

misferio austral, se encaminaron Godín, Bouguer y La Condamine, siendo auxiliados en sus trabajos por los famosos oficiales de marina españoles D. Jorge Juan y D. Antonio de Ulloa, ambos capitanes de fragata, los cuales publicaron el resultado de sus observaciones en un volumen impreso en Madrid en 1748; el grado medido en el Perú por Ulloa y su compañero alcanzó una longitud de 56,767 toesas, que equivalen á metros 110,639. Lacaille midió otro grado en 1752 en el cabo de Buena Esperanza, encontrándolo de 57,037 toesas, que son 111,116 metros. En la India inglesa obtuvo el coronel Lambton en 1803 como longitud del grado 110,630 metros; algunos años después, también en la India, se midió un arco de meridiano de extensión considerable, que dió como valor del grado 110,652 metros. En tiempo de la invasión francesa se hallaban en España Biot y Arago continuando la medida del arco de meridiano que partía de Dunkerque, medida que efectuaron en medio de los mayores peligros y dificultades.

Como vamos viendo, la longitud de un arco de un grado no es igual en todos los puntos de la Tierra, luego ésta no puede ser rigurosamente esférica; por otra parte, la magnitud de los grados crece constantemente del ecuador á los polos según demuestra el cuadro que sigue, comprensivo de la longitud de un grado en distintos puntos de la meridiana medida del Observatorio de Greenwich hasta la isla de Formentera en las Baleares.

NOMBRE DE LOS ARCOS	LATITUDES MEDIAS	LONGITUD DEL ARCO DE UN GRADO EN METROS
Formentera á Monjuich.	40° 0' 49"	111.008
Monjuich á Carcasona	42 17 20	111.018
Carcasona á Evaux	44 41 48	111.050
Evaux á París	47 30 46	111.250
París á Dunkerque.	49 56 29	111.266
Dunkerque á Greenwich.	51 15 24	111.285

La longitud del arco de un grado de meridiano aumenta, como muestra esta tabla, de un modo constante, desde los 40° de latitud hasta los 51°, variación que continúa aún fuera de estos límites, como lo indica el cuadro siguiente, que resume los resultados de las triangulaciones efectuadas en toda la extensión de un hemisferio.

PAISES	LATITUDES MEDIAS	LONGITUD DEL ARCO DE UN GRADO EN METROS
Laponia.	66° 20' 10"	111.477
Rusia.	56 24 56	111.360
Inglaterra.	52 2 20	111.224
Francia y España.	46 8 6	111.143
India.	22 36 32	110.668
Bengala.	12 32 21	110.631
Perú.	1 31 1	110.582

Se demuestra, pues, que la Tierra no es precisamente esférica, sino que se halla achatada hacia los polos y ensanchada por el ecuador, toda vez que el tamaño del arco de un grado crece con la latitud, de suerte que los meridianos, en vez de ser circunferencias de círculo, son curvas que se aproximan mucho á la forma de una elipse según se ve en la fig. 94, cuyas proporciones son, sin embargo, muy exageradas.

Pero ¿podemos asegurar que la forma del elipsoide terrestre sea regular y perfecta, esto es, la engendrada por un sólido de revolución? Si así fuese, los arcos de un grado medidos en un mismo paralelo de latitud, deberían tener el

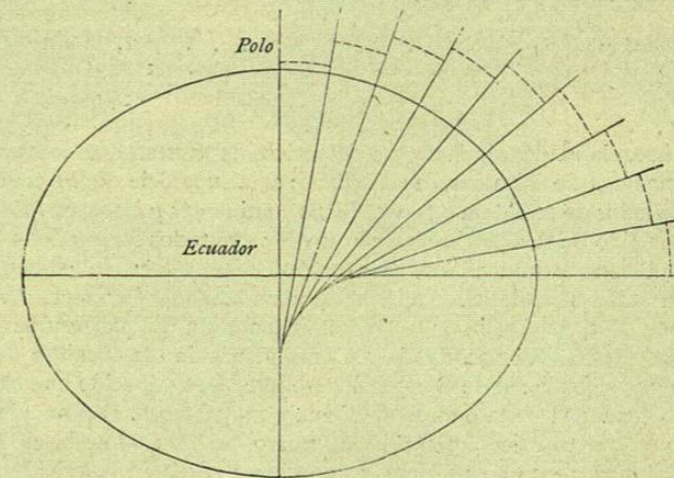


Fig. 94. - Forma elíptica de los meridianos terrestres

mismo tamaño ó magnitud en todos los meridianos, lo cual, sin embargo, no sucede. Si se comparan, por ejemplo, las medidas del arco de Hannover entre Goetinga y Altona, y el arco de Inglaterra entre Bleinheim y Clifton, se encuentra:

	Latitudes medias	Longitud del arco de un grado en metros
Hannóver	52° - 32' - 16"	111,343
Inglaterra	52 - 38 - 59	111,224

Comparando los arcos de Dinamarca entre Lavenburgo y Lyssabbel y de Prusia entre Trunz y Memel, se tiene

	Latitudes medias	Longitud del arco de un grado en metros
Dinamarca	54° - 8' - 13"	111,277
Prusia	54 - 58 - 26	111,376

El arco meridiano de Dinamarca debería ser mayor que el de Hannóver y la medida directa ha dado un valor más pequeño; por otra parte, las variaciones que presentan estos cuatro arcos, comparados dos á dos, son de sentido contrario. No puede, por lo tanto, decirse que la Tierra presenta regularmente la forma de un sólido de revolución, ni que los meridianos sean rigurosamente iguales entre sí.

En los países montañosos suelen presentar las triangulaciones diferencias considerables que dependen de la atracción universal; así, por ejemplo, en Italia, en las inmediaciones de los Alpes, los geómetras Plana y Carlini hallaron como longitud del arco de un grado á una latitud media de $44^{\circ} 27' 29''$:

Longitud calculada	111,120 metros
» observada	112,434 »
Diferencia	1,314 metros

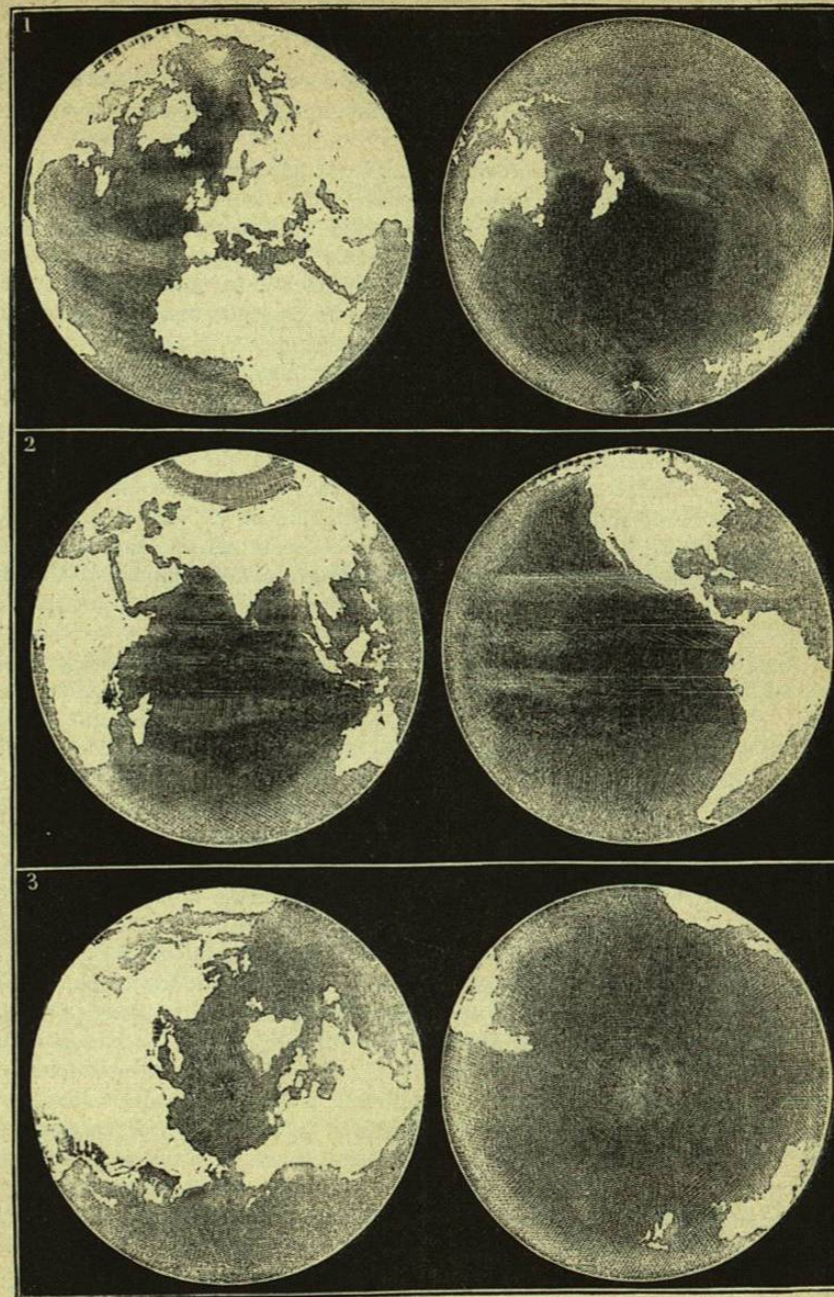
Ni las irregularidades de la forma del esferoide terrestre se contraen tan sólo á las medidas de los arcos de meridiano; si la superficie de los mares prolongada alrededor de la Tierra á través de los continentes y las islas, fuese exactamente un sólido de revolución, debería suceder que todos los paralelos correspondientes á cada latitud representasen círculos perfectos; sin embargo, las diversas operaciones geodésicas emprendidas para la medición directa del grado en varios paralelos, revelan irregularidades semejantes á las que resultan de las mediciones de las meridianas. Santiago Cassini determinó la longitud del arco de paralelo que se extiende de Brest á Estrasburgo, determinación que sirvió de fundamento para una carta ó mapa de Francia muy famosa. Esta medición se ha repetido en nuestros tiempos con gran esmero, prolongándose hasta Suiza y Alemania. El mayor arco de paralelo medido hasta el día se refiere al paralelo llamado medio, porque se halla situado en la latitud de 45° próximamente, y con toda exactitud en la de $44^{\circ} 16' 48''$. El extremo occidental de este arco se encuentra situado en las costas francesas del Océano, cerca de Burdeos, y su extremo por el lado opuesto termina en Austria en las inmediaciones de Fiume, ciudad de la Istria. El arco total tiene una amplitud de $15^{\circ} 32' 27''$ y una longitud de 1.210,673, que da para el arco medio de un grado 77.903 metros.

Las dimensiones que representan mejor la figura del elipsoide terrestre son:

Semi-eje mayor	6.377.398 metros
Semi-eje menor	6.356.080 »
Diferencia	21,318 metros

La relación de la diferencia del eje mayor de la elipse con el menor es de $\frac{1}{298,15}$ ó en números redondos $\frac{1}{300}$ que es á lo que se llama achatamiento de la Tierra; si representamos á nuestro planeta por una esfera que tenga 1.000 milímetros de diámetro ecuatorial, habría que reducir el diámetro polar á $998^{\text{mm}},33$, diferencia imperceptible á la simple vista, por cuya razón en todos los dibujos y modelos se representa á nuestro globo como una esfera perfecta, sin que por ello resulte inconveniente alguno sensible.

La elipse meridiana presenta un desarrollo total de más de 40.000.000 de



EL GLOBO TERRESTRE

DISTRIBUCIÓN DE LOS CONTINENTES Y LOS MARES

1.º Hemisferio terrestre y hemisferio marítimo; 2.º la Tierra vista desde un punto situado en el plano del Ecuador; 3.º la Tierra vista desde la prolongación de ambos polos

metros; debieran ser 40 millones exactos, pero en la medición efectuada por Méchain y Delambre se cometieron algunos errores que fueron descubiertos más tarde.

El radio ecuatorial mide próximamente 6.377.398 metros.

El radio polar 6.356.080 metros.

El radio medio entre el ecuador y los polos, ó lo que es lo mismo, el radio de la Tierra suponiéndola esférica, mide 6.366.786.

El ensanchamiento ecuatorial mide, como hemos visto, un espesor de 21.318 metros, ó en otros términos, el diámetro polar presenta una disminución de 42.636 metros.

Hasta ahora hemos considerado que el movimiento de la Tierra sobre su eje se efectúa precisamente en el intervalo de un día, lo cual dista mucho de ser exacto. Si se mide con la precisión que permite el empleo de los modernos instrumentos astronómicos y de los exactos cronómetros que en la actualidad se construyen, el tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos de una misma estrella por el meridiano de un lugar, hallaremos que no es igual al período de tiempo que emplea el Sol en pasar dos veces consecutivas por el mismo meridiano; en el primer caso obtenemos la duración exacta del tiempo que la Tierra ha necesitado para efectuar una revolución sobre su eje, siendo aquel igual á $23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4^{\text{s}}$, esto es, $3^{\text{m}} 56^{\text{s}}$ menos de 24^{h} .

Toda vez que la forma del planeta terrestre es la de una esfera que gira con una velocidad angular uniforme alrededor de una línea ideal de dirección invariable, deben resultar de semejante movimiento diversas velocidades, que corresponden á distintos puntos de su superficie; en las extremidades del eje de la Tierra, esto es, en los polos, la velocidad de la rotación es nula; desde aquí aumenta constantemente hasta el ecuador, donde alcanza su valor máximo, lo cual se comprende, pues siendo este círculo el mayor paralelo terrestre, claro es que su radio ha de ser también más considerable; en veinticuatro horas aproximadamente, y en $23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4^{\text{s}}$ con toda exactitud, describen un círculo completo todos los puntos situados en la superficie del globo, lo mismo los de la latitud de Madrid, Cádiz ó Barcelona, que los del ecuador ó los círculos polares.

La velocidad de la rotación es uniforme y común para todos los puntos del globo, y es muy fácil averiguar la rapidez con que se mueve cualquier punto de la superficie terrestre, sea en el ecuador ó en otra latitud; para esto, basta reducir á segundos las $23^{\text{h}} 53^{\text{m}} 4^{\text{s}}$, que son 86.164 segundos, y dividir este número, que expresa la duración de la rotación terrestre, por los metros que mida la circunferencia del paralelo, en que esté situado el punto propuesto; por ejemplo, para hallar la velocidad con que gira un punto situado en la misma línea equinoccial, dividiremos 40.070.376 metros, que son los que mide la circunferencia ecuatorial de la Tierra, por 86.164 y obtendremos 465 metros; esta es la velocidad de que están animados los puntos que se hallan precisamente en el ecuador; en Madrid, y en términos generales, en España, la velocidad angular es de 350 metros por segundo, en Islandia de 200 y en el polo nula.

Ya dimos las razones adecuadas para probar que del movimiento de rotación de la Tierra participa también la atmósfera que la rodea; si así no fuera, si los vapores y nubes que encierra permaneciesen inmóviles, mientras que el suelo y

todos los objetos situados en su superficie girasen con la velocidad que para Madrid hemos señalado, de 350 metros por segundo, resultaría en dirección de Este á Oeste, contraria al movimiento terrestre, un viento de igual velocidad, diez veces más impetuoso que los más terribles huracanes; los de las Antillas, y en general de los trópicos, rara vez alcanzan una velocidad superior á 40 metros por segundo, y aun así, arrancan de cuajo árboles seculares y derriban sólidos edificios. Esta velocidad, de que participan todos los puntos que se hallan en la superficie de la Tierra, y que crece progresivamente de los polos hacia el ecuador, daría lugar á la catástrofe más terrible y completa que pudiera imaginarse, si de pronto cesara el movimiento de rotación de nuestro globo; si este imposible se realizara, quedarían destruidos por completo todos los seres organizados, triturados por este terrible choque ó consumidos absolutamente. Un sabio alemán, Helmholtz, ha calculado que la fuerza de rotación de la Tierra convertida en calor por una detención ó parada repentina, bastaría para la combustión total de quince esferas de hulla del tamaño de nuestro globo. Este cálculo es muy á propósito para darnos una idea de la prodigiosa cantidad de movimiento que posee el globo terrestre, en virtud tan sólo de su rotación; la constancia y regularidad de las leyes de la naturaleza nos permiten confiar tranquilamente en que esta exactísima hipótesis jamás se convertirá en terrible realidad.

Dijimos anteriormente que la fuerza centrífuga desarrollada por el movimiento de rotación equilibraba la acción de la gravedad, disminuyendo por consecuencia su intensidad; en el ecuador esta disminución es tal, que un cuerpo que se transporta de los polos á esta línea, sufre ó experimenta en su peso una diferencia igual á $\frac{1}{239}$ de la fuerza ó peso con que todos los cuerpos, ya sólidos, ya líquidos, se precipitan hacia la Tierra. Esta es, pues, la fracción de su peso que debe perder el mar, por ejemplo, en el ecuador, pudiendo así quedar en aptitud de ser sostenido á mayor altura ó más distancia del centro, que en los polos, en donde no existe semejante fuerza contrapuesta á la de gravedad, y en donde, por lo mismo, puede considerarse el agua como específicamente más pesada.

La fuerza centrífuga desarrollada por el movimiento rotatorio de la Tierra produce, como efecto necesario, contrarrestar cierta porción del peso de todo cuerpo situado en el ecuador, comparativamente al peso del mismo en los polos ó en una latitud intermedia cualquiera: conclusión que la experiencia confirma plenamente. Con efecto, se observa que hay diferencia en la gravedad, ó tendencia hacia la Tierra, *de un mismo cuerpo*, cuando sucesivamente se le traslada á parajes que difieren en latitud. Experimentos hechos con el mayor esmero y en todas las partes accesibles del globo, no sólo han demostrado completamente la existencia de un aumento regular y progresivo, en el peso de los cuerpos, correspondiente al aumento de latitud, mas también han fijado sus límites y la ley de su progresión. De ellos se deduce que el límite de esta variación de la gravedad, ó la diferencia entre el peso ecuatorial y polar de una misma masa de materia, es una parte de las ciento noventa y cuatro en que puede dividirse el peso total, siendo el incremento, según vamos del ecuador hasta los polos, proporcional al cuadrado del seno de la latitud. Es natural que el lector trate de averiguar qué entendemos aquí al decir que un mismo cuerpo tiene diferente peso en diversas

estaciones, y cómo un hecho tal, suponiéndolo cierto, puede ser puesto en claro. Cuando pesamos un cuerpo con una balanza ó romana, no hacemos más que contraponer su peso al peso igual ó equivalente de otro cuerpo que se halla en las mismas circunstancias; y si tanto el cuerpo que se quiere pesar, como su contrapeso, fuesen trasladados á otra estación, sus gravedades, dado caso de que experimentasen alguna alteración, se alterarían igualmente, de forma que continuarían todavía contrapesándose el uno al otro. Por tanto, nunca podría descubrirse por este medio una diferencia en la intensidad de la gravedad, ni es en este sentido, como decimos, que un cuerpo que pesase 194 gramos en el ecuador, pesaría 195 en el polo; puesto en equilibrio en el platillo de una balanza en

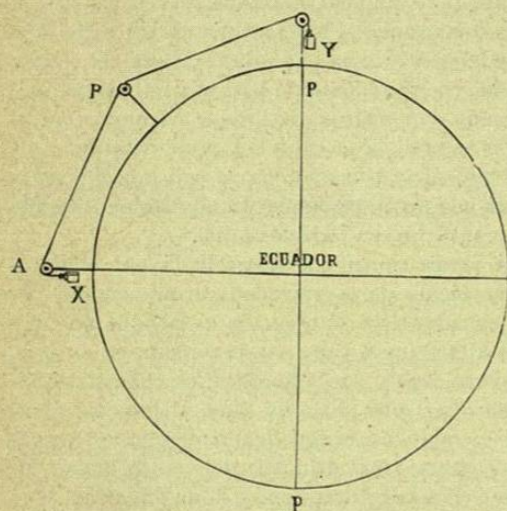


Fig. 95 - Fuerza de gravedad en los polos y en el ecuador

la primera estación, un gramo que se añadiera en la última en cualquiera de los dos platillos, inevitablemente llevaría consigo el fiel.

Podemos, no obstante, demostrar este fenómeno con completa claridad, valiéndonos de ciertos medios adecuados. Imaginemos un peso, X (fig. 95), pendiente en el ecuador de un cordón sin peso, que pase por una polea A, y llevado, suponiéndolo practicable, por medio de otras poleas, como B, alrededor de la convexidad de la Tierra, hasta que el otro extremo viniese á quedar pendiente sobre el polo y allí sostuviese el peso Y. Entonces, si los pesos X é Y fuesen tales

que en una de las estaciones, ecuatorial ó polar, mutuamente se hiciesen equilibrio en una balanza, ó pendientes el uno al lado del otro por medio de una simple polea, en la situación supuesta, ya no podría subsistir el equilibrio, sino que el peso polar Y preponderaría; y para restablecer la equiponderancia, sería necesario aumentar el peso X en $\frac{1}{194}$ de su cantidad.

En el caso presente, como en todos aquellos en que se pretende evaluar las fuerzas mecánicas, podemos manifestar la existencia de la variación de la gravedad, y aun medir á cuánto asciende, por dos distintos métodos, el estático y el dinámico. El primero consiste en poner la gravedad de un cuerpo en equilibrio, no con la del cuerpo, sino con una fuerza natural de diferente género, que no esté sujeta á sufrir alteración por la mudanza de localidad; tal es la fuerza elástica de un muelle.

En la fig. 96 se representa una balanza bastante común, fundada en este mismo principio, la cual se conoce también con el nombre de dinamómetro. Pero el aparato que nosotros necesitamos para medir la fuerza variable de la gra-

vedad terrestre en los polos y en el ecuador tiene que ser mucho más sensible y delicado; sea A B C (fig. 97) una columna ó barra fuerte de bronce, fundida en una pieza con su base A E D, en la cual haya embutido un plano de ágata pulimentado D, dispuesto todo de manera que pueda éste colocarse en una posición exactamente horizontal, por medio de un nivel: cuélguese en C un muelle espiral G, que en su extremo inferior lleve un peso F, pulimentado, y convexo por la parte más baja. El largo y fuerza del muelle debe arreglarse de modo que el peso F quede pendiente de él á corta distancia del plano de ágata, pero sin que llegue á tocarle, aun en la más alta de las latitudes en que se haya de usar el instrumento. En tal estado, añadiendo con tiento pesos pequeños, se le puede hacer bajar hasta que exactamente quede rasante ó en contacto con el plano de ágata, contacto que puede apreciarse con la mayor delicadeza imaginable. Anótese el peso añadido, y desprendiendo con cuidado primero el peso F, y luego el muelle G, de sus respectivos ganchos, guárdese este último con todas las precauciones posibles para preservarlo durante el viaje de la oxidación, sacudidas, ó cualquier otro accidente que pueda alterar su fuerza, y trasladese todo el aparato á una latitud más baja. Volviéndolo á montar aquí, se hallará que á pesar de habersele añadido el mismo peso que antes, ya el cuerpo F no ejercerá la fuerza suficiente para estirar el muelle en la cantidad que se requiere, á fin de producir un contacto semejante; será necesario añadir más peso, y es evidente que la cantidad adicional necesaria para el efecto, medirá la diferencia de la gravedad entre las dos estaciones, cual se ejerce sobre la cantidad pendiente, ésto es, la suma del peso F y la mitad del peso de muelle. Concediendo, pues, que se pueda construir un resorte espiral de tal fuerza y dimensiones que un peso de 10.000 gramos ó 10 kilogramos, incluso el suyo propio, sea capaz de alargarlo 20 centímetros, sin que esta extensión tenga nada de permanente, el peso adicional de un gramo lo alargaría $\frac{1}{800}$ de centímetro, cantidad muy apreciable en un contacto como este de que se trata, y por lo tanto, con este medio podríamos medir la fuerza de la gravedad en cualquiera estación, dentro del límite de $\frac{1}{10000}$ de su cantidad total.

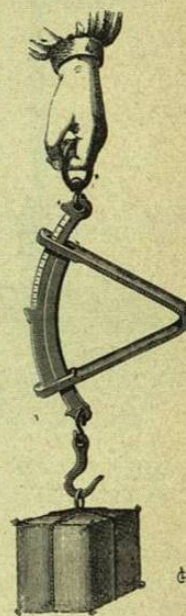


Fig. 96. - Balanza de muelle

El otro procedimiento, esto es, el dinámico, por medio del cual se puede determinar la fuerza que impele á un peso cualquiera dado hacia la Tierra, consiste en averiguar la velocidad que comunica á dicho peso, cuando se le deja caer con toda libertad en un tiempo también dado, como, por ejemplo, en un segundo.

Esto nos obliga á entrar en algunos detalles.

Galileo con sus experimentos sobre la caída de los cuerpos trató de destruir la idea errónea, que existía entre los sabios y físicos de su siglo, de que los cuerpos caían con distintas velocidades según que la substancia de que estaban formados era más ó menos pesada. Observó que la velocidad adquirida va aumen-

tando con las alturas de donde el cuerpo se desprende, y que los espacios recorridos no son simplemente proporcionales á los tiempos empleados en recorrerlos, ó de otro modo, que el movimiento de los cuerpos graves, en lugar de ser uniforme, es un movimiento acelerado.

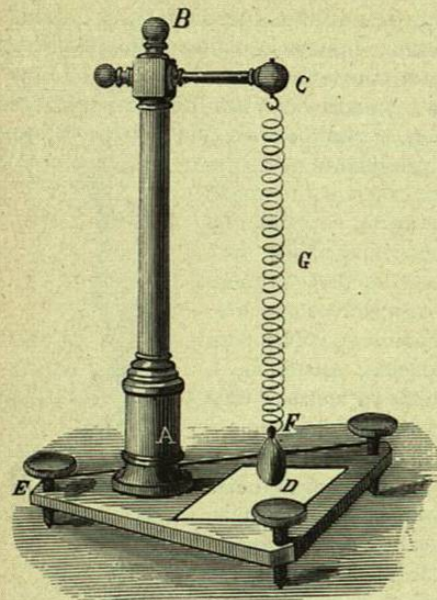


Fig. 97. - Balanza para medir la intensidad de la gravedad en los polos y en el ecuador

abandonado á sí mismo, en un plano que forme ángulo con el horizonte y sometido únicamente á la acción de la gravedad, sigue en su movimiento las mismas leyes que si cayese en sentido vertical, hecha abstracción, en ambos casos, del rozamiento del cuerpo sobre el plano y de la resistencia del aire durante

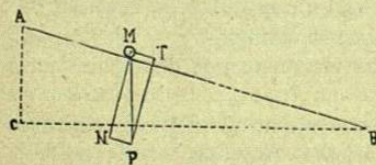


Fig. 98. - Plano inclinado de Galileo

el tiempo que el cuerpo emplea en recorrer su camino. La fuerza que obliga al móvil á recorrer el plano inclinado es la de la gravedad, disminuida en la relación de las dos líneas AC y BC (fig. 98) que miden su altura y su largo. Por ejemplo, en el caso que representa el grabado, la energía de la gravedad está reducida aproximadamente á la cuarta parte de su valor natural. De esta manera fué dable á Galileo medir con holgura los espacios recorridos durante los segundos sucesivos de la caída; el aparato de que se valió se componía de una cuerda muy lisa y suave, que un contrapeso conservaba con la tirantez necesaria, colocada en posición oblicua, de un muro al opuesto, y de un carrito formado por dos poleas y un pequeño peso que los mantenía en equilibrio.

Para hacer evidente Galileo la causa de la desigual rapidez con que caen los diferentes cuerpos, amasó varias bolitas de diversas substancias y las dejó caer al mismo tiempo desde lo alto de la torre inclinada de Pisa, llegando todas á tocar al suelo casi en el mismo momento; desfigurándolas luego, y dándoles otras formas, con lo que cambiaba su extensión superficial, reconoció que caían con velocidades muy desiguales, lo cual le condujo á discurrir que la gravedad obra, efectivamente, sobre todos los cuerpos con la misma fuerza en todos instantes, y que las velocidades deben ser proporcionales á los tiempos, demostrando su hipótesis por un experimento famoso al cual va unido su nombre: el del plano inclinado de Galileo. La rapidez con que los cuerpos pesados se precipitan en su caída, no permitía al ilustre italiano realizar su estudio; pero recordando que un cuerpo pesado

En tiempo de Galileo no se conocía la máquina neumática, por lo que el lustre grande hombre no pudo efectuar su experimento de las bolitas en el vacío; Newton lo realizó y hoy día se demuestra en las clases de física que todos los cuerpos caen con igual velocidad cualquiera que sea su peso. El experimento se realiza del modo siguiente: un tubo de cristal de unos dos metros de largo va cerrado de firme por su parte superior, llevando en el extremo opuesto un casquete de metal con una llave que puede atornillarse en la máquina neumática; se introducen en el tubo varios cuerpos de distintas densidades, como pedacitos de madera, de metal, piedrecillas y plumitas tenues, que van á ocupar el fondo del cilindro; si estando éste lleno de aire, se le invierte con rapidez, todos los cuerpecillos caerán, pero en distintos períodos de tiempo; mas si se repite la operación, extrayendo progresivamente el aire del tubo, se observa que la desigualdad del tiempo de la caída decrece con la rarefacción del medio en que se efectúa. Cuando el vacío es perfecto, todos los cuerpos de diversas densidades que hemos encerrado en el tubo, caen al mismo tiempo (figura 99), oyéndose un solo golpe al llegar al fondo del aparato.

Otro método hay para determinar la diferencia que existe entre la fuerza de gravedad del polo y la del ecuador, que es el del péndulo.

Se cuenta que, siendo Galileo estudiante en la Universidad de Pisa, asistió á una función religiosa que se verificaba en catedral de la misma ciudad; distraídamente sin duda, fijó sus miradas en una magnífica lámpara de bronce, obra maestra de Benvenuto Cellini, que suspendida de una larga cuerda, oscilaba con lentitud ante el altar; poco á poco fué disminuyendo su movimiento, hasta cesar por completo; pero durante las últimas oscilaciones observó Galileo que los arcos descritos por la lámpara eran cada vez de menor amplitud, permaneciendo, empero, constante la duración de las oscilaciones. Más tarde repitió con mejores medios el experimento y descubrió la relación que existe entre esta duración y la longitud de la cuerda que sustenta el peso oscilante. A Huyghens se debe, sin embargo, la teoría matemática de los movimientos del péndulo.

Un péndulo viene á ser, en esencia, un peso material suspendido en uno de los extremos de un hilo inextensible y sin peso; esto es imposible realizarlo en la práctica, pero la teoría lo concibe fácilmente. Fijando el hilo por su extremidad superior, la acción de la gravedad obra sobre el peso y hace que el hilo siga la línea vertical; pero si en un espacio privado de aire lo apartamos de esta direc-

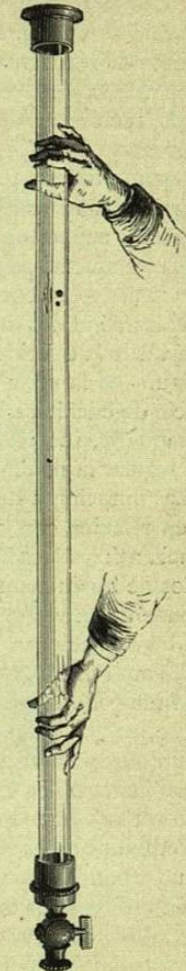


Fig. 99. - Tubo de Newton para demostrar la igualdad de velocidad de los cuerpos que caen en el vacío.

ción, abandonándolo á sí mismo, la fuerza de gravedad continúa obrando sobre el punto material, que cae; pero como el hilo es inextensible, la caída se efectuará á lo largo de un arco de círculo, cuyo centro se encuentra en el punto de suspensión y cuyo radio es la longitud del hilo; el cálculo demuestra que el movimiento debe efectuarse con una velocidad creciente, hasta el momento en que el hilo vuelva á su posición vertical, y que luego, en virtud de la velocidad adquirida, recorre un arco igual al primero, pero con una velocidad decreciente, comenzando entonces un movimiento en sentido inverso, pero perfectamente análogo al primero, toda vez que las circunstancias son las mismas. Este sería el *movimiento continuo* si fuera posible realizar el experimento en las condiciones que hemos supuesto.

A este aparato se da el nombre de péndulo simple por oposición á los péndulos reales, pero compuestos, que son sólo los que pueden construirse y observarse; los péndulos de esta última clase están formados, por lo común, por una lenteja ó bola esférica de metal y por una varilla rígida que encaja en el centro de figura de la masa metálica. La varilla lleva en su extremidad superior una especie de cuchilla triangular que descansa por su filo en un plano duro y pulimentado (fig. 100); de esta suerte están contruídos los péndulos que se emplean para regular la marcha de las máquinas de los relojes.

Las duraciones de las oscilaciones de pequeña amplitud de un péndulo están en relación con su longitud, según una ley descubierta por Galileo, que se enuncia así: las longitudes de los péndulos se hallan en razón inversa de los cuadrados de las duraciones de sus pequeñas oscilaciones. Pero estos dos elementos dependen á su vez de la intensidad de la gravedad en el lugar en que se efectúan las oscilaciones.

De aquí resulta que, si se cuenta con esmero el número de oscilaciones que un péndulo de longitud determinada con rigurosa exactitud, ejecuta en un día sidéreo, se podrá calcular la duración exacta de cada oscilación; supongamos que un observador se transporta del ecuador á los polos; como ya demostramos que la Tierra no es esférica, la distancia que media del observador al centro del globo variará gradualmente y con ella la fuerza de la gravedad, que alcanzará, como dijimos antes, su valor mínimo en los polos; así, por ejemplo, se ha hallado que un péndulo de cierta forma y extensión hace en el ecuador 86.017 oscilaciones en un día solar medio ó 24 horas, y que transferido á los polos, hace el mismo péndulo 86.242 en el mismo tiempo, de donde deducimos, por la ley citada de que las intensidades de las fuerzas están entre sí en razón directa de los cuadrados del número de oscilaciones, que la intensidad de la fuerza que tira del péndulo hacia abajo en el ecuador, es á la que obra de este mismo modo en los polos, como $(86,017)^2$ es á $(86,242)^2$, ó como 1 es á 1,00523. Lo cual equivale á decir que una masa que pesase en el ecuador 100 523 kilogramos, ejercería la misma presión sobre el terreno, ó igual esfuerzo para desmenuzar un cuerpo colocado debajo de ella, que ejercería en los polos otra masa que sólo pesase 100.000 kilogramos.

Experimentos de esta clase se han hecho en todas las latitudes accesibles, con el mayor esmero y las precauciones más minuciosas, para lograr la mayor exactitud que fuese dable alcanzar, y el resultado general y final de todos ellos

ha sido dar $\frac{1}{194}$, por valor de la fracción que expresa la diferencia de la gravedad en el ecuador y en los polos.

Ahora bien, no dejará de reparar el lector, y probablemente le ocurrirá como objeción contra el modo aquí adoptado de explicar este hecho, la diferencia notable que se advierte entre aquella fracción y la que antes hallamos, á saber, $\frac{1}{289}$, por valor de la fuerza centrífuga en el ecuador: la primera excede á la segunda en un $\frac{1}{800}$, cantidad que, si bien pequeña en sí misma, es con todo de bastante consideración, comparada con las otras dos que la producen, para que deje de tenerse en cuenta, y aun de atacar la validez de la explicación adoptada, si esta no puede dar razón estricta de semejante discrepancia.

Disponemos, además de este método que acabamos de describir, de otro fundado asimismo en el péndulo, para averiguar la intensidad de la gravedad en diversas latitudes. Consiste en hacer oscilar un péndulo, midiendo con gran escrupulosidad su longitud y el número de sus oscilaciones, deduciendo luego la longitud de un péndulo simple que marque los segundos en la misma estación. Las longitudes comparadas del péndulo de segundos en distintos lugares permiten entonces calcular las relaciones que existen entre las intensidades de la gravedad en los mismos lugares.

Por medio del péndulo puede también averiguarse la densidad del globo, observando las diferencias de longitud de un péndulo que marque los segundos en la cima de una montaña elevada y á la orilla del mar; y asimismo, con igual objeto, observando las oscilaciones del péndulo en la superficie del suelo y á cierta profundidad hacia el interior de la Tierra.

Dijimos hace poco que el tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta sobre su eje se llama día sidéreo, y vamos ahora á dar la razón. El movimiento de la Tierra del occidente al oriente produce un efecto inverso en el curso aparente de los astros, que se dirigen, según nuestros sentidos, del Este al Oeste, pasando todos, planetas y estrellas, por los infinitos meridianos en que podemos suponer que se halla dividida la Tierra. Si en un punto cualquiera de ésta colocamos un anteojo cuyo eje se encuentre siempre en el meridiano, por lo cual se llama anteojo meridiano ó de pasos, cuyo eje óptico (figura 101) es susceptible de girar con libertad alrededor de un eje horizontal, al cual es perpendicular el tubo, sin que jamás pueda moverse en otra dirección sino en la del plano del meridiano, de esta disposición resulta que, dando una inclinación determinada al instrumento, todos los puntos situados en un mismo paralelo celeste vendrán, sucesivamente, en virtud del movimiento diurno, á pasar por su eje óptico; y como está en nuestra mano, por la construcción particular del instrumento, hacer variar la

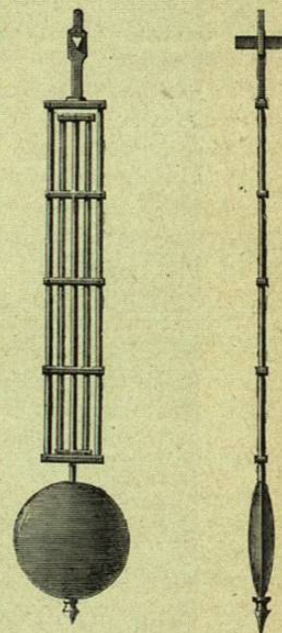


Fig. 100. - Péndulo compuesto