Demostremos ahora cómo se realizan estas condiciones en las balanzas de precisión usadas por los físicos y químicos.

La cruz (fig. 162) se compone de un rombo cortado de una pieza en una placa metálica de acero ó de bronce, y calado de modo que sin aumentar su flexibilidad se disminuya su peso. Por su parte media pasa un prisma ó cuchilla de acero, cuya arista horizontal forma el eje de suspensión de dicha pieza ó *cruz*. Esta arista descansa en una superficie dura y bruñida, por ejemplo de ágata. Los dos extremos de la cruz llevan dos prismas pequeños, pero cuyas aristas, horizontales también y paralelas á las del prisma principal, soportan los planos de acero movibles, de los cuales se suspenden las varillas que sostienen los platillos.

Las tres aristas de que hablamos deben estar rigurosamente alineadas en un mismo plano y sus distancias han de ser estrictamente iguales.

En medio y encima de la cruz hay dos botones superpuestos, uno de los cuales está

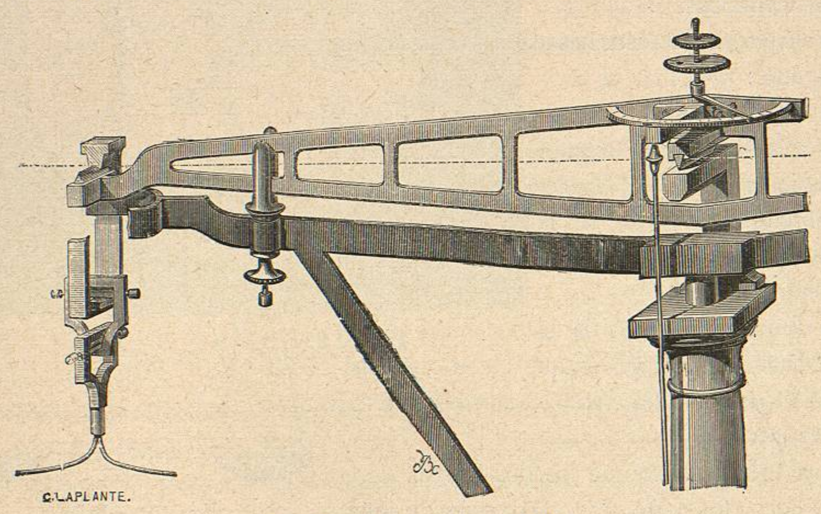

Fig. 162.—Balanza de precisión

abierto á modo de tuerca, de suerte que se le puede bajar ó subir como se quiera. Hácese uso de él para levantar ó bajar el centro de gravedad de la palanca, acercándola ó alejándola del eje de suspensión y dando así al instrumento el grado de sensibilidad que se desee. El otro botón tiene un agujero fuera de su centro, de suerte que su masa está repartida con desigualdad alrededor del eje; dándole vuelta se puede ejercer cierta influencia sobre uno ú otro brazo de la cruz, compensando así cualquier desigualdad de peso pasajera, que proceda por ejemplo de imperceptibles granillos de polvo acumulados en uno de los platillos.

Por cima y delante del prisma del medio tiene la cruz una larga varilla metálica ó aguja que oscila con ella, y cuya posición es exactamente vertical cuando el plano formado por los tres ejes de suspensión es á su vez horizontal. El extremo inferior de esta aguja ó fiel recorre un arco de círculo de marfil, cuya división *cero* corresponde á esta última posición y la determina. A ambos lados del cero hay trazadas divisiones iguales, merced á las cuales se pueden medir las amplitudes de las oscilaciones de la aguja; basta que estas amplitudes sean iguales á cada lado, para que se tenga la certidumbre de la horizontalidad de la cruz en el caso de equilibrio, y por consiguiente de la igualdad de los pesos que hay en los platillos.

Una balanza construída de esta suerte debe ponerse en un plano fijo, pudiendo cer-

ciorarse de que su posición es perfectamente horizontal por medio de los tornillos que lleva la peana del instrumento y observando el fiel antes de hacer alguna pesada. Para evitar la influencia de las corrientes de aire y las causas de deterioro originadas por la humedad ó por otros agentes atmosféricos, se la guarda en una caja de cristal que se cierra mientras se hace la pesada y se abre únicamente para poner ó quitar las pesas. Pónese además cloruro de calcio dentro de la caja, con objeto de que absorba la humedad del aire que pueda haber en ella.

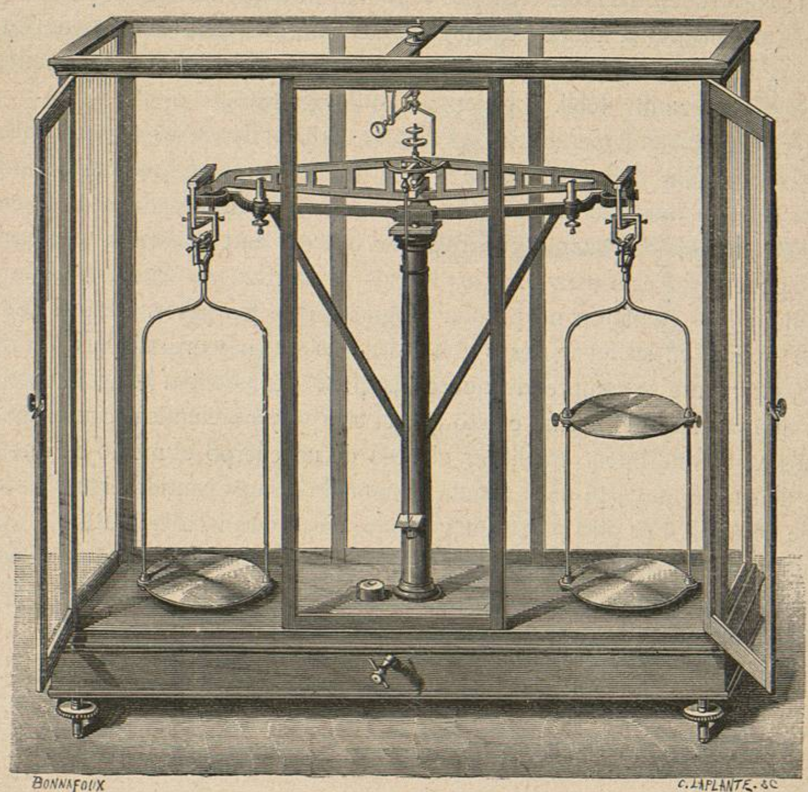

Fig. 163.—Balanza de precisión modelo Hempel

Por último, cuando no se ha de hacer uso de la balanza, se levanta la cruz mediante una barra metálica dentada que remata en una horquilla y que va metida en el interior de la columna. De esta suerte, los prismas conservan intactas sus aristas que á la larga se desgastarían por efecto de la presión si no se tomara esta precaución.

Vese con cuánto rigor se han reunido en el instrumento que acabamos de describir las condiciones de exactitud de una balanza destinada á usos científicos. La precisión que de ello resulta es indispensable para las delicadísimas pesadas que requieren los experimentos de química ó de física moderna. Pero estas condiciones no bastan: es preciso además que el operador agregue á ellas la destreza que da la práctica y ciertas precauciones en cuyo detalle no podemos entrar. Es innecesario decir que la precisión de la balanza sería infructuosa si las pesas no fuesen de rigurosísima exactitud. A veces, además de la escala de las pesas medias, el experimentador posee una colección de diminutas pesas que ha construido él mismo con alambres de platino muy delgados y de las cuales se sirve para las pesadas de una precisión inferior al gramo, como decigramos, centigramos y miligramos.

En la balanza representada en la figura 163, su constructor M. Hempel ha introducido una innovación que evita los tanteos cuando se ha obtenido el equilibrio con una levísima diferencia de peso. Debajo de los botones de tuerca se ve un semicírculo graduado recorrido por una aguja horizontal, la cual se puede hacer mover desde fuera de la caja. Los grados corresponden á miligramos, de suerte que colocando la aguja en las divisiones 1, 2, 3..... del cuadrante izquierdo, es como si se pusiera en el platillo de la izquierda 1, 2, 3..... miligramos.

Hoy se construyen balanzas bastante sensibles para que las haga oscilar un exceso de peso de un miligramo, aunque estén cargadas con 5 kilogramos en cada platillo. En las balanzas de análisis química se pesan hasta décimos de miligramo; pero entonces la carga total debe ser muy débil, por ejemplo de dos gramos.

Los físicos emplean generalmente el método llamado de *dobles pesadas* para obviar el defecto de igualdad de los brazos de la cruz, porque, en efecto, es casi imposible obtener esta rigurosa igualdad aun con los aparatos más perfectos. Consiste este método en poner en un platillo el cuerpo cuyo peso se busca y en equilibrarle colocando en el otro perdigones. En este estado, si los brazos de la cruz no tienen rigurosamente la misma longitud, el equilibrio no prueba la igualdad de los pesos. Pero si quitando el cuerpo se ponen en su lugar pesas conocidas hasta que se restablezca de nuevo el equilibrio, fácilmente se comprende que estas pesas representan exactamente el peso buscado, que producen el mismo efecto que el cuerpo y en idénticas circunstancias.

Hemos visto que puede modificar el peso de un cuerpo el medio en que está sumergido, de suerte que este peso resulta disminuído en una cantidad igual al del fluido ó aire que desaloja. Por otra parte, su volumen varía con la temperatura, y de consiguiente un mismo cuerpo no desaloja siempre igual cantidad de fluido: de aquí la necesidad de tener en cuenta estos elementos de variación, á no ser que se tome la precaución de hacer las pesadas en un espacio sin aire, es decir, en el vacío.

III

BALANZAS USADAS EN EL COMERCIO Ó EN LA INDUSTRIA

Acabamos de describir la balanza de precisión, la única usada para determinar científicamente las pesadas que requieren gran exactitud. Pero hay otros tipos de balanzas construídas con menos cuidado, sólo para obtener una aproximación menor, y que se emplean mucho más en las transacciones comerciales é industriales: vamos á describir rápidamente las más usadas, sin insistir en los detalles de su construcción por ser de incumbencia de la mecánica práctica más bien que de la física.

La *romana* es uno de los tipos conocidos desde más remota fecha (1). Su construcción, muy sencilla, se basa en el principio de mecánica de que el peso de dos cuerpos graves que actúen en los extremos de dos brazos de palanca desiguales están en razón inversa de las longitudes de los brazos de palanca, cuando se restablece el equilibrio.

La cruz de la romana AB (fig. 164) consta de dos partes, la más corta de las cuales forma un brazo de palanca de longitud constante, de cuyo extremo pende un gancho ó

(1) "Llámase así, no porque la usaran los romanos, como se ha supuesto, pues los romanos no la conocían, sino porque procede de los árabes, que llaman *romano* (granada) á la única pesa de esta balanza." (Hœfer, *Historia de la Física*.)—La balanza de dos brazos iguales es de invención antiquísima. Homero alude á ella muy claramente en la *Iliada*, y se ignora quién fué su inventor.

un platillo en el cual se ponen los cuerpos que se han de pesar. En la parte más larga OB, convenientemente dividida en kilogramos y fracciones de kilogramo, corre una anilla M que sostiene un pilón P siempre el mismo; y este pilón es el que, según avanza ó retrocede á lo largo de la barra graduada de la palanca, equilibra los cuerpos graves puestos en el platillo Q ó suspendidos del gancho. Reconócese que se ha hecho el equilibrio cuando la barra recobra su horizontalidad después de oscilar un tanto.

La romana suele estar construída de modo que el centro de gravedad de todo el aparato se encuentre en la vertical que pasa por la arista de la cuchilla de suspensión y algo por encima de ella. Entonces, si no tiene el pilón P ni ningún peso en el platillo, la barra permanece en equilibrio tomando una posición horizontal.

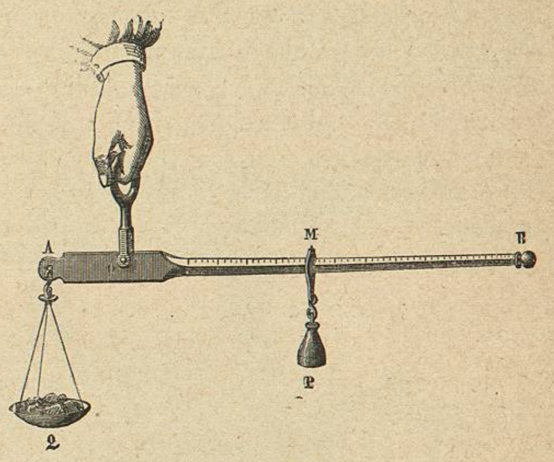

Fig. 164.—Romana

Así pues, el cero de la graduación está en el mismo punto de suspensión. Para trazar las divisiones se pone un peso conocido, por ejemplo de un kilogramo, en el platillo y se busca el punto de la barra donde el pilón produzca el equilibrio: en este punto se marca un kilogramo. La distancia comprendida entre 0 y 1, graduada en divisiones decimales y marcada sucesivamente en el brazo mayor de la palanca, da la graduación de la romana. Es una balanza bastante cómoda, porque no requiere pesas marcadas, y es á propósito para pesar cuerpos voluminosos, cuando no se requiere una exactitud rigurosa. Como es poco sensible, no está legalmente autorizado su uso sino cuando oscila por efecto de un exceso de peso igual á la 500.ª parte de su carga máxima.

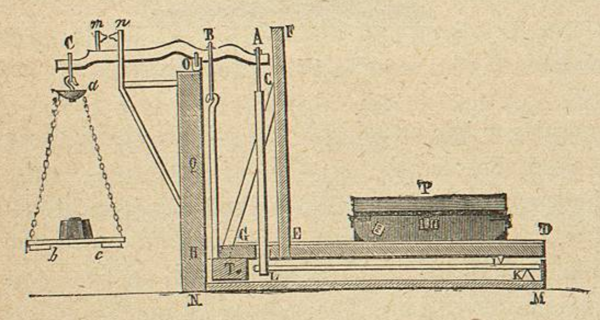

Fig. 165.—Balanza de báscula ó de Quintenz

La *balanza de báscula* (figura 165) ó de *Quintenz* (nombre de su inventor) se basa en el mismo principio que la romana, actuando el cuerpo que se ha de pesar y las pesas en el extremo de brazos de palanca desiguales. Pero difiere de ella en que estos dos brazos son de longitudes variables y en que el cuerpo que se ha de pesar gravita en el extremo del brazo más corto; por lo tanto, la balanza de báscula exige, como las ordinarias, una serie de pesas; mas el peso de éstas es menor que el de los objetos: por ejemplo, si la relación de las palancas OB y OC es de 1 á 10, se equilibrarán los cuerpos pesados con pesas diez veces más cortas. Los objetos cuyo peso se busca se colocan en la plataforma DE, y las pesas en el platillo *abc*. Hay equilibrio cuando las puntas *mn* se encuentran frente á frente.

La plataforma DE descansa mediante una arista horizontal I en una pieza KL que viene á ser una palanca movible alrededor de K y obra por la articulación LA en el brazo OA de la cruz; descansa por otro punto en la pieza T unida por medio de una varilla vertical al punto B de la palanca OB. Haciendo que las distancias IK y KL sean proporcionales á OB y OA, resulta de esta disposición que la plataforma DE, horizontal antes de colocar en ella el cuerpo que se ha de pesar, continúa también horizontal cuando dicho cuerpo la haga bajarse con su peso; ó lo que es lo mismo, el movimiento del punto A estará en el movimiento del punto B en la misma relación que los brazos de palanca OA y OB, resultando finalmente la consecuencia de que la acción del peso del cuerpo, que se halla repartida entre B y A, es la misma que si se ejerciera enteramente en B: ahora bien, suponiendo que la palanca OB es la décima parte de la longitud OA, tendremos que, en nuestra hipótesis, bastarán para equilibrar el peso del objeto pesas diez veces más ligeras que éste. Por ejemplo, si se establece el equilibrio con pesas que tengan en junto $5^{kg},400$, el peso real del cuerpo será de 54 kilogramos.

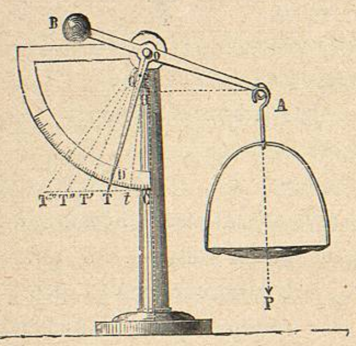

Fig. 166.—Balanza para pesos ligeros

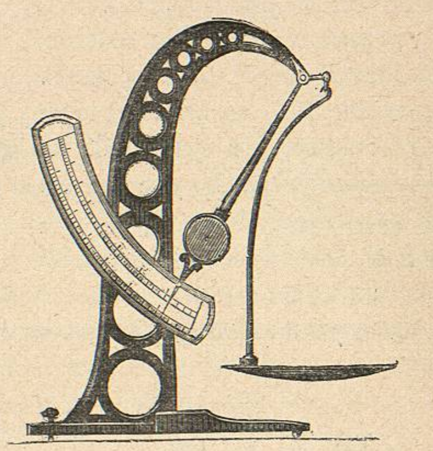

Fig. 167.—Pesa-cartas

Las balanzas de báscula, en las cuales se han introducido varias innovaciones desde su invención, se usan mucho en los despachos de mercancías de las vías férreas, de las mensajerías y en los almacenes del comercio. Cuando se quería pesar antiguamente en Francia carros ó wagones cargados se hacía uso de los *puentes de báscula*, especie de balanzas basadas en un principio análogo al de las de Quintenz, es decir, en una combinación de palancas de longitud diferente. Hoy se emplean todavía en algunos países extranjeros los puentes de báscula ó *balanzas de Sanctorius*, así llamadas del nombre del sabio italiano que las inventó.

Hay otra clase de balanza (fig. 166) que se usa para pesar materias ligeras como cartas (en este caso se le da el nombre de *pesa-cartas*), y en las fábricas de tejidos, la seda, la lana y el algodón.

Consiste en una palanca AB, que puede girar alrededor del punto O. Uno de los brazos A sostiene el platillo en que se ponen las materias que se han de pesar. En O hay una aguja fijada á la palanca en ángulo recto. Cuando no hay nada en el platillo la palanca AB está en posición horizontal y la aguja en la vertical; pero si se coloca algún cuerpo en aquél, la acción de este peso en el extremo del brazo de palanca OA hace que la aguja recorra las divisiones de un arco de círculo oportunamente graduado. La graduación se deduce de un principio mecánico muy sencillo, á saber: que los

pesos puestos en el platillo son proporcionales, no á los ángulos que la aguja forma con la vertical, sino á las tangentes de estos ángulos, es decir, á las distancias CT, CT'..... que la dirección de la aguja prolongada determina en la línea horizontal trazada desde el punto C, línea que entonces es tangente al arco de círculo descrito desde el punto O como centro.

La figura 167 representa la forma que se suele dar á esta balanza cuando se la usa para pesar cartas.

Terminaremos esta descripción de los instrumentos de pesar usados en el comercio y en la industria, añadiendo algunas palabras sobre la *balanza de Roberval* (fig. 168).

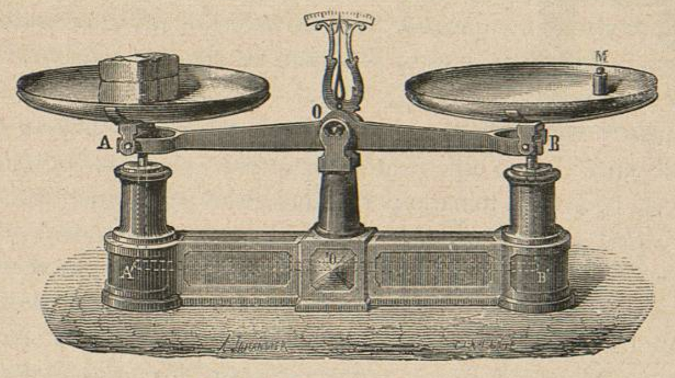

Fig. 168.—Balanza de Roberval

Los dos platillos descansan, en la parte superior de la cruz, en dos cuchillas cuyos filos están vueltos hacia arriba y fijos en dos varillas movibles é iguales, AA' BB', unidas entre sí, en sus extremos inferiores, por una palanca asimismo movible alrededor de su punto medio. Esta disposición, que no altera en nada las condiciones de equilibrio, como se demuestra en mecánica, hace muy cómodo el uso de esta balanza. En efecto, se colocan y quitan los cuerpos que se han de pesar, así como las pesas, sin los inconvenientes que ofrecen las balanzas comunes á causa de las cadenillas ó cordones que sostienen los platillos.

Hoy es muy general el uso de la balanza de Roberval.

IV

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS CUERPOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS

Nadie ignora que varias substancias, á igualdad de volumen, distan mucho de tener el mismo peso; una piedra pesa bastante más que un pedazo de madera y menos que uno de hierro de la misma dimensión; un litro de agua, más pesado que uno de aceite, lo es mucho menos que otro de mercurio. Los números que expresan esta diferencia característica entre los cuerpos de distinta composición son lo que se llama *pesos específicos* ó *densidades*. Pero demos una definición más precisa.

Para ello establezcamos una distinción entre las substancias homogéneas y las heterogéneas. En este caso debemos entender la homogeneidad con relación á substancias de tal estructura, que las moléculas de que están formadas se hallen uniforme y simétricamente situadas, de suerte que su número sea el mismo en todas las partes del cuerpo y á volúmenes iguales, por pequeños ó grandes que sean estos volúmenes. No cabe duda que esta hipótesis es de imposible comprobación, puesto que no se pueden contar ni ver las moléculas; pero implica como consecuencia la igualdad de peso de todas las partes del cuerpo iguales en volumen, y esta igualdad se puede averiguar prácticamente.

Un cuerpo no es homogéneo cuando sus moléculas están desigualmente agrupadas en sus diferentes partes; lo cual se conoce en la desigualdad de peso de un mismo volumen tomado en regiones distintas.

Hecha esta distinción, consideremos ante todo varios cuerpos homogéneos, sólidos ó líquidos, y supongamos que de cada uno de ellos se saca un volumen igual, un centímetro cúbico por ejemplo, y que se le pesa con cuidado. Así se obtendría una serie de pesos por lo común desiguales, y estos pesos son los que se llaman *pesos específicos* de las substancias correspondientes.

Como en nuestro sistema métrico se ha tomado por unidad de peso el de un centímetro cúbico de agua, el peso específico del agua estará precisamente expresado por el número 1, lo cual equivale á tomarlo por unidad de los pesos específicos de los líquidos y de los sólidos. Pero no debe olvidarse que el gramo es el peso de un centímetro cúbico de agua destilada, pesado en el vacío á $+4$ grados de temperatura del termómetro centígrado; que, por otra parte, el volumen de un cuerpo varía con su temperatura, y por consiguiente también su peso específico, y que estas variaciones son diferentes según las substancias. Hase convenido por tanto en referir los pesos específicos de varios cuerpos (excepto únicamente el del agua) á la temperatura común de 0^{o}; en el caso de que la temperatura fuese otra, importa indicarlo así.

Así pues, la definición del peso específico de un cuerpo homogéneo, sólido ó líquido, es la siguiente: es la relación que existe entre el peso de la unidad de volumen de este cuerpo á 0 grados, y el de la unidad de volumen del agua destilada á $+ 4$ grados.

Si en lugar de comparar los pesos de los cuerpos partiendo de la unidad de volumen, se hiciera la misma comparación relativamente á sus masas, las cifras que se obtuvieran serían lo que se llama sus *densidades*. No se debe confundir la densidad de un cuerpo con su peso específico, pues, como se ha visto, el peso varía con la intensidad de la gravedad, es decir, con la latitud ó la altitud del lugar, al paso que la masa es invariable. Pero como las relaciones de los pesos son iguales á las de las masas, síguese de aquí que los números que representan los pesos específicos son también iguales á los que expresan las densidades, por lo cual se emplea indistintamente una ú otra de ambas expresiones.

De la definición del peso específico ó de la densidad resulta que el peso de un cuerpo es igual al producto de su volumen por su densidad, y por consiguiente, dados dos de estos elementos, el tercero se deduce por un simple cálculo.

La definición precedente es aplicable á los cuerpos homogéneos; pero no á los que no lo son. En los cuerpos heterogéneos, cada parte considerada de por sí puede tener una densidad propia si su volumen es bastante pequeño para que la variación de composición pueda considerarse como nula, es decir, para que esta parte sea en sí misma homogénea. Por esto se divide el globo terráqueo en capas concéntricas, cada una de las cuales se supone homogénea, y cuyas densidades van creciendo á medida de la proximidad de dichas capas al centro. Por lo que hace á la densidad de la Tierra, es un término medio entre las densidades de sus capas; equivale á la que tendría un globo de iguales masa y volumen, pero cuya materia estuviese uniformemente distribuida.

No creemos necesario encarecer el interés que tiene la determinación de la densidad propia de cada especie de cuerpo, de cada clase de substancia, sólida, líquida ó gaseosa. Aparte de que merced á ella se pueden resolver los variadísimos problemas en que este elemento desempeña un papel esencial (por ejemplo, el que tiene por objeto calcular el volumen de un cuerpo de forma irregular, pero que se puede pesar, ó también el que consiste en calcular el peso de un cuerpo cuyo volumen es posible medir, pero que no se puede poner en una balanza), el conocimiento exacto de la densidad es un medio precioso con que cuenta el mineralogista para distinguir las especies minerales; es un carácter distintivo que sirve de mucho á los químicos, á los farmacéuticos para comprobar la pureza de las substancias que emplean.

Por todos estos motivos se comprenderá que abordemos con algunos detalles la descripción de los procedimientos que sirven para determinar la densidad de los cuerpos. Por el pronto nos limitaremos á la densidad de los sólidos y de los líquidos.

Acabamos de decir que la densidad de un cuerpo es la relación que existe entre su peso á 0 grados y el de un volumen igual de agua pura á la temperatura de $+4$ grados del termómetro centígrado. ¿Qué se necesita, pues, para averiguar el número que representa la densidad de un cuerpo? En primer lugar, conocer su peso (la balanza sirve para esto); luego conocer el peso de un volumen igual de agua: vamos á describir las operaciones propias para esta determinación. Obtenidas estas dos cantidades, el cociente de la división del primero por el segundo dará la densidad.

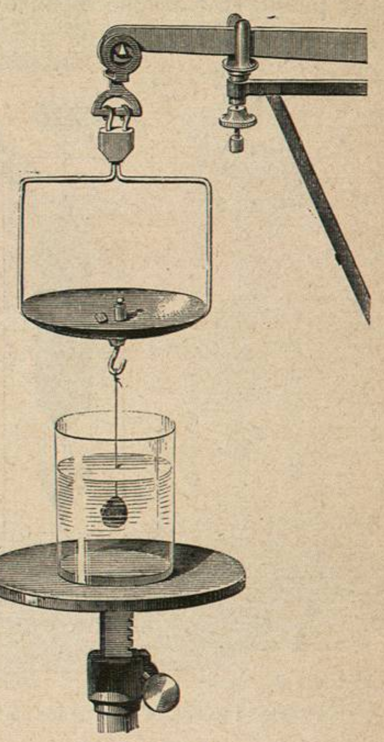

Fig. 169.—Densidad de los cuerpos sólidos. Método de la balanza hidrostática

La única dificultad consiste en hallar el peso de un volumen de agua igual al del cuerpo. Valgámonos de algunos ejemplos que nos harán comprender los tres métodos usados. Sea un pedazo de hierro que pese al aire libre $246^{gr},5$. Se le suspende por medio de un hilo muy fino del gancho de uno de los platillos de la balanza hidrostática, y se pone un peso igual en el otro platillo para equilibrarlo: entonces se baja la cremallera ó barra dentada de la balanza hasta que el pedazo de hierro se sumerja en el agua (figura 169). En este momento el fiel se inclina hacia el lado de la tara, y para restablecer el equilibrio hay que poner pesas equivalentes á $31^{gr},65$ en el platillo que sostiene el cuerpo. Estas pesas representan el peso del agua desalojada. Dividiendo 246,5 por 31,65 resulta 7,788 como densidad del hierro; lo que equivale á decir que el hierro pesa, á igualdad de volumen, 7 veces y 788 milésimas tanto como el agua.

Véase ahora un segundo método:

La figura 170 representa un instrumento llamado *areómetro* (1), ideado por el fí-

(1) Del griego *araios*, ligero, y *metron*, medida. Los areómetros sirvieron primeramente para medir las densidades de los líquidos, como más adelante veremos.

Todo el mundo conoce la anécdota de Arquímedes, cuando al salir del baño echó á correr por las calles