero para los gases como para los líquidos. Examinemos sus consecuencias.

38. Consecuencias.—1.ª Cuando se pesa un cuerpo en el aire, no obtenemos el peso real, sino el exceso del peso del cuerpo sobre el peso del volúmen del aire que desaloja. El *baroscopio* comprueba esta verdad.

2.ª Cuando un cuerpo se halla sumergido en el aire, pueden suceder tres cosas: 1.ª que el cuerpo pese mas que el aire que desaloje. Entonces cae con una fuerza igual al exceso de su peso sobre la impulsión del flúido: 2.ª que el cuerpo pese tanto como el aire que desaloje. Entonces la impulsión del flúido equilibra el peso del cuerpo, y este queda suspendido en la atmósfera,

y 3.^a que el cuerpo pese menos que el volúmen del aire desalojado. En este caso el cuerpo se eleva y su fuerza ascensional tiene por medida el exceso del peso del aire desalojado sobre el del cuerpo.

39. **Globos aerostáticos.** En esta última consecuencia está fundada a teoría de los *globos aerostáticos*, que siendo mas ligeros que el aire que desalojan, se elevan en la atmósfera. Los globos se componen generalmente de una cubierta de papel, y mejor de tafetan engomado, que presentan despues de hinchados una forma esferoidal: el hemisferio superior está recubierto de una red de cuerdas destinadas á sostener la barquilla que lleva el aeronauta, el lastre y los instrumentos de observacion. El globo debe llenarse con un gas mas ligero que el aire.

40. **Mongolfieras.** Los primeros globos fueron inventados por Montgolfier, por lo cual se llamaron *montgolfieras*, los cuales se llenaban con aire caliente.

41. **Globos de gas hidrógeno.** Se ha sustituido con ventajas al aire caliente el gas hidrógeno, cuerpo el mas ligero que se conoce, pues pesa catorce veces menos que el aire próximamente. En este caso el globo tiene en su parte superior una bálbula que el aeronauta puede abrir para disminuir la fuerza ascensional. Cuando por el contrario quiere aumentarla, aligera el lastre, que consiste en sacos de arena. Una especie de paraguas, llamado *paracaidas*, completa todo el aparato aerostático.

41. **Viajes aerostáticos.** El mas célebre de estos viajes fue el que hizo M. Gay Lussac en 1804, elevándose hasta 7,000 metros. En esta altura el barómetro bajó de 76 cent., 52 á 32 cent., 88; el termómetro que en el momento de la subida marcaba 30°, bajo á 10° bajo cero; y la sequedad del aire era tal, que todas las sustancias higrométricas, como el papel y el pergamino, perdian su humedad, se arrugaban y ponian como si se hubiesen aplicado al fuego.

§. IX. Hidrodinámica.

1. Qué es hidrodinámica?—2. Salida de los líquidos: cuál es el teorema de Toricelli?—3. Cómo se demuestra este teorema?—4. En qué consiste la contraccion de la vena flúida?—5. Descripción de la vena líquida.—6. Qué consecuencias se deducen del teorema de Toricelli?—7. En qué consiste el vaso de Mariotte?—8. En qué consiste la fuente de Héron?—9. Qué es un sifon?—10. Qué es un sifon intermitente?—11. En qué consiste una fuente intermitente?—12. Qué son las bombas? cuántas clases hay de bombas?—13. Qué es la bomba aspirante?—14. En qué consiste el juego de la bomba?—15.Cuál debe ser la altura del piston sobre el pozo?—16. Qué es una bomba aspirante é impelente?—17. Qué es una bomba impelente y en qué se emplea?

1. **La hidrodinámica** es la parte de la mecánica que trata del movimiento de los flúidos. Solo examinaremos rápidamente un solo caso particular del movimiento de los líquidos.

2. **Salida de los líquidos.** Supondremos que un líquido

contenido en una *vasija* que se mantiene *constantemente* llena sale por un *orificio circular* y de poco grueso.

Teorema de Toricelli. En este caso la velocidad de que estan animadas sus moléculas á su salida del orificio es igual á la que hubiera adquirido un cuerpo pesado bajando en descenso libre desde el nivel del líquido al orificio de salida. Tal es el *teorema de Toricelli*.

3. Demostracion. Para demostrar este teorema puede añadirse al orificio un tubo encorvado hácia arriba, y se ve entonces que el líquido se lanza próximamente á la altura del nivel. Ahora bien: la velocidad inicial de una molécula lanzada verticalmente es igual á la velocidad que adquiriria volviendo á caer.

Sin embargo, calculando la cantidad de agua que corre en un tiempo dado, y la que debería salir por la velocidad indicada en el principio sentado, se ve que la salida efectiva es solo los 0,6 ó 0,7 de la salida obtenida por la teoría. Esta diferencia no la destruye, puesto que es efecto de la *contraccion de la vena flúida*.

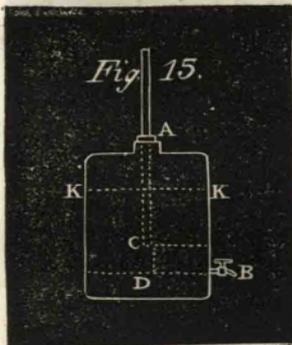
4. Contraccion de la vena flúida. Si consideramos una *vena líquida*, horizontal ó vertical, y la seguimos desde el momento en que sale del orificio hasta que comienza á separarse en gotas, veremos que á su salida su diámetro es exactamente igual al diámetro del orificio; pero luego va contrayéndose poco á poco, de manera que á una distancia igual al diámetro del orificio su seccion con su plano perpendicular á su eje no es mas que los $\frac{2}{3}$ de una seccion igual en el orificio. La causa de esta contraccion es la convergencia de los hilos líquidos que componen la vena.

5. Descripcion de la vena líquida. Su primera parte es siempre llena, continua, clara y semejante á una barra del mas puro cristal; mas luego se vuelve opaca, y se divide por efecto de la resistencia del aire y de la aceleracion de la velocidad que toman las moléculas entre sí.

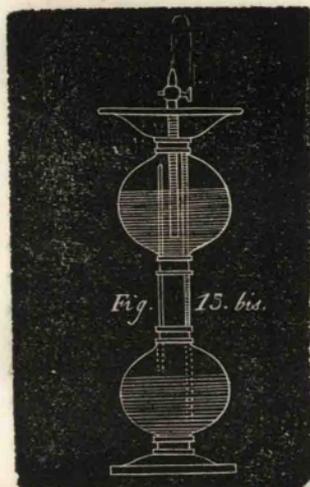
6. Consecuencias del teorema de Toricelli. 1.^a La velocidad de la salida y corrida de un líquido solo depende de su altura y cantidad sobre un orificio, y de ningun modo de la naturaleza del líquido, puesto que los cuerpos, cayendo de la misma altura con el vacío, adquieren la misma velocidad. Por consiguiente, un vaso tardará igual tiempo en vaciarse, ya esté lleno de agua, ya de mercurio.

2.^a Las velocidades de la corrida de los líquidos en cantidad y alturas distintas son proporcionales á la raíz cuadrada de sus alturas sobre el orificio. Una salida constante supone, pues, un nivel constante.

7. **Vaso de Mariotte.** Está destinado á obtener un nivel constante. Consiste en un vaso con dos orificios A y B: el primero cerrado herméticamente por un tapon atravesado por un tubo abierto por ambos lados y metido en el líquido de que está lleno el vaso. Cuando el aparato se halla en la posición en que se ve dibujado en la fig. 15, el líquido sale por el orificio B como si cayera de una altura CD. Se ve, pues, que es suficiente introducir mas ó menos el tubo en el líquido para hacer variar la velocidad de la salida que permanece constante hasta que el nivel KK haya bajado á C.



ya bajado á C.

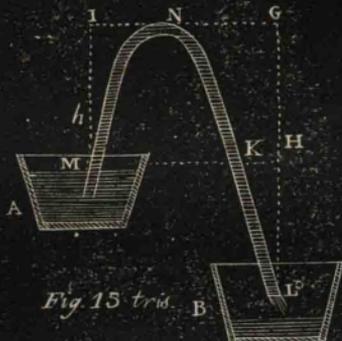


8. **Fuente de Héron.** Es un aparato ingenioso destinado á hacer subir el líquido sobre su nivel exterior por medio de la elasticidad de una columna de aire comprimido. La figura 15 bis manifiesta la disposición que generalmente se da á este aparato.

M. Girad ha inventado unas lámparas llamadas *hidrostáticas* en las cuales el aceite sube á la mecha por medio de una fuerza ascensional constante, que consiste en una ingeniosa modificación de la *f fuente de Héron*.

9. **Sifones.** El *sifon* es un instrumento destinado á trasvasar los líquidos. Consiste en un tubo corvo de cristal ó metal con dos brazos desiguales. Veamos su mecanismo:

Supongamos (fig. 15 tris) un líquido que deseamos trasvasar del vaso superior A al inferior B por medio de un sifon. La primera operacion será aspirar el aire por el brazo largo, formar dentro del tubo el vacío, y el líquido de la vasija A impelido por la presión atmosférica subirá hasta N, donde bajará en virtud de su propio peso por el brazo largo á la vasija inferior B. Es necesario que el brazo corto del sifon tenga menos altura que la columna á que la presión atmosférica puede elevar el líquido, segun su densidad; por manera que si el líquido es agua, la altura vertical debe ser menor que 32 pies, y siendo mercurio, que 76 centímetros



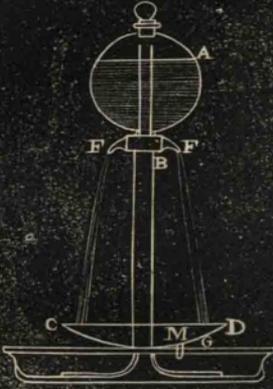
ó 32 pulgadas. La figura está dispuesta para demostrar matemáticamente el mecanismo del sifon. En efecto, sea P la presión atmosférica ejercida en el punto M: h la presión ejercida en sentido contrario por la columna líquida. MNP la presión atmosférica que hace subir de nuevo el líquido en el punto L y H la presión de la columna líquida L N, que obra en sentido contrario. De que se deduce que el líquido tenderá á pasar de A á B con una fuerza $P-h$; y del B á A con una fuerza $P-H$. Por consiguiente, podrán suceder tres cosas, á saber: $H > h$, $H = h$ ó $H < h$. En el primer caso el líquido se trasladará de A á B; en el segundo quedará en equilibrio, y en el tercero retrocederá de B á A.

ó 32 pulgadas. La figura está dispuesta para demostrar matemáticamente el mecanismo del sifon. En efecto, sea P la presión atmosférica ejercida en el punto M: h la presión ejercida en sentido contrario por la columna líquida. MNP la presión atmosférica que hace subir de nuevo el líquido en el punto L y H la presión de la columna líquida L N, que obra en sentido contrario. De que se deduce que el líquido tenderá á pasar de A á B con una fuerza $P-h$; y del B á A con una fuerza $P-H$. Por consiguiente, podrán suceder tres cosas, á saber: $H > h$, $H = h$ ó $H < h$. En el primer caso el líquido se trasladará de A á B; en el segundo quedará en equilibrio, y en el tercero retrocederá de B á A.



10. **Sifon intermitente.** La figura 17 manifiesta uno de esta especie. Su mecanismo es igual al de la

Fig. 18.



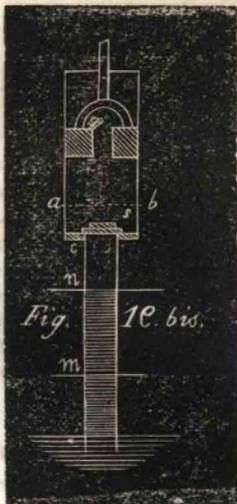
11. Fuente intermitente. Llámase así un aparato compuesto de un vasija A (fig. 18) con varios orificios pequeños, cuya vasija se halla sostenida por el punto B con un tubo soldado al platillo CD. Por B entra el aire destinado á reemplazar el agua que sale por D. Si se coloca el agua en CD permitiéndole salir por una aberturita G; si además el tubo B tiene en M un orificio, es claro que mientras haya agua en CD, la entrada del aire en el vaso A es imposible. La salida por las aberturas F se detiene luego que el agua corre por G; el aire puede entrar por M y venir á reemplazar el agua que sale por F. Esta misma teoría explica las fuentes intermitentes naturales.

12. Bombas. Las bombas son unos aparatos destinados á elevar el agua. Se conocen tres especies principales, á saber: *bomba aspirante*, *bomba impelente*, *bomba aspirante é impelente*.

13. Bomba aspirante. Se compone de cuatro partes: 1.^a un gran cilindro llamado cuerpo de bomba; 2.^a un tubo de aspiracion sumergido en el agua del pozo; 3.^a un piston ó émbolo, y 4.^o dos bálbulas que se abren hácia arriba. El espacio que media entre la parte mas inferior á que puede bajar el piston y el cuerpo de bomba se llama *espacio perjudicial*.

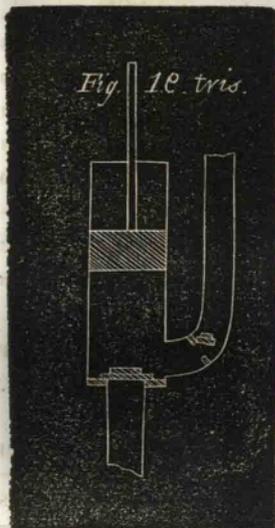
14. Juego de la bomba. Supongamos (fig. 19 bis) que alzamos el piston partiendo del límite inferior *a b*: el

aire contenido en el *espacio perjudicial acb* se dilata, y la bálbula *s* se abre por el esceso de tension del aire contenido en el tubo de aspiracion, y la presion atmosférica hará subir el agua en el tubo de aspiracion hasta que la elasticidad del aire interior y el peso del agua elevada equilibre la presion atmosférica. Si luego bajamos el piston, el aire comprimido abre la bálbula superior y se incorpora á la atmósfera; y alzando de nuevo el piston se reproducen los mismos fenómenos, y el agua que se habia ya elevado hasta *m* sube hasta *n*, y así sucesivamente hasta que penetra en el cuerpo de bomba y llena enteramente el *espacio perjudicial*. Entonces si se baja el piston, el aire que queda debajo de él es espulsado enteramente, y el agua pasa sobre el



piston; por manera que cuando en lo sucesivo se levante este, el agua subirá con él impelida por la presión del aire exterior, elevando en cada ascension un volúmen igual al espacio que recorra.

15. Altura del piston sobre el pozo. No puede exceder de 32 pies ó de 10^m, 336, porque es la mayor elevacion á que la presión atmosférica puede hacer subir el agua en el vacío.



16. Bomba aspirante é impelente. En esta bomba el piston no tiene bálbula. La parte inferior del cuerpo de bomba comunica con un tubo lateral, llamado *tubo de ascension*. Una bálbula que se abre de dentro afuera establece ó intercepta la comunicacion entre el tubo de ascension y el cuerpo de bomba. La teoría es la misma que la de la bomba aspirante, solo que luego que el agua llega al cuerpo de bomba, en vez de subir sobre el piston, este la impele de continuo al tubo de ascension (fig. 19 tris).

17. Bomba impelente. Es idéntica á la que acabamos de describir, solo que carece del tubo de aspiracion; y el cuerpo de bomba se sumerge directamente en el depósito de agua. Asi son las bombas de los incendios.

SECCION SEGUNDA.—ACCIONES MOLECULARES.

§. I. Adhesion.—Capilaridad.

1. Qué es atraccion? Qué nombres toma la atraccion?—2. Qué se entiende por esfera de actividad en las acciones moleculares?—3. Cómo se subdivide la atraccion molecular?—4. Qué es cohesion?—5. Qué es afinidad?—6. Cómo se comprueba la adhesion de los cuerpos sólidos entre sí?—7. Y la de los líquidos?—8. Y la de los gases?—9. Qué es capilaridad y sus principales hechos?—10. Cuáles son las leyes de los fenómenos capilares?—11. Cuáles es la causa de estos fenómenos?—12. Cómo se demuestra?—13. Cuáles son los fenómenos de movimiento que se explican por la capilaridad?—14. Cuál es el origen de las atracciones y repulsiones de los cuerpos flotantes?—15. Cómo se demuestra?—16. Qué hechos se explican fácilmente por la capilaridad?

1. Atraccion. Todos los cuerpos de la naturaleza tienden á lanzarse unos hácia los otros en virtud de una fuerza universal, des-

conocida en su esencia, y á la cual Newton ha llamado *atraccion*. Esta fuerza toma los nombres de

Gravitacion, cuando se ejerce entre las masas planetarias; de

Pesantez ó *gravedad*, cuando se ejerce entre las masas del globo terrestre y de los cuerpos colocados en su superficie; de

Atraccion molecular, cuando obra entre los elementos materiales de los cuerpos á distancias insensibles.

2. Acciones moleculares. — Esfera de actividad de las moléculas. Cada molécula de un cuerpo ejerce sobre las moléculas que la rodean una accion que solo se estiende hasta una distancia infinitamente pequeña. Si al rededor de esta molécula, como centro, describimos una esfera con un radio igual á la distancia, maximum á que se deja sentir la atraccion molecular, tendremos lo que se llama *esfera de actividad* de las moléculas.

3. La atraccion molecular se subdivide en *cohesion*, *afinidad* y *adhesion*.

4. Cohesion. La *cohesion* es la adherencia que se ejerce entre las partes homogéneas, simples ó compuestas, de un cuerpo, y que se opone á su separacion.

5. Afinidad. La *afinidad* es la atraccion que se ejerce entre las moléculas heterogéneas de un cuerpo compuesto.

6. Adhesion. La *adhesion* es la atraccion que se ejerce entre dos cuerpos separados, homogéneos ó heterogéneos, que se ponen en contacto.

7. Adhesion de los cuerpos sólidos entre sí. Muchos ejemplos podrian citarse. Dos balas de plomo recién cortadas y colocadas la una sobre la otra adhieren fuertemente. Dos discos de cristal bien lisos adquieren igual adherencia. En las fábricas de cristales los que se colocan unos sobre otros adhieren tan fuertemente, que muchas veces no pueden separarse sin romperse. Estas esperiencias hechas en el vacío dan los mismos resultados, de que se deduce que no son efecto de la presion atmosférica.

7. Adhesion de los sólidos con los líquidos. Si suspendemos al platillo de la balanza hidrostática un disco de cristal, y hacemos que su superficie toque á un líquido, veremos que se establece entre el líquido y el cristal una adherencia que solo puede vencerse poniendo en el platillo opuesto de la balanza un peso bastante notable.

8. Adhesion de los gases con los sólidos. Basta para hacer visible esta propiedad conocer la que tienen muchos cuerpos porosos, como el carbon, de absorber los gases.

9. Capilaridad. La *adhesion* de los cuerpos sólidos con los lí-

quidos en contacto da origen á una serie de fenómenos particulares, llamados *capilares*. Tales son los hechos siguientes:

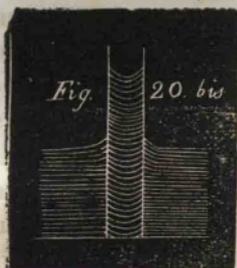
1.º Si introducimos una barrita de cristal en el agua, al retirarla queda suspendida á ella una gota de agua redondeada. Es efecto de la atraccion del cristal con la primera capa líquida y de esta con las demas.

2.º Introduciendo en un líquido un cuerpo susceptible de ser mojado por él (una lámina de cristal en el agua) se nota que el líquido se eleva al rededor de la superficie exterior del cuerpo, formando una especie de anillo cóncavo.

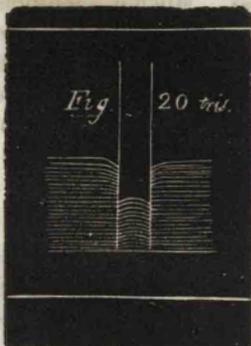
3.º Si por el contrario, el cuerpo no es susceptible de ser mojado por el líquido (cristal y mercurio), el líquido se deprime al rededor del cuerpo.

Observacion. Los fenómenos capilares toman un carácter mas notable cuando se observan en tubos estrechos. Las primeras observaciones se hicieron en tubos tan estrechos, cuyo diámetro era poco mas que el de un cabello, y de aqui el nombre de *fenómenos capilares* con que se conocen.

4.º Si sumergimos un tubo ancho de cristal en una masa de agua, el nivel de éste líquido estará en un mismo plano horizontal,



asi fuera como dentro del tubo; pero si estrechamos progresivamente este, notaremos: 1.º que la parte plana de la superficie interior disminuirá poco á poco hasta desaparecer enteramente; 2.º que el nivel interior va subiendo mas y mas con la disminucion del diámetro del tubo, y 3.º que el líquido interior toma en su superficie la forma de un segmento hemisférico cóncavo, llamado *menisco cóncavo* (fig. 20 bis).



3.º Si por el contrario se introduce el tubo en un líquido que no le moje, como el mercurio, los fenómenos tienen lugar en un orden inverso. El mercurio se deprimirá en lo interior del tubo, y su superficie presentará un segmento esférico convexo, llamado *menisco convexo* (fig. 20 tris). Dos láminas de cristal planas y paralelas sumergidas en el agua ó en el mercurio, cuando se aproximan lo bastante, dan origen á los mismos fenómenos: sin embargo, la ascension ó depresion del líquido entre las dos láminas solo es igual á la mitad de lo que seria en un tubo de igual diámetro.

10. Leyes de los fenómenos capilares.—1.ª Los fenómenos capilares tienen tambien lugar en el vacío.

2.ª La elevacion y depresion de un líquido en un espacio capilar es independiente de la densidad del cuerpo en que está con contacto.

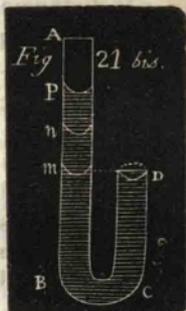
3.ª Si mojamos un tubo de un diámetro constante, sea cual fuere la na-

turalza del cuerpo que le forme, los líquidos de una misma naturaleza se elevan siempre igualmente.

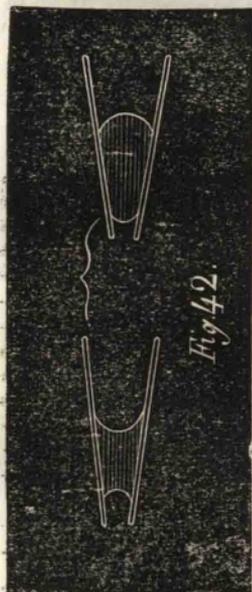
4.^a Las alturas de las columnas líquidas elevadas ó deprimidas están en razón inversa de los diámetros de los tubos. La experiencia comprueba estas leyes.

11. Causa de los fenómenos capilares. La ascension y la depresion de un líquido en un espacio capilar depende de la forma de su curvatura, la cual depende á su vez de la relacion que existe entre la atraccion de las moléculas del tubo con el líquido y de la de estas entre sí.

12. Demostracion. Tómesese el tubo de cristal ABCD (fig. 21 bis)



llénese de agua el brazo pequeño hasta que la superficie cóncava de este líquido envase el borde D del tubo. El brazo mayor contendrá agua hasta la misma altura. Derrámese mas líquido por este brazo hasta que la superficie de D sea plana. Entonces el nivel del líquido en el brazo mayor subirá una cierta cantidad mn . Si añadimos todavía mas agua hasta que este líquido termine en D en una superficie convexa, cuya curva sea igual á la superficie cóncava primitiva, y el nivel se elevará á una cantidad mp , doble de mn . Lo que demuestra la teoría sentada.



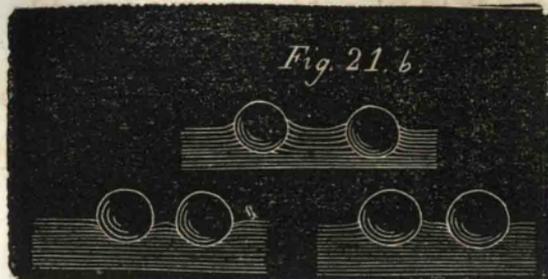
13. Fenómenos de movimientos producidos por la capilaridad. Una gota de agua colocada entre dos láminas inclinadas de cristal forman en cada uno de sus extremos un *menisco cóncavo* y corre hácia el vertical del ángulo que forman las láminas (fig. 42).

Si el líquido no moja las láminas el menisco será convexo y el líquido huirá el vértice del ángulo (fig. 42).

14. Atracciones y repulsiones. Las atracciones y repul-

siones que experimentan los cuerpos flotantes tienen su origen en los fenómenos capilares.

15. **Demostracion.** Colóquense dos cuerpos esféricos (fig. 21 bis) en la superficie de un líquido, y



observaremos los fenómenos siguientes: 1.º Si ambos cuerpos flotantes son mojados por el líquido, se atraerán fuertemente a la distancia capilar. 2.º Si el líquido no les moja se atraerán también a la distancia

capilar. 3.º Y finalmente, si uno de los cuerpos flotantes es mojado y el otro no, habrá entre ambos una viva repulsion. En el primer caso, la superficie del líquido a la distancia capilar entre las dos esferas será cóncava; en el segundo convexa, y en el tercero, parte cóncava y parte convexa.

16. **Aplicaciones.** Se esplican fácilmente por los fenómenos capilares los hechos siguientes. Las agujas de acero que flotan en el agua, á pesar del exceso de su peso específico. Los insectos flotantes. La imbibición de las esponjas de la leña, del azúcar y de un poco de arena, cuyas bases toquen en un líquido. El movimiento de la savia en los vegetales. La ascension del aceite en la mecha de una lámpara, etc.

SECCION TERCERA.—ACÚSTICA.

§. I. *Acústica.*—*Produccion y propagacion de los sonidos.*

1. Qué es acústica?—2. Qué es el sonido considerado con relacion al órgano que le percibe?—3. Qué es el sonido considerado ya en el cuerpo que le produce, ya en el que le trasmite?—4. Probar la primera parte de la definicion anterior.—5. Qué consecuencia se deduce de esta prueba?—6. Cuál es el limite del sonido?—7. En qué se diferencia el sonido musical del ruido?—8. Qué se entiende por intensidad y timbre del sonido?—9. Cómo se propaga el sonido?—10. Se trasmite el sonido en el vacío?—11. Se trasmite en los gases y los vapores?—12. Cuál es propiamente el vehículo del sonido?—13. Se trasmite en los líquidos?—14. Y en los sólidos?—15. Qué otros hechos ha confirmado la esperiencia?—16. Qué hay que observar respecto á la propagacion del sonido en un medio cilindrico y en un espacio sin limites?—17. Todos los sonidos graves ó agudos se propagan con la misma velocidad en el mismo medio?—18. Cómo se mide la velocidad del sonido?—19. Qué es la reflexion del sonido?—20. Cuáles son las leyes de la reflexion del sonido?—21. Qué se entiende por resonancia y eco?—22. Qué son ecos simples y múltiples y de qué son efecto estos?

1. La *acústica* tiene por objeto estudiar la produccion y propagacion de los sonidos, y las leyes de las vibraciones de los cuerpos sonoros.
2. El *sonido*, considerado con relacion al órgano que le percibe, es

una sensacion excitada en nosotros por una cierta modificacion en la materia ponderable.

3. El *sonido*, considerado ya en el cuerpo que le produce, ya en el cuerpo que le trasmite, es el resultado de un movimiento vibratorio impreso á la materia ponderable.—Vamos á demostrar sucesivamente las dos partes de esta definicion.

4. **Produccion del sonido.** 1.º *El sonido es el resultado de un movimiento vibratorio en el cuerpo que le produce.*

Demostracion. Si fijamos en un torno una larga lámina de acero, y la abandonamos á sí misma despues de separarla de su posicion de equilibrio, comenzará á oscilar tan lentamente, que la vista podrá contar sus oscilaciones, aunque el oido no percibirá ningun sonido; pero disminuyendo la longitud de la parte vibrante, haremos sus oscilaciones cada vez mas rápidas, de manera que la vista dejará de percibir las, cuando el oido distinguirá un sonido distinto que, en un principio grave, se irá haciendo mas agudo á medida que la lámina vibrante se haga mas corta y las vibraciones mas rápidas.

5. **Consecuencia.** Dedúcese, pues, que un *sonido* es tanto mas agudo cuanto mas rápidas sean las vibraciones del cuerpo sonoro que le produce, y tanto mas *grave* cuanto mas lentas sean aquellas.

6. **Límites de los sonidos.** Las esperiencias de M. Savart han demostrado que el sonido mas grave que nuestros órganos pueden percibir es el de 16 vibraciones y el mas agudo el de 48,000.

7. **Sonido musical.—Ruido.** El primero exige que las vibraciones sean no solo rápidas, sino continuas, isocronas, y que vengan á afectar nuestro órgano en intervalos iguales y periódicos. El *ruido* no necesita ninguna de estas condiciones.

8. **Intensidad y timbre.** Dos *sonidos musicales* correspondientes á un mismo número de vibraciones por segundo se llaman *unisonos*; pero pueden aun distinguirse por dos calidades nuevas, la *intensidad* y el *timbre*. Un no sé qué indefinible que diferencia entre sí los sonidos unisonos constituye su *timbre*.

La *intensidad* ó fuerza del sonido parece depende del tamaño de las vibraciones.

9. **Propagacion del sonido.** 2.º *El sonido es el resultado de un movimiento vibratorio en el cuerpo que le trasmite.*

Demostracion. Si un observador se coloca á la cabeza de una hilera de soldados, colocados en una misma línea á ciento cincuenta ó doscientos pasos unos de otros, y que á una señal dada descargan todos simultáneamente sus fusiles, percibirá, no una sola detonacion, sino en intervalos iguales, primero la detonacion del fusil mas próximo, luego la del segundo, luego la del tercero, etc. De que se deduce que el sonido se propaga sucesiva é uniformemente al rededor del centro de comocion en que tuvo origen, y que el *movimiento* es el carácter esencial de su trasmision.

10. Dedúcese de aquí que el *sonido no puede transmitirse en el vacío*. Y en efecto, si se hace sonar una campanilla después de hecho el vacío con la máquina neumática, ningún sonido se percibe; que va apareciendo por grados á medida que se devuelve el aire al recipiente.

11. La experiencia prueba igualmente que el sonido se transmite también en los gases y en los vapores.

12. Aunque el aire es el vehículo del sonido, se propaga también en los *líquidos* y en los *sólidos*.

13. **En los líquidos.** Choquése dos piedras en lo interior de un estanque, y el ruido se percibirá.

14. **En los sólidos.** Si dos personas se colocan á las estremidades de una larga viga, y la una rasca en ella con un alfiler, la otra oirá este ligero ruido con tal que tenga el oído aplicado al otro extremo del madero. Sustituyendo á la viga un largo cilindro metálico podrá sostenerse una conversación entre dos personas á una voz casi imperceptible. Un golpe de martillo al otro observador percibirá dos: el primero con más rapidez le será transmitido por el metal; el segundo, con más lentitud por el aire.

15. Finalmente, diremos que en virtud de nuevas experiencias se ha comprobado:

1.º *El sonido se propaga en un medio elástico por una serie de ondas alternativamente condensadas y dilatadas.*

2.º *La longitud de una onda sonora es igual al espacio que recorre el sonido durante una vibración del cuerpo que le produce.*

16. **Observación.** Estas dos propiedades del sonido existen considerando la propagación del sonido en un medio cilíndrico; pero considerando la trasmisión del sonido en un espacio indefinido en todos sentidos, concluiremos que debe propagarse al rededor del centro de comoción por una serie de ondas condensadas y dilatadas, que en vez de desarrollarse en una dirección misma, se extenderán esféricamente al rededor del punto puesto en vibración.

Cuando el sonido se propaga en el aire libre, la masa que hay que mover, haciéndose cada vez mayor, la velocidad impresa se debilita gradualmente, y la intensidad del sonido decrece con la distancia. Pero cuando la masa de aire que sirve de vehículo al sonido es cilíndrica, las ondas sonoras conservan siempre una misma estension, distancias y velocidades iguales; lo que M. Beot comprobó en los tubos de los acueductos de París sobre una columna de aire cilíndrica de 951^m de longitud. Las palabras pronunciadas en voz baja á uno de sus extremos se oían clara y distintamente en el otro extremo.

17. **Velocidad de la propagación del sonido.** *Todos los sonidos graves ó agudos se propagan con la misma velocidad en un mismo medio.*

Demostración. En efecto, es evidente que una frase musical está su-

jeta á cierta medida que arregla exactamente el intervalo de los sonidos sucesivos. Si alguno de estos se propagara con mayor rapidez que los demas, á cierta distancia, la medida se destruiria y la melodía se alteraria horriblemente: sin embargo, sabemos que en un concierto esto no sucede nunca, luego es claro que los sonidos deben propagarse con una velocidad igual.

18. Medida de la velocidad del sonido. Siendo la velocidad de la luz, como luego veremos, de 80000 por segundo, el instante en que se percibirá por un observador á una distancia corta un fenómeno luminoso será en el instante mismo en que aparezca. Por consiguiente, contando en un tiro de cañon el intervalo trascurrido entre la aparicion de la luz y la audicion del ruido, tendremos rigurosamente el tiempo empleado por el sonido para llegar del paraje de la detonacion al oido del observador. Midiendo pues esta distancia, dividiéndola por el número de segundos, tendremos el espacio recorrido por el sonido en un segundo, y por consiguiente su velocidad. Las esperiencias hechas con este objeto dieron por resultado:

1.º *Que en un mismo medio, y á una misma temperatura, el sonido se propaga uniformemente.*

2.º *Que la velocidad del sonido aumenta cuando la temperatura sube.*

3.º *Que á la temperatura de 10.º centígrados el sonido recorre uniformemente 337 metros por segundo.*

Velocidad del sonido en los líquidos. Es de 1435.^m por segundo, segun las esperiencias de MM. Sturm y Colladon.

Velocidad del sonido en los sólidos. Es mayor que en los líquidos, segun lo demuestran algunas condiciones teóricas.

19. Reflexion del sonido. Cuando los rayos sonoros hallan un obstáculo, son *reflejados* en virtud de una ley general que se aplica á todos los movimientos de los cuerpos elásticos.

20. Leyes de la reflexion del sonido. 1.ª En un mismo plano el rayo incidente y el rayo reflejado son siempre perpendiculares á la superficie reflejante.

2.ª El ángulo de reflexion es siempre igual al ángulo de incidencia.

21. Resonancias y ecos. La reflexion del sonido da lugar á dos efectos: las *resonancias* y los *ecos*.

Es fácil convencerse que es imposible pronunciar 10 sílabas en un segundo, ó bien una sílaba en menos de una décima de segundo. Puesto que el sonido recorre 33.^m, 7 en 0,1 de segundo, es claro que hallándose un observador á 17.^m de distancia de un muro capaz de reflejar el sonido, si pronuncia una sílaba, tardará en ir y venir justamente el tiempo necesario para pronunciarla. Luego la sílaba reflejada llegará al oido al instante mismo en que la sílaba pronunciada dejará de oirse. Sin embargo, si el cuerpo reflejante está á menor distancia que á 17.^m del observador, el sonido reflejado se confundirá con el directo y no podrán distinguirse: en este caso se producirá una *resonancia*, cuyo efecto será prolongar el sonido. Si por el contra-

rio, es mayor que 17.^m, ambos sonidos serán perfectamente distintos, y se formará entonces un verdadero *eco*. Sin embargo, á una distancia de 17.^m el *eco* solo repite una sílaba, y se llama *monosílabo*; á 34.^m dos, y se dice *bisílabo*, á 51.^m tres, etc., y se llama *polisílabo*.

22. Los *ecos* se distinguen tambien en *simples* y *múltiplos*. Los primeros solo repiten una vez el sonido; los segundos los repiten varias veces de seguida. Los *ecos múltiplos* son formados generalmente por dos obstáculos opuestos, como dos muros paralelos, por ejemplo, que se envían alternativamente los sonidos, como dos espejos paralelos se envían las imágenes de los objetos.

§. II. *Leyes de las vibraciones de las cuerdas. Vibracion del aire en los tubos.*

4. Cuáles son los instrumentos destinados á comparar numéricamente los sonidos por medio de las cuerdas vibrantes?—2. Cuáles son las leyes de las vibraciones de las cuerdas?—3. Cómo se forma la escala natural?—4. Cómo se caracterizan los tonos y semitonos de la escala?—5. Qué son sostenidos y bemoles?—6. Cómo se demuestra la vibracion del aire en los tubos?

1. **Cuerdas vibrantes.—Sonómetros.** Unas cuerdas metálicas tirantes y sujetas por sus extremos, y colocadas sobre una caja rectangular hueca con una clavícula destinada á disminuir su longitud, son los instrumentos llamados *sonómetros*, destinados á comparar numéricamente los sonidos por medio de las *cuerdas vibrantes*.

2. **Leyes de las vibraciones de las cuerdas.** El número de vibraciones que ejecuta una cuerda en un tiempo dado, y por consecuencia el sonido correspondiente, depende de cuatro elementos, á saber: la *densidad de la cuerda*, su *diámetro*, su *tension* y su *longitud*.

El cálculo ha demostrado las cuatro leyes siguientes:

1.^a El número de vibraciones de dos cuerdas es proporcional á la raíz cuadrada de su densidad cuando los demas elementos son iguales.

2.^a Este mismo número es proporcional á su diámetro cuando los demas elementos son iguales en ambas cuerdas.

3.^a Este mismo número bajo iguales condiciones es proporcional al peso ó fuerza que estire las dos cuerdas.

4.^a Finalmente, este mismo número es proporcional á la longitud de las cuerdas que tienen todos los demas elementos iguales.

Escala. Sentado esto, la longitud de las cuerdas para producir los diversos sonidos de la *escala natural* estará representada por los números siguientes.

Notas. do re mi fa sol la si do

Longitud de las cuerdas. 1 $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{2}{15}$ $\frac{1}{3}$

Y llamando 1 el número de vibraciones correspondientes al sonido fundamental *do*, tendremos :

Notas. do re mi fa sol la si do

Número de vibraciones. 1 $\frac{2}{3}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{2}{3}$ $\frac{3}{5}$ $\frac{15}{8}$ 2

5. **Tonos y semi-tonos.** Los intervalos de las notas sucesivas de la escala estan caracterizados por las razones, y toman los nombres siguientes:

	9							
<i>do-re</i>	—	10	9	16	15	9	14	9
	8		10		9		16	
<i>re-mi</i>	—	9	16	15	9	14	9	16
	8		9		16		15	
<i>mi-fa</i>	—	16	15	9	14	9	16	15
	8		9		16		15	
<i>fa-sol</i>	—	9	16	15	9	14	9	16
	8		9		16		15	
<i>sol-la</i>	—	16	15	9	14	9	16	15
	8		9		16		15	
<i>la-si</i>	—	9	16	15	9	14	9	16
	8		9		16		15	
<i>si-do</i>	—	16	15	9	14	9	16	15
	8		9		16		15	

6. **Sostenidos y bemoles.** Para *sostener* una nota, esto es, elevarla un semi-tono, es necesario multiplicar el número de vibraciones que le corresponden por $\frac{2}{11}$ y por $\frac{2}{15}$ para *bemolizarla*, esto es, para bajarla un semi-tono. Lo primero se llama un *sostenido*, lo segundo un *bemol*.

7. **Vibracion del aire.** El aire no es únicamente el vehículo del sonido, sino que puede entrar el mismo en *vibraciones sonoras*. Esto se comprueba en todos los instrumentos de viento.

Demostracion. Para demostrar que en dichos instrumentos es únicamente el aire el que se pone en vibracion, y engendra el sonido, basta observar tubos de órganos de igual longitud y diámetro, pero de sustancias diferentes, como boj, metal, carton, etc., y hacerles resonar: todos dejan percibir el mismo sonido; y únicamente varía el timbre, lo que quizá sea efecto de un ligero movimiento vibratorio que se comunica á las paredes del tubo.

PARTE SEGUNDA.

CUERPOS IMPONDERADOS.

SECCION I.—CALÓRICO.

§. I. *Efectos generales. Dilatabilidad. Termómetros. Pirómetros.*

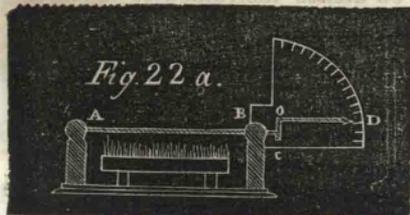
1. A qué se llama calórico?—2. Cuáles son los efectos generales del calórico?—3. Dilatabilidad.—Demostrar esta propiedad: 1.º en los sólidos; 2.º en los líquidos; 3.º en los gases.—4. A qué se llama temperatura?—5. A que se llaman termómetros?—6. En qué está fundado el principio de la construcción del termómetro?—7. Qué cuerpo es preferible para la construcción del termómetro?—8. Descripción del termómetro de mercurio.—9. Cómo se gradúa este termómetro.—10.Cuál es la escala centigrada?—11. Y la de Reaumur?—12. Y la de Fahrenheit?—13. Cómo se convierten estas escalas?—14. Cuáles son los límites del termómetro de mercurio?—15. Termómetro de alcohol y su límite.—16 y 17. Del termómetro de gas y del diferencial.—18. Termómetro de Rumford.—19. Qué son pirómetros?—20. Pirómetro de cuadrante.—21.—Pirómetro de Wedgwood.—22. A qué grados del centigrado corresponde el cero del pirómetro, y cuántos grados centigrados vale uno del pirómetro?

1. Llámase *calórico* la causa desconocida de las impresiones de calor y frio que experimentan nuestros órganos.

2. **Efectos generales del calórico.** Este agente, que los físicos asimilan á un fluido material, aunque irascible é imponderado, ejerce su influencia en todos los seres del reino orgánico é inorgánico. Las *combinaciones y descomposiciones químicas* dan origen á una larga serie de fenómenos de que se ocupa la ciencia química.—La *dilatacion y cambio de estado* determinan otra serie de hechos puramente del orden físico de que vamos á ocuparnos.

3. **Dilatabilidad.** *Todos los cuerpos se dilatan, es decir, aumentan de volumen por el calórico, y se contraen, esto es, disminuyen de volumen por el enfriamiento.*

Demostracion. 1.º Sólidos. El *pirómetro de cuadrante* sirve para



verificar esta demostracion (fig. 22 a). Una barra metálica AB sujeta por el extremo A, y libre por el opuesto, que toca en un brazo de palanca CO, moviéndose el COD por un cuadrante graduado. Calentando la barra, si el calor es bastante fuerte, la parte OD recorre

en pocos momentos todo el cuadrante.