CIENCIAS.

FISICA APLICADA A LA MEDICINA, CIRUGIA, HIGIENE Y FARMACIA

(*Continuación*).

DE LOS LÍQUIDOS.

127. **Constitución de los líquidos.**—Hemos visto anteriormente (28) que el estado líquido de los cuerpos está caracterizado por la suma movilidad de sus moléculas, de lo cual resulta que pueden deslizar facilmente las unas sobre las otras, sujetándose á ciertas condiciones que son otras tantas leyes físicas, como luego veremos. Pero antes de entrar en materia, es preciso que digamos algo acerca de la constitución de los líquidos; sentado lo cual, se podrán comprender con más facilidad las leyes que vamos á estudiar.

Teóricamente debemos considerar á los líquidos (lo mismo debemos suponer de los gases) como un agregado de partículas pequeñísimas (moléculas) de tamaño y forma iguales para un mismo líquido, puesto que cada una de ellas consta de elementos (átomos) reunidos en proporciones fijas y determinadas para cada líquido

En este supuesto, una capa líquida formada por un solo orden de moléculas, tendrá el mismo espesor en cualquiera punto que se considere: de igual manera, la superposición de moléculas en un solo orden, formará un hilo ó vena líquida que tendrá igual disposición en toda su extensión; de lo que se sigue que, dos ó más hilos ó columnas de moléculas liquidas que tengan una altura dada, tendrán constantemente el mismo número de moléculas; y viceversa, dos ó más columnas ó venas líquidas que tengan igual número de moléculas, tendrán también alturas y bases iguales; se entiende en el caso de estar sobrepuestas las moléculas en una sola serie,

En segundo lugar, debemos suponer á los líquidos incompresibles y dotados de gran fluidez, pues, solo en este supuesto se realizarían en todo rigor las leyes que nos proponemos enunciar.

Finalmente, cuando llegue el caso de estudiar la trasmisión de una fuerza cualquiera que oprime á una masa líquida en cualquier sentido, es decir, cuando estudiemos el principio de Pascal, hay que suponer á los líquidos sin la acción de la gravedad. Presupuestas estas consideraciones podemos entrar ya en materia.

CAPÍTULO XII.

HIDROSTÁTICA.

La **Hidrostática** tiene por objeto el estudio de las condiciones de equilibrio de los líquidos en reposo y de las presiones que reciben, tanto en su masa, como en las paredes de las vasijas que los contienen; la *Hidrodinámica*, por el contrario, se ocupa de las leyes á que están sujetos los mismos fluídos cuando se hallan en movimiento.

128. Transmisión de las presiones en los líquidos: principio de Pascal.—"Toda molécula líquida tiende á caer verticalmente solicitada por la acción de la gravedad: la caída se realiza, en efecto, cuando no se opone á ello ningún obstáculo. Si al contrario, la molécula que se considera reposa sobre un plano resistente que le impide obedecer la acción de la pesantez no caerá, pero en cambio ejercerá sobre el plano una presión que estará en relación con la magnitud de su masa.

Sea ABCD [Fig. 12] un vaso que contiene una cierta cantidad de líquido, que, como hemos visto, se puede considerar como compuesto de gran número de moléculas. Por abstracción descompongamos esta masa líquida en una infinidad de capas horizantales de espesor infinitamente pequeño; y sean *ab*, *cd*, *cf*. . .*mn* estas capas elementales: es evidente que la primera capa *ab* oprime con todo su peso á la segunda *cd;* que la tercera á su vez soporta las dos que tiene encima y así sucesivamente hasta llegar á la capa *mn* que soporta el peso de todas las demás: por último, es evidente, que la presión ejercida sobre el fondo BC del recipiente es igual al peso de toda la masa líquida *a b m n*. De igual manera, una capa

Fig. 12. Transmisión de las presiones en los líquidos.

cualquiera *i k* considerada en el interior de la masa, soporta una presión equivalente al peso de todo el líquido *a b i k* situado por encima. Pero, si en vez de una sección entera se considera solamente una fracción, tal como la *x' y'*, esta porción de superficie ño soportará sino el peso de la columna líquida $p\, q\, x'\, y'$; lo mismo sucederá si se considera una porción $x\, y$ del fondo del vaso, pues también la presión ejercida sobre esta superficie estará representada por el peso de la columna líquida $p\, q\, x\, y$.

De esto resulta que, toda molécula situada en el interior de un líquido soporta una presión dirigida de arriba hacia abajo é igual al peso del hilo de moléculas superpuestas. Pero como el carácter fundamental del estado líquido consiste en la facilidad que tienen las moléculas para deslizar las unas sobre las otras por insignificante que sea el influjo de las fuerzas exteriores, se sigue que la molécula x', por ejemplo, oprimida por el hilo $p\, x'$ que tiene sobre sí, tratará de escaparse más bien en la dirección $x'\, i$ ó $x'\, k$ que en la dirección $x'\, x$; pero como á su vez se halla retenida en su posición por la resistencia de las moléculas circunvecinas, ejercerá ella misma una presión igual á la que soporta sobre sí.—Así es como en los *líquidos, la presión ejercida en un punto cualquiera de su masa se trasmite igualmente en todo sentido;* tal es la manera general como se anuncia el *principio de igualdad de presión ó principio de Pascal.*

Además, en virtud del principio de igualdad de acción y de reacción, la molécula considerada sufrirá á su vez del lado de las moléculas circunvecinas, una presión igual á la que ella misma comunica; la molécula x', por ejemplo, es oprimida en todo sentido por una fuerza representada por el peso de la columna líquida $p\, x'$—De esto dimana esta otra consecuencia importante, á saber que, *en un líquido en equilibrio, cada molécula es igualmente oprimida en todo sentido.*

Consideremos ahora un punto cualquiera a de las paredes laterales del vaso representado en la fig. 12: resulta del principio que acabamos de establecer, que este punto soporta una presión dirigida perpendicularmente á la superficie de la pared y representada por el peso del hilo $a\, \alpha$ de moléculas que se hallan encima. Por la misma razón, la presión que se ejerce sobre la superficie en $\alpha\, \beta$ es igual al peso de una columna líquida que tiene por base esta superficie misma, y por altura la distancia $a\, \gamma$ que va desde el nivel del líquido al centro de gravedad de la superficie considerada. Lo que se dice para la pared del vaso, sirve también para toda otra porción de superficie que se considere en la masa líquida.

Esto supuesto, llenemos completamente el vaso ABCD (fig. 13) con un líquido cualquiera y supongámosle cerrado por todas partes. Supongamos que una porción $p\, q$ de la pared superior de dicho vaso está reemplaza por el émbolo P y que la cierre perfectamente: coloquemos sobre el émbolo P un peso dado h; esto equivale á suponer que dicho émbolo sufre una presión de una columna líquida que estuviese sobre él de un peso igual á h. Ahora bien: la presión ejercida por el peso h se repartirá por toda la masa líquida, de tal manera que, si se considera en el interior del líquido una superficie igual á $p\,q$ ésta sufrirá, (haciendo abstracción del peso del líquido), una presión igual á h; porque donde quiera que se halle ésta, la presión estará representada por igual número de columnas ó hilos líquidos. Pero si la superficie considerada es doble ó triple respecto de la primera $p\,q$, también será doble ó triple la presión que recibe; porque estando las columnas líquidas igualmente oprimidas por todas partes, en una superficie doble deben también caber doble número de moléculas; en una triple, triple número de moléculas y así sucesivamente; lo que equivale á decir que: *la presión que soporta una superficie considerada en el interior de un líquido ó sobre la pared del reservorio que lo contiene, es proporcional á la extensión de la superficie considerada.*

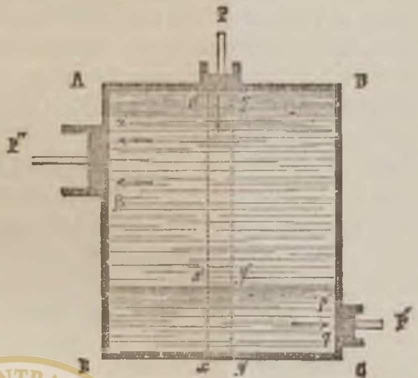

Fig. 13. Proporcionalidad de la presión con la extensión de la superficie oprimida.—(Principio de Pascal).

129. Principio de la prensa hidráulica.—La conclusión á la que hemos llegado nos proporciona un medio facil de obtener grandes efectos poniendo en juego fuerzas relativamente poco intensas.—Reemplacemos la porción de la pared $\alpha\,\beta$, por un émbolo P'' y supongamos que esta superficie $\alpha\,\beta$ tenga una extensión doble de la superficie $p\,q$: ejerciendo entonces sobre el émbolo P una presión h, la presión transmitida al émbolo P'' será igual á $2h$; se podía pues obtener á beneficio de este último un efecto mecánico dos veces mayor que el que fue menester para poner en movimiento el émbolo P; el esfuerzo desarrollado por el émbolo P'' será capaz, por ejemplo, de levantar un peso $2h$, ó de comprimir un cuerpo con una fuerza igual á $2h$ etc. Si suponemos que el émbolo P'' tiene una superficie 100 veces mayor que la del otro émbolo, centuplicaremos también la potencia del primero. Tal es el principio sobre que reposa la construcción de la *prensa hidráulica*.

Acabamos de ver el mecanismo por el cual se puede con fuerzas moderadas producir efectos extremadamente poderosos; pero es preciso no concluír de esto que podemos á voluntad crear la fuerza; no, esto es imposible; lo que hacemos es, transformar la velocidad en fuerza. Sí, en efecto, el émbolo P'' tiene una superficie dos veces más grande que la del émbolo P, transmite, en verdad, una presión dos veces más fuerte; pero en cambio se mueve con una velocidad dos veces más pequeña, puesto que el cuerpo de bomba que lo circunda tiene, á igualdad de longitud, dos veces más líquido que el cuerpo de bomba del pistón P—Lo que equivale á decir: *que lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad.*

130. Presión sobre el fondo de un vaso.—De la propiedad que tienen los líquidos de transmitir con igualdad y en todos sentidos las presiones comunicadas á su masa, dimanan también las condiciones de equilibrio de estos cuerpos y los efectos de presión á los que dan lugar en virtud de su peso.

Relativamente á la presión que un líquido solicitado por la gravedad, ejerce sobre el fondo de un vaso que lo contiene, es evidente, según el principio de Pascal, que esta presión es igual al peso de la columna líquida que tiene por base la superficie considerada, y por altura la distancia que va del fondo al nivel del líquido contenido en el vaso; en otros términos: *la presión de que se trata es completamente independiente de la forma de la vasija.*

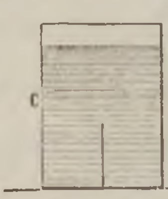

Fig. 14. Presión sobre el fondo igual al peso del líquido.

Fig. 15. Presión sobre el fondo, inferior al peso del líquido.

Fig. 16. Presión en el fondo, superior al peso del líquido.

Consideremos por ejemplo, los tres vasos C,D, E (fig. 14, 15 y 16.) que tienen formas diferentes, pero que están llenos de agua hasta la misma altura, y que sus fondos sean también iguales en superficie. En estos tres vasos, la presión sobre el fondo tiene valores idénticos, porque ella es igual en todos á $b\ h\ \delta$, si designamos por b la area del fondo, por h la altura del líquido y por δ su densidad; pues, estas tres cantidades son las mismas en los tres vasos. Resulta de esto, que en el vaso C (fig. 14) la presión sobre el fondo es igual al peso total de la masa líquida; en el vaso D (fig. 15) esta presión es más pequeña que el peso del líquido contenido en el vaso; por el contrario, es mayor en el vaso E (fig. 16). Así, la presión ejercida sobre el fondo de un vaso por el líquido contenido en él, puede ser igual, mayor ó menor que el peso del líquido, sinembargo de que esta presión es ocasionada por el mismo líquido. A esta aparente contradicción, es á lo que se ha dado el nombre de *paradoja hidrostática.* Puede uno darse cuenta facilmente de estos hechos, descomponiendo las presiones normales á las paredes, en presiones horizontales y verticales: las primeras se destruyen dos á dos; mientras que las últimas obran según su dirección, en el mismo sentido que la presión sobre el fondo de la vasija, ó en sentido contrario.

131. Equilibrio de los líquidos en vasos comunicantes.—Cuando un sistema de vasos comunicantes contiene un solo líquido, es necesario para que se halle en equilibrio, que las superficies libres del líquido en los diversos vasos se hallen todas situadas en un mismo plano horizontal; en una palabra, *que las superficies libres del líquido estén todas á nivel.*

En efecto, consideremos una molécula líquida colocada en el tubo de comunicación: esta molécula no quedará en equilibrio hasta tanto que las presiones que soporta en todos sentidos sean iguales y contrarias dos á dos; pero estas presiones no dependen sino de la superficie del elemento que se considera y de la altura del líquido por encima del plano horizontal en que se halla la molécula; luego esta altura debe ser la misma en todos los vasos puestos en comunicación.

Cuando los vasos comunicantes contienen en vez de un solo líquido, líquidos de diversa densidad é incapaces de mezclarse, el más pesado, si está en suficiente cantidad, llena el fondo de los dos vasos así como el tubo de comunicación, y *los dos líquidos se elevan por encima de su superficie de separación á alturas que están en razón inversa de sus densidades.*

132. Aplicación del principio de los vasos comunicantes á la circulación de la sangre.—Lo que se ha dicho de dos ó más reservorios, se aplica también á un sistema de un número cualquiera de vasos comunicantes, verificándose la ley, aun cuando el líquido que los contiene esté sujeto á una presión extraña á la que ocasiona su propio peso ó densidad.

El sistema vascular de los animales, por ejemplo, puede asemejarse á un conjunto de vasos comunicantes, en el que, la acción del corazón desenvuelve periódicamente desigualdad de presión, tomando de las venas una cierta cantidad de sangre para impulsarla con fuerza en las arterias. En virtud de este exceso de presión realizado sólo en una parte del torrente circulatorio, es como circula la sangre, pues que esta tiende á igualar la diferencia de presión en todos los puntos; es decir, que la fuerza que determina la progresión de la sangre, consiste en la rotura del equilibrio hidrostático, y la circulación no es otra cosa que la tendencia á restablecer el equilibrio perdido" (1).

133. Pérdida de peso de un cuerpo sólido sumerjido en un líquido:—Principio de Arquimedes.—Supongamos á un cuerpo sólido *a b c d* (fig. 17) sumerjido en un líquido cualquiera contenido en el vaso A B C D. La cara superior de este cuerpo soportará una presión igual al peso de la columna líquida *a d p q*; mas, la cara inferior *b c* que se halla á mayor profundidad, sufrirá una presión mayor, la que en el caso actual, estará medida por una columna líquida *b c p q*;

(1). Wundt. *Phys. med.* § § 67 y 68.

luego las dos caras del cuerpo sólido están desigualmente oprimidas, siendo la diferencia de fuerzas tanto mayor cuanto más alto sea el cuerpo sumergido; pero como estas dos fuerzas son opuestas y á la vez de diversa intensidad, se sigue que el cuerpo obedecerá á la mayor que es la inferior, contrarestando, siquiera en parte, la acción de la gravedad que tira al cuerpo en dirección opuesta: lo que hace que el cuerpo pierda de peso mientras esté sumerjido en un líquido cualquiera. A este predominio de la presión inferior respecto de la superior, es á lo que se ha dado el nombre de *empuje de los líquidos.*

Fig. 17. Pérdida de peso de un cuerpo sumerjido en un líquido.—(Principio de Arquimedes)

Respecto de las presiones laterales, no debemos tomarlas en cuenta, desde el momento que, siendo éstas opuestas é iguales dos á dos se destruyen totalmente.—Ahora bien, como la diferencia de las dos fuerzas verticales de que antes hemos hablado, es igual á una columna líquida que tuviese por base la del cuerpo sumerjido y por altura también la que éste tiene, se sigue que el empuje de abajo arriba sufrido por el cuerpo está representado por la columna líquida desalojada por él, lo que equivale á decir: *que todo cuerpo sumerjido en un líquido ó gas pierde de peso una cantidad igual al líquido ó gas desalojados por dicho cuerpo.* Esta ley es conocida desde la antigüedad con el nombre de principio de Arquimedes, cuyo descubrimiento trae consigo un hecho histórico demasiado conocido para que nos detengamos en él.

El principio formulado por el inmortal matemático de Siracusa, no es un principio ó ley puramente teórica, como sucede con el de Pascal, sino que se realiza con toda precisión aun en la práctica, lo que se comprueba con la balanza de Roberval; y en él se funda la manera de encontrar el peso específico de los cuerpos, como luego veremos.

De este hecho fundamental se deducen varios corolarios que es conveniente conocerlos:

(a). Ante todo manifestaremos que, el empuje de abajo hacia arriba no existe en el líquido antes de la introducción del cuerpo extraño, como se pudiera creer, sino que se desarrolla en el momento mismo de la penetración de dicho cuerpo; lo que se expresa, diciendo que tal *empuje ó fuerza es virtual.*

(b). Para que se engendre ó aparezca dicha fuerza, es preciso que el cuerpo sumerjido (sólido ó líquido) sea de diversa densidad que el líquido en el que se lo sumerje.

(c). De la condición anterior se deduce que, cuando el cuerpo sumerjido tiene la misma densidad, su equilibrio es indiferente; puede éste permanecer en quietud en cualquiera posición y á cualquiera profundidad. Mas, si el cuerpo introducido es más denso que el líquido en el que se lo ha introducido, baja al fondo solicitado por la gravedad, que en tal caso, viene á ser fuerza superior al empuje. Por último, si el cuerpo introducido es de menos densidad que el líquido en que flota, sube á la superficie, y no entra en equilibrio sino cuando la parte sumerjida desaloja tal cantidad de agua, que su peso sea igua al que tiene el cuerpo flotante.

134. APLICACIONES.—El principio de Arquimedes y aun el de Pascal explican perfectamente varios hechos fisiológicos que tienen lugar en el organismo humano.—Cuando el útero se halla en gestación (preñez) contiene considerable cantidad de líquido amniótico en el que se halla sumergido el feto durante la vida intrauterina; por manera que éste disminuye notablemente de peso, cosa que al mismo tiempo facilita los movimientos al pequeño ser é impide que éste sufra directamente las contuciones y conmociones á que pudiera estar sujeta la madre que lo lleva en su seno.

De la misma manera, el cerebro se halla sumerjido completamente en el líquido céfalo-raquideo, que aunque relativamente escaso (60 gramos á lo más) con todo, basta para inundarlo por completo y hacerle perder de peso un 98%; así que para un cerebro que pesare 1,500 gramos, esta cantidad se reduciría nada más que á 30 gramos; de donde se sigue que, cada centímetro cuadrado de la base del craneo, soporta por término medio, apenas un decígramo. De esta manera se explica cómo el cerebro siendo órgano tan pesado, no altere su textura ni sufra daño de ninguna clase al apoyarse sobre base tan desigual como es la del craneo. Así se explica también cómo puede moverse el cerebro por sola la impulsión del corazón, y cómo puede verificarse facilmente la circulación sanguinea especialmente en la base cerebral.

Finalmente, la natación en el hombre y los animales se verifica por razón de la pérdida que sufre el cuerpo de éstos al sumerjirse en el agua.

135. **Peso específico de los sólidos y líquidos.**—Se da el nombre de *densidad ó peso específico* de un cuerpo á la relación que hay entre el peso de este cuerpo y el volumen que ocupa. (*)

No siendo el peso de un cuerpo otra cosa que la resultante de todas las fuerzas ejercidas por la pesantez sobre las moléculas materiales de que está compuesto, es evidente, si el cuerpo es homogeneo, ó en otros términos, si estas moléculas se hallan esparcidas uniforme y simétricamente, que la pesantez es proporcional al espacio ocupado por las moléculas, ó lo que es lo mismo, al volúmen ocupado por el cuerpo.

Según ésto, si D representa el peso de un cuerpo que tenga el volúmen de un centímetro cúbico, el peso P de este mismo cuerpo bajo el volúmen de V centímetros cúbicos, está representado por la proporción $D : P :: 1 : V$ de la cual se saca: $P = VD$ (1), de donde:

$$D = \frac{P}{V} \qquad (2) \qquad\qquad V = \frac{P}{D} \qquad (3)$$

Tal es la fórmula fundamental (**) que liga entre sí el peso, el volúmen y la densidad de un cuerpo. Ella nos enseña que, cuando se la considera en un mismo cuerpo, resulta: 1º que el peso es igual al volúmen multiplicado por la densidad [1]; 2º que la densidad es igual al peso dividido por el volúmen [2], y 3º que el volúmen es igual al peso dividido por la densidad [3].

(*). Se acostumbra considerar como sinónimas las palabras *densidad y peso específico*, sin embargo de su diversa significación.

La densidad no expresa otra cosa que la cantidad de materia ó sea el número de moléculas materiales contenidas en una unidad de volúmen, al paso que el peso específico expresa la resultante de todas las fuerzas que la pesantez ejerce sobre las mismas moléculas. De aquí se sigue que, mientras permanece una misma la densidad para un cuerpo de la misma masa y á la misma temperatura, la densidad permanece invariable á todas latitudes: el peso específico al contrario, varía como la misma pesantez, aumentando á medida que el cuerpo se aproxima á los polos, ó disminuyendo á proporción que se acerca al ecuador; pero en la práctica no se tiene en cuenta esta distinción.

(**). No hay que perder de vista que en esta fórmula, los valores de P y de V deben ser expresados en unidades que se correspondan; así, si V e presa centímetros cúbicos ó decímetros cúbicos, P representará gramos ó quilogramos.

Considerada en dos cuerpos que tienen un elemento común, nos muestra esta misma fórmula: 1º que á igualdad de volúmen las densidades son proporcionales al peso; 2º que á igualdad de peso, los volúmenes están en razón inversa de las densidades y 3º que á igualdad de densidad, los pesos son proporcionales á los volúmenes.

Siendo el gramo el peso de un centímetro cúbico de agua destilada al mayor grado de densidad, se puede decir, modificando los términos de la precedente definición, que la densidad de un cuerpo (sólido ó líquido) es la relación que existe entre el peso de un centímetro cúbico de este cuerpo, y el peso de un centímetro cúbico de agua destilada á +4º; ó si se quiere en términos más generales, podemos decir: la densidad de un cuerpo [sólido ó líquido] es la relación que existe entre el peso de este cuerpo y el peso de un volúmen igual de agua destilada á + 4º

Hay que notar sí, que la densidad varía en una misma sustancia según la temperatura á la que está sometida. En efecto, al subir la temperatura del cuerpo aumenta su volúmen; pero como el peso no cambia, se sigue que, si del cuerpo ya dilatado se toma un volúmen igual al primitivo la densidad será menor; por manera que, si sube la temperatura de un cuerpo disminuye más y más su densidad. Esta es la razón por qué es indispensable medir exactamente la temperatura de un cuerpo cuando se trata de buscar su densidad con precisión.

Cuando, en lenguaje ordinario, se enuncia la densidad de un cuerpo sin indicar la temperatura á la que se ha medido, se sobrentiende que el cuerpo ha estado á 0º; y el agua destilada que regularmente sirve para esta averiguación debe suponerse siempre á + 4º Así, si decimos que el mercurio tiene la densidad de 13,596, manifestaremos que un centímetro cúbico de este metal á 0º pesa 13gr·596; de la misma manera que un centímetro cúbico de agua destilada á + 4º pesa 1 gramo.

La densidad de los sólidos y de los líquidos se refiere, pues, siempre á la del agua destilada á + 4º tomada como término de comparación; mientras que la de los gases se refiere siempre al hidrógeno que es el menos denso de entre ellos.

Los procedimientos que se siguen para determinar la densidad de los cuerpos sólidos ó líquidos varían esencialmente según la naturaleza y el estado físico de los cuerpos en quienes se opera.

La importancia que tiene en Física la averiguación del peso específico, nos permitirá extendernos un tanto en el asunto; para lo cual, y á fin de facilitar la comprensión al alumno, hemos resuelto repetir unas tantas manipulaciones con el fin de reducir el asunto al terreno de la práctica; pues sólo de este modo puede fijar el estudiante las ideas, ahorrando al profesor largas é infructuosas explicaciones: todas ellas las tomamos de la interesante obra del Sr. Buignet. (*Maníp. de Physíque* 1877).

136. Determinar la densidad de los cuerpos sólidos que pueden soportar la inmersión en el agua [*].—Los cuerpos que hemos escojido á propósito para esta manipulación son: el *azufre*, el *estaño*, el *espato de Islandia* y la *cera*. La determinación de su densidad, se obtiene por tres procedimientos diferentes, que traen consigo tres aparatos distintos, á saber: la balanza hidrostática, el frasco y el areómetro de Nicholson.

I PROCEDIMIENTO POR LA BALANZA HIDROSTÁTICA.

137. Descripción del aparato.—La balanza hidrostática toma su nombre del uso á que está destinada. Se distingue de la balanza ordinaria por una disposición especial que permite pesar los cuerpos sólidos en el agua ó en otro líquido.

La columna que sirve de soporte al instrumento es hueca en dirección de su eje, entrando en ella una barra dentada que puede subir ó bajar á beneficio de un piñón la que arrastra consigo los brazos de la balanza, y por tanto; los platillos que penden de ellos. Los platillos tienen en su parte inferior y central unos pequeños ganchos que sirven para suspender el cuerpo que se trata de pesar. Cuando se desea hacer la pesada se suspende el cuerpo por medio de un hilo muy delgado de uno de los ganchos de la

[*]. Por cuerpos sólidos que pueden soportar la inmersión en el agua entendemos aquellos que, al contacto de este liquido, no sufren alteración ninguna, ni en sus propiedades físicas ni en sus cualidades químicas.—Por tanto, esta definición excluye: 1º Todos los cuerpos que descomponen el agua en frío, como el potasio, el sodio &ª; 2º Todos aquellos que disuelve el agua en parte ó en totalidad, como el azúcar, la goma, el alcanfor, el clorato de potasio y casi todas las sales cristalizables; 3º En fin, todos aquellos que. no siendo en apariencia ni descompuestos ni disueltos, experimentan nobstante alguna alteración en su forma ó volúmen, como el almidón, las semillas y un gran número de sustancias orgánicas ú organizadas.

balanza, y se lo sumerje en el agua, poniendo en juego la barra dentada por intermedio de su piñón.

Para el buen resultado de la operación conviene que la balanza sea, sino de precisión, á lo menos muy exacta; siendo una de las condiciones de exactitud el que la columna de suspensión esté vertical.

138. **Procedimiento operatorio.**—Este comprende las siguientes manipulaciones:

1º Asegurarse de la exactitud de la balanza; poner su base horizontal, lo que trae consigo, si la construcción es bien hecha, que el eje del soporte ó columna esté vertical.

2º Suspéndase el cuerpo que se trata de pesar de uno de los platillos de la balanza á beneficio de un hilo lo más delgado posible: colóquense en el otro platillo los pesos que sean menester para hacer perfecto equilibrio; hecho lo cual se tiene el peso p' del cuerpo en el aire (*).

3º Colóquese debajo del platillo en que está el cuerpo, un vaso de vidrio que contenga agua destilada á + 4º Bájese la barra dentada moviendo el piñón de derecha á izquierda hasta sumerjir totalmente el cuerpo en el agua del vaso.

Tan luego como se sumerje el cuerpo se rompe el equilibrio, inclinándose la balanza del lado de los pesos, lo que prueba el empuje del líquido [133]. Colóquese entonces en el platillo del que pende el cuerpo, las pesas necesarias para restablecer exactamente el equilibrio roto. Según el principio de Arquimedes [133] este número de gramos ó fracciones de gramo, que lo llamaremos p'; representa la pérdida de peso del cuerpo sumerjido; pero según el mismo principio, esta pérdida representa también el volúmen del agua desalojada; ó lo que es lo mismo, el peso de un volúmen de agua precisamente igual al volúmen del cuerpo sumerjido. Si pues se tiene:

Por una parte, el peso p del cuerpo sólido en el aire;

De otra parte, el peso p' de un igual volúmen de agua,

[*]. En vez de establecer el equilibrio por medio de pesas conocidas, se puede establecerlo con limalla, perdigones, arenilla etc. Quitando entonces el cuerpo sólido y reemplazándolo con gramos hasta restablecer el equilibrio, se obtendrá el peso p del cuerpo con más exactitud, por el método de las dobles pesadas: esto se prefiere, sobre todo, si hay duda de la bondad de la balanza.

La densidad d del cuerpo sólido está representada en la simple expresión:

$$d = \frac{p}{p'}\text{.—véase la fórmula [2].}$$

Nobstante, hay que notar que p' no representará el volúmen del agua desalojada, y por tanto, el volúmen del cuerpo sometido al experimento, sino en tanto que la temperatura del agua destilada se halle á $+ 4^{\circ}$; porque únicamente á este grado de calor un centímetro cúbico de agua destilada corresponde á un gramo. Para cualquiera otra temperatura t hay que hacer una corrección; he aquí el modo de ejecutarla:

Aplicando al caso actual la fórmula fundamental P=VD, se ve que el volúmen del líquido desalojado, cualquiera que sea, es siempre igual á su peso dividido por su densidad [3]. Sí, pues se conoce la densidad δ que tiene el agua á la temperatura t, se viene muy facilmente en conocimiento del volúmen al cual corresponde el peso p'; así se tiene $V = \frac{p'}{\delta}$;sustituyendo este nuevo valor en la fórmula precedente, nos dará la densidad corregida:

$$d = \frac{p}{\frac{p'}{\delta}} = \frac{p}{p'}\,\delta.$$

en la que δ representa, como lo hemos dicho, la densidad que tiene el agua á la temperatura t de la observación. Pero esta densidad ha sido determinada con cuidado por M. Despretz para todas las temperaturas comprendidas entre -9° y $+ 100^{\circ}$ Bastará, pues, consultar la tabla para conocer el valor.—Como rara vez la temperatura ambiente pasa de 30° nos limitaremos á indicar aquí el grado de densidad del agua desde 0° á 30°

CUADRO

DE LAS DENSIDADES DEL AGUA DESTILADA

A LAS DIFERENTES TEMPERATURAS COMPRENDIDAS ENTRE 0° y + 30° (Despretz).

(Los semigrados han sido calculados por Interpelación).

0° 0,999873
0°,5............0,999900
1° 0,999927
1°,5............0,999946
2° 0,999966
2°,5............0,999983
3° 0,999999
3°,5............0,999999
4° 1,000000
4°,5............0,999999
5° 0,999999
5°,5............0,999984
6° 0,999969
6°,5............0,999949
7° 0,999929
7°,5............0,999902
8° 0,999878
8°,5............0,999845
9° 0,999812
9°,5............0,999771
10° 0,999731
10°,5............0,999685
11° 0,999640
11°,5............0,999583
12° 0,999527
12°,5............0,999470
13° 0,999414
13°,5............0,999349
14° 0,999285
14°,5............0,999205
15° 0,999125
15°,5............0,999102
16°....0,999079
16°,5............0,999036
17°....0,998794
17°,5............0,998703
18°....0,998612
18°,5............0,998517
19°....0,998422
19°,5............0,998317
20°....0,998213
20°,5............0,998108
21°....0,998004
21°,5............0,997894
22°....0,997784
22°,5............0,997675
23°....0,997566
23°,5............0,997431
24°....0,997297
24°,5............0,997187
25°....0,997078
25°,5............0,996939
26°....0,996800
26°,5............0,996681
27°....0,996562
27°,5............0,996418
28°....0,996274
28°,5............0,996130
29°....0,995986
29°,5............0,995837
30°....0,995688

Resultado de un experimento practicado en el azufre fundido por el procedimiento de la balanza hidrostática.

Sean:

p......Peso del azufre en el aire......$115^{gr},13$
$p,$......Pérdida de peso en el agua..... $58^{gr},03$
d Densidad del agua destilada á la temperatura de $11^{\circ},5$ que es la de la experiencia....... 0,9996

Se tiene, según las indicaciones que preceden:

$$d = \frac{p}{p'}\,\delta = \frac{115^{gr},13}{58^{gr},03} \times 0,9996 = 1,983$$

Luego el azufre fundido tiene á la temperatura de $+ 11^{\circ},5$ una densidad representada por 1,983.

139. **Caso de un sólido menos denso que el agua.**—Entre los cuerpos que pueden soportar la inmersión en el agua hay algunos que son especialmente más lijeros que este líquido, y que por consiguiente, flotan en su superficie en vez de sumerjirse en su masa. La cera, la estearina, parafina y un gran número de sustancias resinosas y grasas se encuentran en este caso. Se puede, nobstante, obtener su densidad á expensas de la misma balanza hidrostática; pero el manual operatorio, debe ser un tanto modificado, como se va á ver:

1º Suspéndase del gancho de uno de los platillos de la balanza hidrostática un cuerpo pesado que termine en una punta metálica, y sumérjaselo totalmente en agua destilada, equilibrándolo con limalla.

2º Colóquese sobre el mismo platillo el cuerpo cuya densidad se trata de averiguar, y anótese el número de pesas que hay que añadir en el otro plato de la balanza para equilibrarlo, con lo cual tendremos el peso del cuerpo en el aire.

3º Trasládese la sustancia á la parte inferior del platillo y cláveselo en la punta metálica de que hemos hablado anteriormente; despréndase las burbujas de aire que quedan adheridas. Anótese entonces la pérdida de peso p' que sufre el cuerpo por el hecho de su inmersión. Como su densidad es menor que la del agua, p' será superior á p;

4º Por último, apúntese la temperatura que tiene el agua en el momento de la inmersión.

La fórmula que dá la densidad d de la sustancia examinada, es la misma que anteriormente:

$$d = \frac{p}{p'}\,\delta$$

Resultado de un experimento con la cera. (1)

Sean:

p ...... Peso de la cera en el aire ...... $31^{gr},53$
p' ...... Pérdida de peso en el agua, ó peso de un volúmen de agua igual al de la cera .... $32^{gr},58$
δ ...... Densidad del agua destilada á la temperatura $+12^\circ$, que es la del experimento 0,9995

Se tiene pues;

$$d = \frac{p}{p'}\,\delta = \frac{31^{gr},53}{32^{gr},58} \times 0{,}9995 = 0{,}967.$$

OBSERVACION.—Cuando se trata de investigar el peso específico de los cuerpos menos densos que el agua, resulta que, la pérdida de peso después de la inmersión es siempre mayor que lo que el cuerpo pesa en el aire, porque el empuje es grande; ó mejor dicho, el volúmen del agua desalojada por el cuerpo pesa más que el cuerpo mismo. Esta es la razón por que p resulta menos que p' y como la primera hay que dividir por la segunda, el resultado no puede ser nunca un número entero, sino una fracción, circunstancia que está comprobando la menor densidad de tales cuerpos con relación al agua destilada.

(1). La determinación de la densidad de la cera tiene su importancia en farmacia, porque facilmente se puede reconocer su adulteración si se tiene en cuenta que la densidad de la cera pura de abejas oscila entre 0,966 y á lo más 0,969; mientras que la extraída del reino vegetal puede subir hasta 0,990. (Roussin, *Journal de pharmacie et de chimie*, 4ª serie, XI, 416) Nobstante, para el caso en que la cera verdadera pueda ser mezclada con la vegetal que aumenta su peso específico y el sebo que lo disminuye, sería preciso proceder de otro modo, por análisis química, para la cual bastaría tratar la cera sospechosa con una lejía de potasa al décimo, hacerla hervir, y estudiar los productos que resultan de la saponificación (Buignet obra cit.)