

piñones y de ruedas dentadas que constituyen el mecanismo particular del aparato. Para mayor sencillez hemos suprimido en el grabado las ruedas intermedias.

PP' es el péndulo ó regulador del movimiento. Las oscilaciones se transmiten por medio de la horquilla ó pieza movable *f* y del árbol ED á la pieza ABC, que por su forma ha recibido el nombre de *áncora*. ABC oscila, pues, de igual modo que el péndulo mismo, y como sus dos extremos AC se encorvan de suerte que se introducen en-

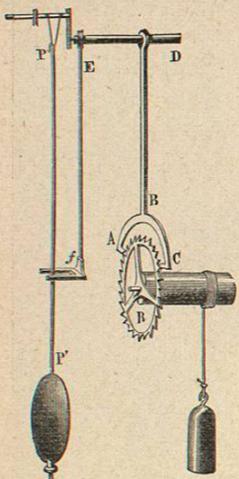


Fig. 140.—Mecanismo del péndulo regulador

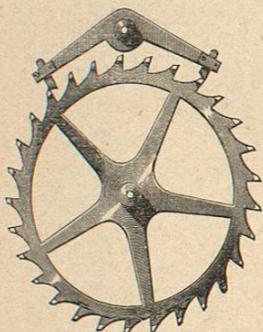


Fig. 141.—Escape de áncora

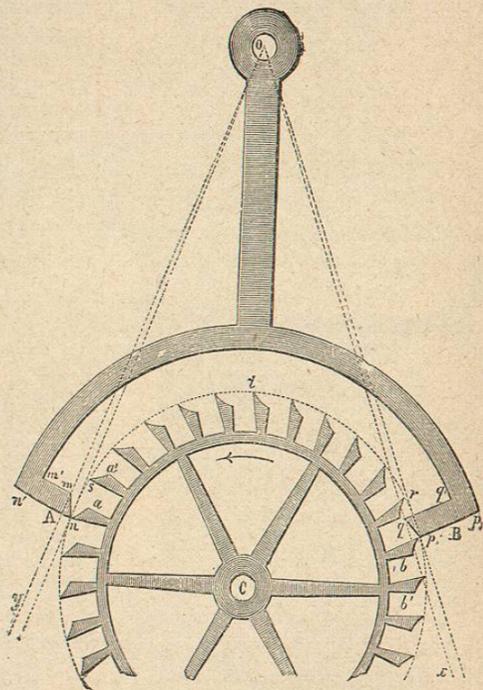


Fig. 142.—Escape de áncora

tre los dientes de la rueda R, mientras uno de estos dientes se apoya en la cara superior de uno de los extremos del áncora, el movimiento de la rueda queda suspendido. A cada oscilación del áncora, se desprende un diente de la rueda detenida de tal suerte, y el movimiento sigue su curso, de modo que este movimiento, que sería continuo si se debiera solamente á la acción de la pesa motora, se vuelve periódico, siendo la duración de cada período la de una oscilación del péndulo. Como estas oscilaciones son isócronas, lo es también el movimiento de la rueda dentada y el de todas las demás del mecanismo. Pero la disposición de las piezas A y C (figs. 141 y 142) es tal que á cada período el diente de la rueda que se afianza en una de ellas para escapar, comunica parte de su movimiento al áncora y luego al péndulo, cuyas amplitudes son por lo tanto

constantes y cuyas oscilaciones no cesan sino cuando el motor, pesa ó muelle, cesa de actuar.

La duración de estas oscilaciones depende, como ya sabemos, de su longitud, y esta longitud se determina en cada reloj con arreglo á la conexión que existe entre el minuterero y la *rueda de encuentro*, llamada también *rueda de escape*.

Vese por lo que precede que la función del péndulo consiste en regularizar el movimiento del motor de los relojes, repartiendo este movimiento continuo en una serie de otros oscilatorios separados por intervalos de reposo de corta duración, también espaciados por igual, de suerte que el período tiene una duración constante como la de las oscilaciones isócronas del péndulo.

Hemos dicho anteriormente que el ilustre Huygens fué quien ideó el aplicar el péndulo como regulador de los relojes. En 1657 presentó á los Estados de Holanda un reloj regulado por el péndulo, y al año siguiente publicó una obra sobre tan importante aplicación. Pero hasta diez y seis años después, es decir, en 1673, no apareció el admirable tratado *De horologio oscillatorio ex Christiano Huygenio*, en el que se demuestran las propiedades de isocronismo de las pequeñas oscilaciones pendulares, y las del péndulo cicloidal, acerca del cual diremos algunas palabras.

Según antes hemos visto, la pesa motora del reloj es la que, por medio de la rueda de escape, comunica un leve impulso al péndulo á cada oscilación, y le mantiene así en movimiento; á no ser por esto, las oscilaciones disminuirían poco á poco de amplitud y el péndulo acabaría por pararse. Pero todavía hay otras causas de desigualdad, porque los impulsos del motor pueden variar por diferentes motivos; de lo cual resulta que las amplitudes de dichas oscilaciones pueden disminuir, y por lo tanto ser menor su duración, aun cuando no variase la longitud del péndulo, siguiéndose de aquí que el reloj adelantaría.

Huygens buscó y halló el medio de subsanar esta dificultad merced á un admirable descubrimiento que, por desgracia, no se ha podido adoptar á causa de las dificultades que en su aplicación presenta. Nos referimos á la invención del péndulo cicloidal, así llamado porque está basado en una propiedad de la curva geométrica llamada *cicloide*.

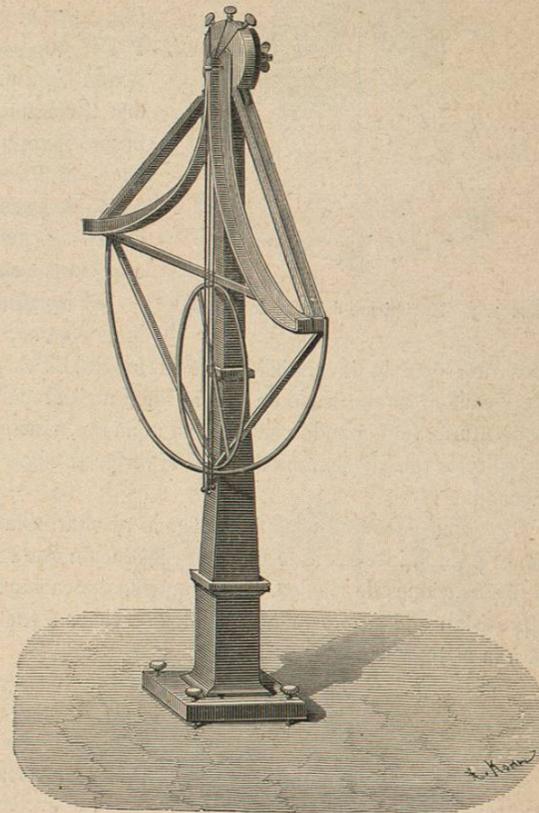


Fig. 143.—Movimiento del péndulo cicloidal

Consiste en un péndulo (fig. 143) cuya varilla es una hoja metálica flexible suspendida entre dos piezas sólidas que tienen la forma de dos arcos de cicloide tangentes en su punto de origen. Al oscilar, la hoja metálica se enrolla en cada uno de estos arcos, y la longitud del péndulo queda así disminuída en una proporción que depende de la amplitud de las oscilaciones. Huygens averiguó que si el círculo generador de los arcos de cicloide tiene precisamente por diámetro la mitad de longitud de oscilación del péndulo (fig. 144), el centro de éste describe un arco $P''PP'$ que es á su vez un arco de cicloide. Ahora bien, un cuerpo pesado que al descender traza un arco de esta clase, invierte el mismo tiempo en llegar al término de su carrera en P, cualquiera que sea la altura del punto de partida. En una palabra, las oscilaciones del péndulo son siempre isócronas, y este isocronismo independiente de la amplitud.

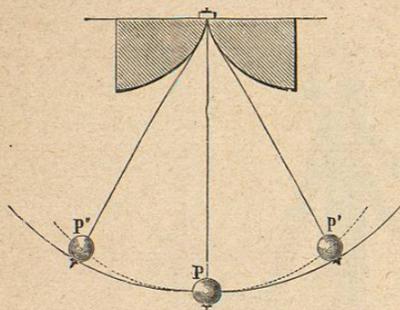


Fig. 144.—Movimiento del péndulo cicloidal

El isocronismo de las oscilaciones pendulares supone, además de la pequeñez de los arcos descritos, la invariabilidad de la longitud del péndulo mismo. De aquí nace otra dificultad que procede de que la longitud del péndulo varía en realidad con la temperatura, aumentando cuando ésta aumenta, y acortándose cuando disminuye. En los capítulos que dedicaremos al *Calor* veremos cómo se consigue vencer esta nueva dificultad.

Terminaremos este artículo haciendo resaltar la inmensa importancia del descubrimiento y de la invención de Huygens, invención que ha sido á su vez consecuencia de las observaciones de Galileo. Desde aquella época ha llegado á ser la relojería un arte de precisión que ha prestado señalados servicios á todas las ciencias físicas y en especial á la astronomía.

IV

MOVIMIENTO DE ROTACIÓN DE LA TIERRA Y DESVIACIÓN APARENTE DEL PÉNDULO

En la primera parte de esta obra hemos mencionado varias aplicaciones de las propiedades y de las leyes del péndulo á la solución de diferentes problemas que tienen relación con la física del globo. Réstanos decir unas cuantas palabras acerca de un experimento que, hace unos cuarenta años, llamó en gran manera la atención del público, por más que sólo fuese comprensible para las personas científicas. Nos referimos á la demostración práctica del movimiento de rotación de la Tierra en virtud de la desviación de un péndulo, demostración ideada y llevada á cabo por León Foucault.

El experimento de que hablamos está basado en un principio de mecánica que, aplicado al movimiento de rotación de un esferoide como la Tierra, se resume en estas tres proposiciones:

1.^a Un péndulo situado en uno de los polos de la Tierra, y cuyo punto de suspensión estuviese en la prolongación del eje de rotación terrestre, oscilaría de modo que el plano de sus oscilaciones sucesivas conservaría realmente en el espacio una dirección invariable. Así pues, un observador colocado en dicho polo, viéndose llevado por la

rotación de la Tierra sin tener conciencia de su propio movimiento, creería notar que el péndulo oscilaba en planos variables que coincidirían sucesivamente con todos los meridianos; transcurrido un día sidéreo, es decir, después de veintitrés horas y cincuenta y seis minutos de tiempo medio, le parecería que el plano de oscilación del péndulo había efectuado una revolución completa alrededor de la vertical y en un sentido precisamente contrario al de la rotación real.

2.^a En el ecuador sucedería lo contrario; el movimiento de rotación del globo no ejercería influencia alguna en la dirección aparente del plano de las oscilaciones, que parecería y estaría en efecto inmóvil con relación al horizonte.

3.^a Por último, la teoría demuestra que á una latitud diferente de 90° ó de 0° la desviación aparente del plano de las oscilaciones del péndulo se efectuaría en la misma dirección que en el polo más próximo; sólo que esta desviación sería tanto más lenta cuanto más próximo al ecuador estuviese el lugar del experimento. El cálculo demuestra que en París (latitud $48^\circ 50'$) el péndulo invertiría unas treinta y dos horas en dar la vuelta entera al horizonte, haciendo por supuesto abstracción de retrasos ocasionados por el roce en el punto de suspensión y por la resistencia del aire.

Pues bien: León Foucault comprobó este resultado en París, en 1851, bajo la cúpula del Panteón. El sabio físico preparó su experimento, que atrajo gran número de curiosos, del modo siguiente. En una placa metálica puesta en el punto culminante del interior de la cúpula encajó sólidamente un alambre de acero de 64 metros de

longitud, de cuyo extremo inferior pendía una esfera de latón muy pesada (fig. 145). Desviado de su posición natural y abandonado á sí mismo, este péndulo ejecutaba con gran lentitud una serie de oscilaciones en un plano cuya invariabilidad la demuestra la teoría, según hemos dicho antes. En la hipótesis de la inmovilidad de la Tierra, la orientación primitiva de este plano debería de haber sido constante. Pues bien, los numerosos testigos de este curioso experimento pudieron notar la desviación aparente de Oriente á Occidente del plano vertical en el cual oscilaba el péndulo. En una hora, el arco que marcaba esta desviación era, á muy corta diferencia, el que indicaba la teoría, esto es: $11^\circ 17'$. Un punzón metálico fijo en la parte inferior de la bola del péndulo rasaba poco á poco en sentido contrario con dos montoncitos de arena puestos en una galería circular y en los extremos de un mismo diámetro; de suerte que la desviación aparente del plano de las oscilaciones, dimanada del movimiento de rotación de nuestro globo y

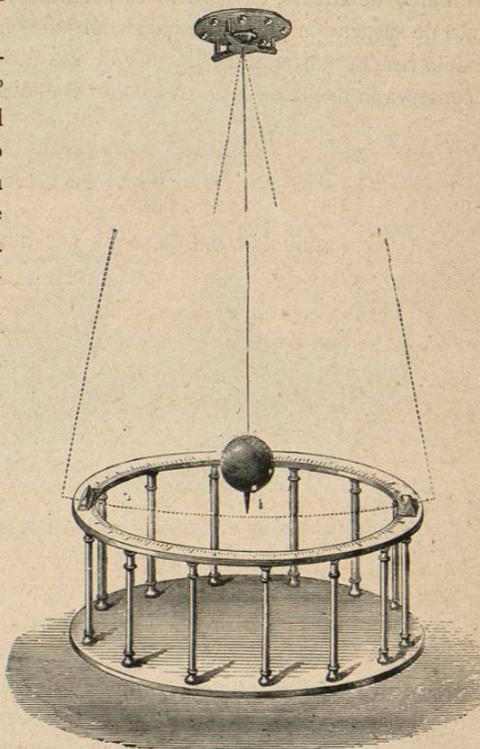


Fig. 145.—Péndulo de León Foucault

por consiguiente esta relación misma, eran visibles á los ojos de todos los presentes (1).

Hoy se reproduce el experimento de León Foucault haciendo uso de péndulos de dimensión mucho menor. Una condición esencialísima de esta reducción de longitud consiste en el modo de suspensión, la cual debe permitir al péndulo oscilar libremente en todos los azimuts, requisito que llena enteramente la suspensión *á la Cardán*. Verifícase de un modo muy ingenioso la anotación gráfica de las desviaciones; la bola del péndulo lleva en su parte inferior un punzón fino y flexible cuya punta rasa con la superficie de una cinta de papel ennegrecida con negro de humo, pegada á la superficie de un arco de círculo, cuyo radio es precisamente la longitud comprendida entre el punto de suspensión y la extremidad del punzón flexible. La dirección del plano del péndulo resulta marcada, á cada una de sus oscilaciones, con una rayita blanca, y así se conserva la huella de las desviaciones continuas y sucesivas de dicho plano.

CAPÍTULO II

MEDICIÓN DEL PESO DE LOS CUERPOS.—LA BALANZA

“De la precisión de las pesas y medidas depende el perfeccionamiento de la química, de la física y de la fisiología. Las pesas y medidas son jueces inflexibles que predominan sobre todas las opiniones basadas únicamente en observaciones imperfectas.”

(J. MOLESCHOT: *La circulación de la vida.—Indestructibilidad de la materia.*)

I

CENTROS DE GRAVEDAD.—EQUILIBRIO DE LOS CUERPOS PESADOS

Hemos visto en la primera parte de este tomo que la gravedad obra del mismo modo en todos los cuerpos, cualesquiera que sean la forma, tamaño y naturaleza de su substancia. Podemos, pues, considerar todo cuerpo pesado como la agregación de una multitud de moléculas, cada una de las cuales está sometida individualmente al influjo de la gravedad. Todas estas fuerzas iguales actúan paralelamente, de suerte que producen el mismo efecto que una fuerza única y de intensidad igual á la suma de todas ellas. Esta resultante de todas las acciones de la gravedad compone el *peso* del cuerpo. El punto á que dicha resultante se aplica, y que lleva el nombre de *centro de gravedad del cuerpo*, es el que se necesita sostener para que éste no pierda el equilibrio, sea cualquiera la posición que ocupe. Dicho punto no está siempre situado en el interior del cuerpo mismo, sino que en ciertos casos se halla fuera, en un sitio independiente de la masa material.

Puede ser interesante y á menudo muy útil conocer la posición del centro de gra-

(1) León Foucault ha hecho evidente de otro modo el principio de rotación de la Tierra, basándose en un principio análogo de mecánica. El aparato á que aludimos ha recibido el nombre de *giroscopio*. El lector encontrará su descripción y teoría en los tratados de mecánica más recientes. (*N. del A.*)—También está descrito dicho aparato en la obra *El Telescopio moderno*, publicada por nuestra casa editorial. (*N. de los E.*)

vedad de un cuerpo. En el caso en que la materia de que éste está compuesto sea homogénea en todas partes y su forma simétrica ó regular, la averiguación del centro de gravedad es puramente asunto de geometría. Veamos cuáles son las más comunes de estas formas.

Una *línea recta* pesada tiene su centro de gravedad en medio de su longitud. En realidad, la línea material es prismática ó cilíndrica; pero en el caso en que el espesor

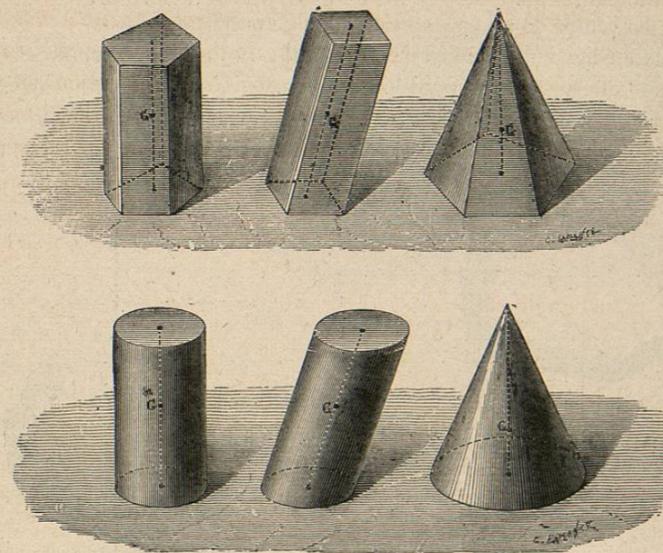


Fig. 146.—Centros de gravedad de un prisma, un cilindro, una pirámide y un cono

sea muy pequeño, relativamente á la longitud, se puede prescindir de él sin inconveniente. La misma observación podemos hacer con respecto á las superficies muy delgadas, á las que se considera como figuras planas ó curvas sin espesor ó grueso.

El *cuadrado*, el *rectángulo*, el *paralelógramo*, tienen sus centros de gravedad en el punto de intersección de sus diagonales. El *triángulo* lo tiene en el punto de encuentro de las líneas que van á parar desde cada vértice á la mitad del lado opuesto, es decir, en el tercio de cualquiera de estas líneas á partir de la base. Si estas superficies estuvieran reducidas á sus contornos exteriores, la posición de los centros de gravedad

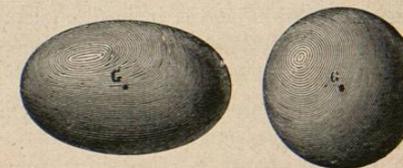


Fig. 147.—Centros de gravedad de un elipsoide de revolución y de una esfera

no cambiaría. El centro de figura de un *círculo* ó de un *anillo circular* ó de una *elipse* es al mismo tiempo su centro de gravedad. En el anillo circular tenemos un ejemplo del centro de gravedad situado fuera del espacio ocupado por la materia del cuerpo.

Los cilindros *rectos* ú *oblicuos*, los *prismas regulares*, los *paralelepípedos*, tienen sus centros de gravedad en la mitad de su eje (fig. 146). El de la *esfera* ó del *elipsoide* de revolución está en su centro de figura (fig. 147). Lo propio podemos decir de una *esfera hueca*, es decir, del centro de gravedad de un sólido comprendido entre dos