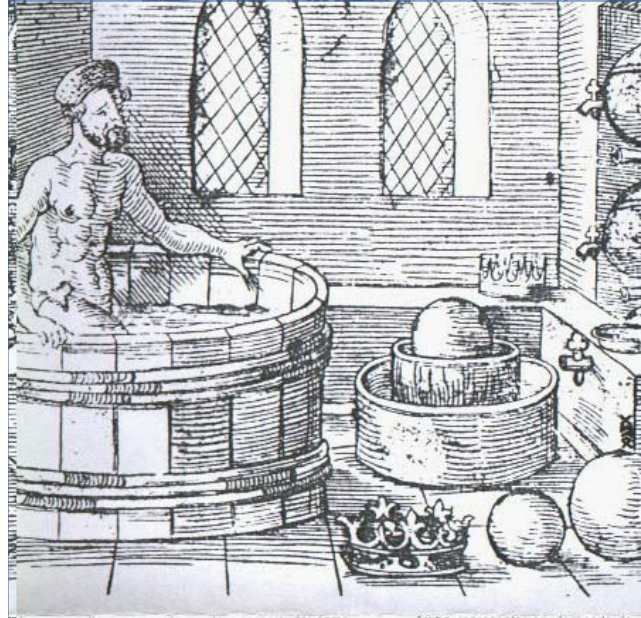
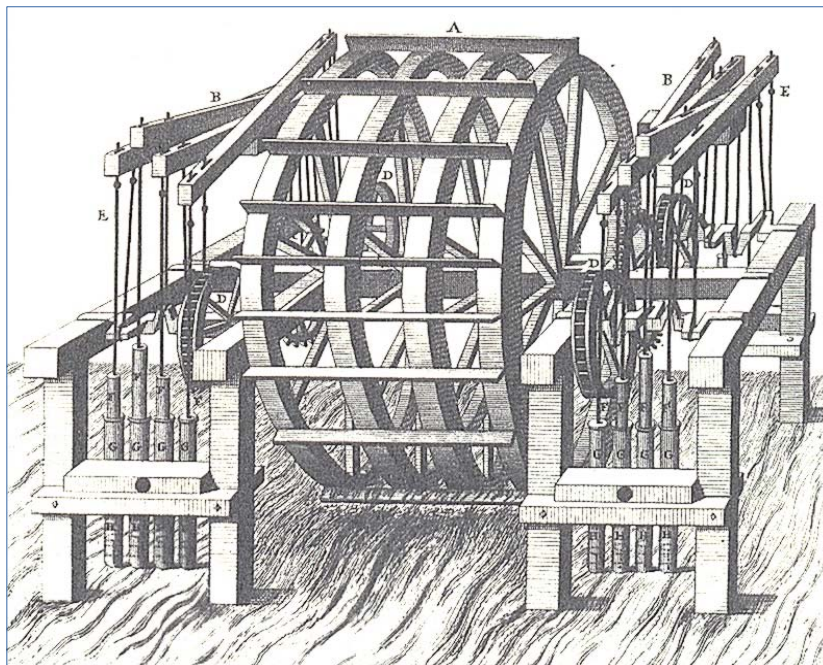


2.2



Comprobación del Principio de Arquímedes



Dibujo de la instalación de bombeo situada debajo del puente de Londres (1729)

LOS LÍQUIDOS

La **Hidráulica** tiene por objeto el estudio del comportamiento de los líquidos. Su origen se remonta a la antigüedad, época en la que ya se realizaban algunas aplicaciones de carácter práctico, concretamente relacionadas con problemas del riego y de la construcción de acueductos.

Arquímedes, el físico más grande de la Antigüedad, el que con el descubrimiento de la ley de la palanca estableció los fundamentos científicos de la mecánica, fue también el primero que reconoció las propiedades especiales que diferencian a los líquidos de los sólidos y las sistematizó en sencillos principios.

Conocida es la tradición que refiere cómo descubrió, con la aplicación del que luego se ha llamado **principio de Arquímedes**, el fraude de un orfebre, que en lugar de hacer una corona de oro macizo, como se le había encargado, introdujo en ella una cantidad de plata, sin alterar el peso total.

Arquímedes no sólo fue un gran matemático, y como tal hizo importantísimos descubrimientos, sino que tubo además una aguda capacidad de comprensión de las leyes de la Naturaleza, y, sobre todo, supo dar aplicación práctica, muchas veces del modo más osado, a las leyes descubiertas por él. Se cuenta que los romanos sitiadores de Siracusa no pudieron adelantar nada en su empeño por espacio de dos años, porque Arquímedes deshizo todos sus ataques con máquinas inventadas por él.

Las leyes fundamentales que rigen el comportamiento de un líquido en reposo y en movimiento, si se exceptúa el conocido principio de Arquímedes, se han desarrollado en época reciente, y siguen conservando su validez en la aplicación de los complejos problemas que plantea el desarrollo de las más modernas técnicas.

Lo que, en primer término, diferencia a los cuerpos sólidos de los líquidos es que éstos no tienen forma determinada, sino que se adaptan a la forma de la vasija que los contiene. Los cuerpos líquidos ofrecen como carácter exclusivo el ser apenas compresibles. De los sólidos difieren en que las fuerzas de atracción entre sus moléculas es bastante menor, por lo que tienen tal movilidad, que no presentan resistencia alguna a la división.

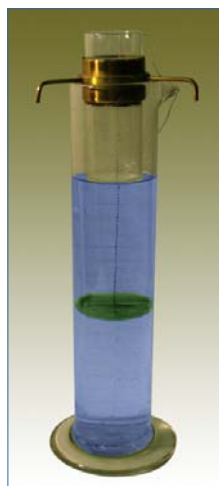
Son características distintivas de los líquidos, la viscosidad o fluidez, el volumen independiente del vaso que los contiene y su poca compresibilidad. La compresibilidad y la viscosidad son las propiedades de los líquidos que permiten establecer la distinción entre *líquido perfecto o ideal* y *líquido real*.

De hecho, por *líquido perfecto* se entiende el que tiene compresibilidad y viscosidad nulas y que, por consiguiente, no presenta rozamientos internos. En cambio los *líquidos reales* se oponen a las fuerzas que modifican su forma con fuerzas viscosas o de rozamiento interno, cuyas intensidades se anulan al cesar el movimiento.

La Hidráulica se divide en dos partes. la **Hidrostática** y la **Hidrodinámica**. La *Hidrostática* es la estática de los líquidos, es decir la parte de Mecánica que estudia las condiciones necesarias para el equilibrio de los líquidos y de los cuerpos que están en contacto con ellos. La *Hidrodinámica* estudia el equilibrio de los líquidos en movimiento. En Hidrodinámica, al contrario que lo que ocurre en Hidrostática, no es posible prescindir de la distinción entre líquidos reales y líquidos ideales o perfectos, ya que los fenómenos relacionados con la viscosidad o con los rozamientos internos se manifiestan precisamente en el momento en que las partículas del líquido están en movimiento relativo.

PRESIONES EN EL INTERIOR DE UN LÍQUIDO

Cada capa de moléculas paralela a la superficie comprime, por efecto de su peso, a las que están situadas debajo, y soporta el de las que están encima; luego existirá una presión en cualquier punto del líquido, dirigida de arriba para abajo, tanto mayor cuanto más profundo esté, y no habrá equilibrio si no existe otra igual y contraria de abajo para arriba.



Nº inv.: 02.2 / 55
Fecha: 1875
Fabricante desconocido
Latón y vidrio
 $\Phi = 7 \text{ cm}$ altura = 40 cm

Para comprobar una y otra, se introduce en el agua un tubo de vidrio, abierto por sus dos extremos, en uno de los cuales se mantiene ajustado exactamente un disco (*obturador*), de modo que al penetrar el tubo en el líquido por dicho extremo no pueda entrar el agua en su interior. Para comodidad, el obturador suele unirse mediante un cordoncillo, del cual se le sostiene por dentro del tubo.

En cuanto el líquido rodea en cantidad suficiente el extremo del tubo, ya no hay que sostener el obturador, que queda adherido, demostrando la existencia de la presión de abajo para arriba; pero echando agua dentro del tubo, cuando el nivel interior llega sensiblemente a ser el exterior (si el obturador tiene peso pequeño) se ve caer al fondo dicho obturador, probando así la existencia de la presión de arriba para abajo, la igualdad de ambas presiones cuando el nivel es el mismo y dándonos el medio de medirlas.

La experiencia se verifica de igual modo, sean cualesquiera la forma del tubo, dirección o situación del orificio y del punto de la masa líquida, siendo precisa la misma altura de nivel interior, siempre que la distancia vertical del centro de gravedad de la superficie útil del obturador a la libre del líquido sea la misma, de donde resultan las consecuencias siguientes:

- a) La presión es la misma en todos los puntos de una misma capa líquida, en equilibrio, paralela a la superficie libre.*
- b) Aumenta con la profundidad de dicha capa.*
- c) Es proporcional a la densidad del líquido, y su valor numérico se obtiene multiplicando el peso de la unidad de volumen del líquido por el área de la superficie que la soporta y por la distancia del centro de gravedad de ésta a la superficie de nivel.*

VASOS COMUNICANTES

Como los líquidos sometidos a la experiencia y a nuestra observación están, en general, contenidos en recipientes bajo la influencia de la gravedad, y su superficie es de poca extensión, las condiciones de equilibrio serán estas:

1ª.- *La superficie libre es plana y horizontal.*

2ª.- *Todos los puntos de un mismo plano horizontal dentro de la masa líquida soportan presiones iguales.*

Cuando un mismo líquido está contenido en depósitos que pueden comunicarse, será preciso, para que al ponerlos en comunicación no se altere el equilibrio, que *la superficie libre de todos ellos esté en el mismo plano horizontal*, puesto que juntos los recipientes constituyen un vaso único, en el cual se puede considerar una capa líquida horizontal, común, que ha de soportar una presión uniforme en sus diferentes puntos, para lo cual las alturas de las distintas superficies libres tienen que ser iguales.



Nº inv.: 02.2 / 56

Fecha: 1875

Fabricante desconocido

Madera, metal y vidrio

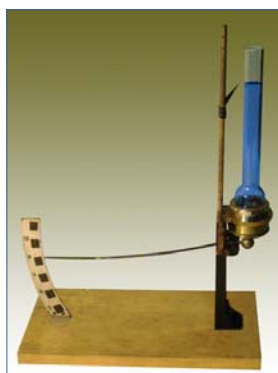
10,5 x 10,5 x 32 cm

Sustituyendo el tubo recto por otros diferentes, el líquido siempre se elevará al mismo nivel que en el vaso grande, y si hubiera uno corto, se obtendrá un surtidor que alcanzaría la misma altura.

Si los vasos comunicantes tuviesen líquidos distintos, para que el equilibrio no se altere, mientras permanezcan éstos sin mezclarse, sus alturas han de ser inversamente proporcionales a sus densidades.

La teoría de los vasos comunicantes explica el fundamento de los *pozos artesianos, las fuentes intermitentes*, etc. Antiguamente, cuando no existían motores de elevación de aguas, se aplicaba este principio de los vasos comunicantes para el suministro de agua a las poblaciones. Los depósitos se encontraban a más altura que la población y así se lograba que el agua llegara a las viviendas.

APARATO DE HALDAT



Nº inv.: 02.2 / 57

Fecha: 1875

Fabricante desconocido

Latón, madera y vidrio

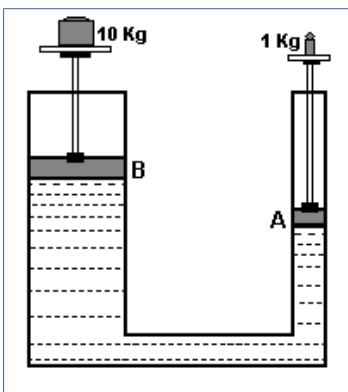
25 x 13 x 35 cm

La presión que el peso de un líquido determina sobre el fondo del vaso que le contiene es constante mientras no cambie el área de éste y la distancia vertical de su centro de gravedad a la superficie libre, puesto que sólo depende de estos factores.

Según el *principio de Pascal*, la presión sobre el fondo de un recipiente no depende de la forma de éste, sino de la altura que el líquido alcance en él y de su densidad: $p = \rho gh$ (donde p es la presión, ρ la densidad, g la gravedad y h la altura de la columna de líquido)

Esto se demuestra mediante el **aparato de Haldat**. Consiste en un depósito, de base fija, donde pueden atornillarse sucesivamente diferentes vasos sin fondo, provistos de embocaduras metálicas iguales; un índice móvil para marcar la altura del nivel líquido en el vaso y un mecanismo provisto de una varilla, que lleva en el fondo, nos indicará en una escala graduada el valor de la presión que ejerce ese líquido en el fondo del depósito. Si llenamos los distintos depósitos con un mismo líquido y quedando verticales, veremos que la presión en el fondo será siempre la misma.

LA PRENSA HIDRÁULICA



La **prensa hidráulica** es una aplicación del *principio de Pascal*, de gran uso en la industria, que permite efectuar grandes presiones con esfuerzos relativamente pequeños.

Ponemos en comunicación, dos vasos cilíndricos, de sección diferente A y B, llenos de agua hasta cierta altura y provistos de émbolos que ajusten a las paredes; veremos que si cargamos uno de ellos con pesas, para que el otro no se mueva hay que cargarle también con un peso tanto mayor o menor como su área lo sea respecto del otro.

$$p_A = \frac{F_A}{S_A} \quad p_B = \frac{F_B}{S_B}$$

Según el principio de Pascal, las presiones en A y en B deben ser iguales:

$$\frac{F_A}{S_A} = \frac{F_B}{S_B} \quad \text{lo que implica que} \quad \frac{F_A}{F_B} = \frac{S_A}{S_B}$$

Si la sección del pistón grande es n veces mayor que la del pequeño, la fuerza obtenida por el pistón en el pistón grande será también n veces la ejercida sobre el pistón pequeño.



Nº inv.: 02.2 / 58
 Fecha: 1875
 Fabricante desconocido
 Latón, madera y vidrio
 32 x 19 x 41,5 cm

PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Todo cuerpo sumergido en un líquido, experimenta un empuje vertical de abajo hacia arriba equivalente al peso de líquido desalojado.

Se demuestra experimentalmente mediante la **balanza hidrostática**. Esta balanza fue ideada por *Galileo*. Se sustituye uno de los platillos de una balanza por otro, corto, provisto de un gancho bajo el platillo que permita colgar los cuerpos. Acompaña a la balanza dos cilindros de latón, uno macizo y el otro hueco, que tienen el mismo volumen y que se ajusta por lo tanto perfectamente el uno al otro; se cuelga del gancho de un platillo el cilindro hueco y de éste el macizo. Todo este sistema pesa lo que el otro platillo; en otro caso se obtiene el equilibrio con las pesas necesarias.

Se coloca un recipiente con un líquido cualquiera, de manera que el cilindro macizo quede sumergido completamente en él; la balanza se inclina del lado contrario, porque al entrar el cilindro en el líquido sufre por parte de éste una presión de abajo hacia arriba (el empuje); para restablecer el equilibrio es necesario llenar del mismo líquido el cilindro hueco. Ahora bien, el volumen de líquido contenido en este cilindro es igual al volumen del cilindro macizo, de donde puede deducirse que este último experimenta un empuje vertical por parte del líquido, dirigido hacia arriba, e igual al peso del volumen de líquido desalojado por el cuerpo sumergido; con lo cual queda demostrado el principio de Arquímedes.



Nº inv.: 02.2 / 59

Número de ejemplares: 6 (distintos modelos)

Fecha: 1875 - 1920

Fabricante desconocido

Latón, madera y vidrio

38 x 19 x 56 cm

LA DENSIDAD

Llamamos *densidad absoluta*, o simplemente densidad, de un cuerpo a su masa por unidad de volumen. Si m es la masa de un cuerpo y V su volumen, su densidad será: $\rho = m/V$

La densidad relativa de un cuerpo se define como el cociente entre su densidad absoluta y la de otro cuerpo que se toma de referencia. Para los sólidos y líquidos es usual el tomar el agua pura a 4 °C como cuerpo de referencia. Para los gases es frecuente el tomar el aire, bajo condiciones normales, como sustancia de referencia.

La densidad relativa viene expresada por un número sin dimensiones. Obviamente hay que indicar cual es la sustancia de referencia y en el caso en que esta sea el agua, la densidad relativa viene expresada por el mismo número que que representa la densidad en g/cm^3 .

Existen muchos métodos para determinar la densidad de sólidos y líquidos. Estos métodos difieren unos de otros en la técnica utilizada para determinar “la masa de un volumen igual de agua”.

MÉTODO DE LA BALANZA HIDROSTÁTICA

Suponiendo el *cuerpo sólido* homogéneo, o de densidad uniforme, se pesa primero el cuerpo en el aire; después se suspende de un platillo de la balanza por medio de un hilo fino, y se sumerge en agua. El equilibrio desaparece a causa del empuje; se colocan pesas en el platillo hasta restablecer el equilibrio de la balanza. Esas pesas nos dan el empuje, o sea el peso de un volumen de agua igual al del cuerpo. La relación entre la masa del cuerpo en el aire y el peso del volumen de agua nos da directamente la densidad del cuerpo.

MÉTODO DEL PICNÓMETRO

Este método se emplea mucho cuando se trata de cuerpos en estado pulverulento, o de cuerpos muy porosos, es decir, que tienen en su interior muchos huecos.

Se utiliza un frasco llamado *picnómetro* o *frasco de Klaproth*. Es un pequeño frasco de vidrio, cerrado por un tapón esmerilado que se prolonga en un tubo vertical de pequeño diámetro, en el que hay marcada una señal de enrase, de modo que se puede disponer de un volumen constante bien determinado.



Nº inv.: 02.2 / 60
Fecha desconocida
Fabricantes desconocido
Vidrio
 $\Phi = 5 \text{ cm}$ $h = 12 \text{ cm}$

Para determinar la *densidad de un sólido*, se sigue el siguiente proceso:

Pesamos el picnómetro lleno de agua destilada junto con la muestra del sólido (situada fuera del frasco). Después colocamos el sólido dentro del frasco y enrasamos hasta el volumen inicial. Por nueva pesada averiguamos la masa del agua desalojada, cuyo volumen es igual al del sólido. De este modo obtenemos la densidad relativa del sólido. Es obvio que el sólido no deberá ser soluble en el agua ni absorber ésta.

Para determinar la *densidad de un líquido*, se sigue el siguiente proceso:

Pesamos primeramente el picnómetro lleno de agua destilada y después lleno con el líquido problema. Descartando la masa del picnómetro vacío, en las dos pesadas, obtenemos la densidad relativa del líquido problema como el cociente de su peso por el de igual volumen de agua.

Con el picnómetro sólo determinamos densidades relativas, pero como podemos saber la densidad del agua a la temperatura del experimento (consultando unas tablas) podemos obtener fácilmente las densidades absolutas.

MÉTODO DE LA BALANZA DE MOHR-WESPHAL

El principio de Arquímedes establece que todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido experimenta un empuje vertical, dirigido hacia arriba, igual al peso del fluido desalojado.

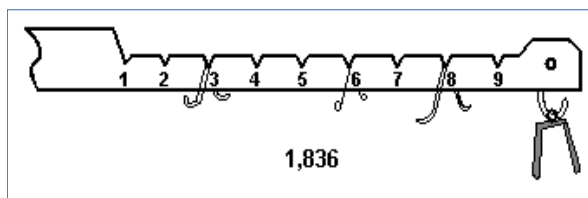
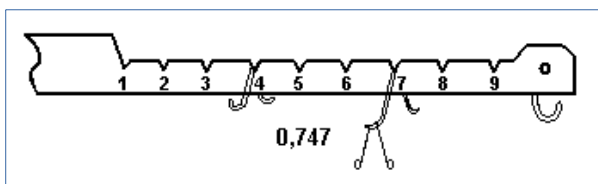
La Balanza de *Mohr-Wesphal* se utiliza para la determinación de densidades de líquidos, más o menos densos que el agua.

Es una balanza con brazos desiguales. El brazo corto termina en una masa compacta de peso fijo, provista de una aguja que debe enfrentarse a otra aguja fija al chasis para obtener el equilibrio. Del extremo del brazo largo pende, mediante un hilo delgado, un inmersor de vidrio, que normalmente lleva incorporado un termómetro, para medir la temperatura del líquido cuya densidad se determina. En el brazo largo hay marcadas diez muescas, numeradas de 1 a 10, aunque realmente esta numeración debe interpretarse como 0.1, 0.2, 0.3, ..., de modo que el 10 representa la unidad.



Nº inv.: 02.2 / 61
Número de ejemplares: 13
Diferentes épocas
Fabricantes: Llofríu, H. Giralt Laporta, Sogeresa
Madera, latón y vidrio
Diferentes tamaños

Cuando el inmersor está colgado en el aire, queda equilibrado por el contrapeso (la balanza está equilibrada). Si se sumerge el inmersor en un líquido, el empuje hidrostático desequilibra la balanza y si queremos restablecer el equilibrio debemos colocar unas pesas en forma de horquilla, llamadas *reiters*, a caballo sobre el brazo graduado, de forma que se compense exactamente el empuje hidrostático.



E

El reiter unidad (1/1) se ha elegido de modo que colocado en la división 10 equilibre exactamente el empuje que experimenta el inmersor cuando está sumergido en agua pura a 4 °C. Este reiter representa, por tanto, la unidad de empuje cuando está colocado en la división 10. Los demás reiters tienen respectivamente una masa que es 1/10, 1/100, 1/1000 de la del reiter unidad, de modo que colocadas en la división 10 representan respectivamente 1/10, 1/100, 1/1000 de la unidad de empuje. Cada reiter, colocado en otra división cualquiera representa tantas décimas de su valor como indica el número de la muesca sobre la cual se encuentra situado. Así, por ejemplo, los reiters 1/1, 1/10, 1/100 y 1/1000, reposando respectivamente en las muescas 7, 4, y 7 representan un empuje de 0,747 unidades y en el caso en que estuvieran colocados en el 1, 8, 3 y 6 sería un empuje de 1,836. Puesto que la unidad de empuje corresponde al agua y la densidad de ésta es bien conocida (1 g/cm³ a 4 °C), la balanza de Mohr-Wesphal nos dará la densidad del líquido problema a partir de una simple lectura de la posición de los reiters necesarios para equilibrar la balanza cuando el inmersor está sumergido en el líquido problema.

MÉTODO DEL FRASCO

Se puede emplear un pequeño frasco de cuello estrecho cerrado con un tapón esmerilado para impedir la evaporación del líquido, con el que se llena hasta un punto señalado de antemano, lo cual se consigue llenándolo por completo y quitando el exceso con papel secante, teniendo mucho cuidado con que no quede ninguna burbuja de aire.

Se llena el frasco de esta manera, y restando el peso del vidrio, que debe ser conocido, se tendrá el peso del líquido. Se desocupa el frasco y se llena de agua, determinando del mismo modo el peso de ésta. Dividiendo el primer peso por el segundo se tiene la densidad del líquido considerado



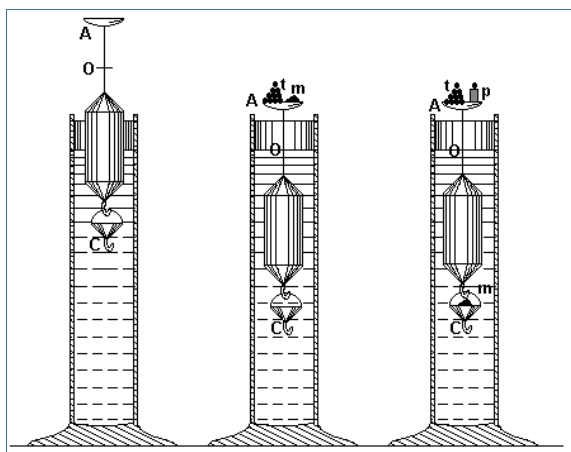
Nº inv.: 02.2 / 62
Fecha desconocida
Fabricante desconocido
Vidrio
 $\Phi = 0,8 \text{ cm}$ $h = 14 \text{ cm}$

Para calcular la densidad de cuerpos sólidos pequeños, con objeto de evitar la influencia del hilo de suspensión, puede emplearse, en lugar de la balanza, un instrumento especial, llamado *areómetro*, o *gravímetro*. La primera referencia del uso del areómetro en Inglaterra fue publicada por Boyle en 1675, utilizándose el instrumento para permitir detectar monedas falsas a través de su densidad.

Son flotadores huecos, lastrados convenientemente, para que, aún cuando varíe, entre determinados límites, su parte sumergida, conserven la posición vertical; su figura es variable, pero suelen estar formados por un cilindro o esfera que se prolonga por un lado en un cilindro más delgado, o varilla, y llevan el lastre (mercurio o perdigones) en un cono o esfera que ocupa la parte inferior en posición normal.

Los hay de dos clases: unos deben quedar en equilibrio, teniendo siempre el mismo volumen sumergido; es decir, coincidiendo la superficie del líquido con una señal, o *línea de enrase*, para lo cual su varilla va provista de un platillo unido al extremo libre, en donde se coloca el peso que sea preciso. Éstos se llaman de *volumen constante y peso variable*; otros no llevan platillo, pero su varilla tiene una escala graduada, que indica en cada caso la porción sumergida, que dependerá de la densidad del líquido, sin añadir peso alguno. Éstos se llaman de *volumen variable y peso constante*.

MÉTODO DEL AREÓMETRO DE NICHOLSON



Como ejemplo de los primeros tenemos el **areómetro de balanza o de Nicholson**, destinado a medir densidades de sólidos. Se compone de un cilindro hueco, generalmente de latón o de cobre, terminado por dos conos. El superior lleva en la prolongación del eje una varilla muy delgada, en cuyo extremo va fijado un platillo *A*; en la parte inferior un pequeño gancho sostiene una cestita *C* lastrada con plomo, de modo que al sumergir el aparato en el agua se quede en equilibrio en posición vertical.

S

Se comienza colocando el areómetro en el agua y unas pesas *t* sobre el platillo superior *A* hasta que se consiga que el nivel del agua coincida con una señal *O* de la varilla que se llama *línea de enrase*; después se pone sobre el platillo el cuerpo *m* cuya densidad se quiere calcular, y se quitan las pesas que sean necesarias para que siga el instrumento enraseado como antes. Es evidente que el peso del cuerpo es igual al de pesas que ha habido que quitar del platillo. Después se sumerge el cuerpo *m* en el agua colocándolo sobre la base del cono *C* que hace de lastre; el equilibrio desaparece y el instrumento sale del agua más que antes; las pesas que hay que añadir en el platillo para restablecer el enrase dan la medida del empuje, y por lo tanto el peso *p* de un volumen de agua igual al del cuerpo; el cociente de la primera cifra obtenida por la segunda nos dará la densidad buscada.



Nº inv.: 02.2 / 63
 Fecha: 1875
 Fabricante desconocido
 Caja de madera y terciopelo
 Metal
 $\Phi = 4 \text{ cm}$ $h = 26 \text{ cm}$

AREÓMETROS, DENSÍMETROS, VOLÚMETROS, ALCOHOLÍMETROS

El areómetro de Nicholson es de los denominados de *volumen constante*, porque en todas las operaciones se cargan con pesos diferentes para hacer que siempre lleguen al mismo punto de enrase, y por esta razón resulta muy poco cómodo. En cambio, mucho más fáciles de manejar y de uso más extendido son los **areómetros de volumen variable** y de peso constante.

Estos aparatos consisten en una especie de tubos de vidrio de diámetro exterior lo más igual posible y lastrados en el fondo mediante mercurio o plomo; dentro del tubo va una escala de papel con la graduación conveniente. Colocando el aparato en un líquido, se sumerge más o menos según la densidad de éste.



Nº inv.: 02.2 / 64
Número de ejemplares: 28
Fecha: 1865
Fabricante desconocido
Vidrio, mercurio, plomo y papel
Diferentes medidas y graduaciones

Los areómetros reciben el nombre de *densímetros* cuando directamente la lectura nos señala la densidad de los líquidos en que son sumergidos; y el de **volúmetros**, cuando señalan el volumen desalojado, del cual se deduce la densidad.



Fecha: 1875
Fabricante: Sallerón Dujardin
(Paris)
Vidrio, plomo y papel
 $\Phi = 1 \text{ cm}$ $h = 24,5 \text{ cm}$

La escala se forma del modo siguiente: Se lastra el tubo hasta que quede sumergido hasta un punto, que se señala con el 100. La parte sumergida se divide en 100 partes iguales. Cuando la división 100 está en la parte superior del tubo, éste no sirve más que para los líquidos más densos que el agua; si al sumergirlo en uno de estos líquidos flota hasta la división n , la densidad del líquido será $100/n$.

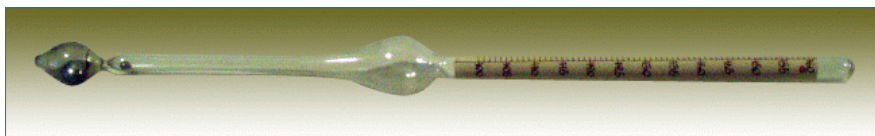
Ordinariamente se marcan frente a cada división los números que dan directamente la densidad, es decir, el resultado que da dividir 100 por n ; entonces el instrumento recibe el nombre de **densímetro**.



Nº inv.: 02.2 / 66
Número de ejemplares: 22
Fecha: 1865
Fabricante desconocido
Vidrio, mercurio, plomo y papel
Diferentes medidas y graduaciones

Existen areómetros de peso constante, que tienen por objeto apreciar el grado de concentración de los ácidos, de soluciones salinas, licores, etc. Según el objeto especial de cada uno, se denominan *pesamostos*, *pesaácidos*, *pesaorinas*, etc. Sus escalas son diferentes, por graduarse con arreglo a cada uno de los líquidos

citados y sin sujeción a ley fija, por lo cual hay que indicar el autor al referirse a ellos; así se dice: el *aerómetro de Baumé*, de *Cartier*, etc.



Pesa éter, leche, alcohol
Nº inv.: 02.2 / 67
Fecha desconocida
Vidrio y metal
 $\Phi = 0,8 \text{ cm}$ $h = 34 \text{ cm}$

Como caso excepcional se encuentra el **alcoholímetro centesimal de Gay-Lussac**, que es un areómetro destinado a determinar el grado de alcohol puro que va unido a cantidades variables de agua en las diferentes clases de alcohol comercial.

Como el alcohol, más o menos acuoso, es menos denso siempre que el agua, se lastra el aparato de modo que el enrase en ésta se verifique cerca del extremo inferior de la varilla, en donde se pone le cero de la escala. Para graduar ésta, se disponen disoluciones de alcohol puro en agua, bien determinadas a cierta temperatura (15°C); el punto de enrase en cada una se marca con el número exacto de centésimas de alcohol que contiene; así, cuando se sumerge en una que tiene 20 de alcohol por 100 de mezcla, se señala el número 20, y en la que haya 60 de alcohol y el resto de agua, se señala el número 60, y sumergiéndose en alcohol puro, sin el menor vestigio de agua, el enrase debe indicar el número 100.

Basta, por lo tanto, observar en qué división de la escala se produce el enrase, para conocer el tanto por ciento de alcohol, si la temperatura es la indicada; si no lo es, hay tablas para calcular la corrección. Se puede adoptar la siguiente fórmula de corrección, debida a *Francoeur*: donde *c* representa los grados que señala el instrumento, y *t* es la diferencia entre la temperatura del líquido y 15°C; diferencia que es positiva bajo 15°C y negativa sobre 15°C.

Se expresa el resultado diciendo que el alcohol, el coñac, el aguardiente, etc., *es de tantos grados* (o sea, tantas centésimas de alcohol puro).

	<p><i>Nº inv.: 02.2 / 68</i> <i>Número de ejemplares: 5</i> <i>Fecha: 1875 - 1884</i> <i>Sallerón Dujardin (París)</i> <i>Cartier (París)</i> <i>Vidrio, mercurio, plomo y papel</i> <i>Diferentes medidas y graduaciones</i></p>	
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

LACTO-DENSÍMETRO DE M. QUEVENNE

Los *lacto-densímetros* o *pesaleches* fueron muy utilizados hasta que se vio que eran inexactos y no reconocían las falsificaciones.

Lleva una escala que indica el peso en gramos por litro del líquido que se estudia. Lleva dos escalas: una en color amarillo y otra en azul. Sirven para medir la leche pura o la misma leche cuando ha sido desnatada.

El aparato viene acompañado de un *cremómetro*, destinado a la medida de la cantidad de crema contenida en la leche. Consiste en una probeta graduada de tal manera que cada división equivale a un centímetro de su capacidad total. También se acompaña de un termómetro de escala centígrada para conocer la temperatura de la leche en el momento de la medida, pues hay que hacer unas correcciones mediante unas tablas adecuadas.

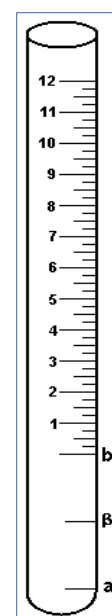


N° inv.: 02.2 / 69
 Fecha: 1875
 Fabricante: Sallerón Dujardin (París)
 Vidrio, plomo y papel
 $\Phi = 1,5 \text{ cm}$ $h = 18,5 \text{ cm}$

ACETÓMETRO DE OTTO

El **acetómetro o acetímetro**, aparato inventado por Otto, por medio de cual se puede determinar la cantidad de ácido acético que hay en el vinagre.

Consiste esencialmente en un tubo de vidrio que está dividido en las siguientes partes: hasta la línea *a* tiene el tubo una capacidad de 1 cm^3 . Entre *a* y *b* de 10 cm^3 . Las divisiones de la escala corresponden a 2 cm^3 . Tienen los números 1, 2, 3 ... y están subdivididas en cuatro partes iguales. Para probar un vinagre con este aparato, se vierte con cuidado una solución débil de tintura de tornasol, dejándola caer a lo largo de las paredes del tubo hasta llegar a la línea *a*. Luego se pone vinagre del que se quiere probar hasta la línea *b*. Se produce, al mezclarse con la tintura de tornasol, un líquido rojo. Luego se introduce solución normal de amoníaco (17 gramos exactos de amoníaco por litro) hasta que, después de agitar fuertemente, el color rojo del líquido se convierte en azul rojizo. Entonces se lee la división de la escala. cada unidad de la división indica 1 por 100 de ácido acético, llamado anhidro. Para probar disoluciones de ácido acético o vinagres más fuertes, sólo se pone vinagre hasta $\beta = 1/2 a b$, y luego se añade agua hasta *b*. El número indicado se multiplica por 2.



Fecha: 1875
 Fabricante desconocido
 Vidrio
 $\Phi = 1,5 \text{ cm}$ $h = 34 \text{ cm}$

ADHERENCIA

La atracción entre las moléculas de un mismo cuerpo recibe el nombre de *cohesión*; entre cuerpos diferentes el de *adhesión*. La que se ejerce entre los átomos, por la cual forman éstos las moléculas, se denomina *afinidad*.

Llámase **adherencia** a la atracción entre las moléculas de dos cuerpos diferentes. Se ejerce entre sustancias de todas clases. La prueba de la existencia de esta fuerza la tenemos en varios ejemplos: los cristales, largo tiempo superpuestos, llegan a adherirse tan fuertemente, que se rompen al intentar su separación; dos superficies de mármol, de plomo recién cortado y otros metales, se adhieren también con energía. Son así mismo ejemplos conocidos de adhesión al pegarse la cola a la madera, la argamasa a los ladrillos, la tiza a la pizarra, y otros muchos.

Para poner de manifiesto esta fuerza tenemos los llamados **Planos de Magdeburgo**. Son dos discos de vidrio perfectamente aislados, que llevan un gancho en su centro a fin de poder colgar el uno de un clavo, poniendo pesas suspendidas del platillo inferior, las cuales miden la adherencia cuando se consigue la separación.



Nº inv.: 02.2 / 71
Fecha: 1875
Fabricante desconocido
Madera, latón y vidrio
 $\varnothing=15\text{ cm}$ $h = 26\text{ cm}$

Aproximándolas por sus dos superficies planas, y ajustándolas por medio de suaves frotamientos, se adhieren tan enérgicamente, que se puede suspender un peso de la placa inferior, sin que se separen. El pulimento de las superficies y su extensión, influyen en la intensidad de la fuerza de adherencia.

También puede comprobarse la adherencia entre los líquidos. Para ello se suspende uno de los discos del platillo de una balanza; se coloca bien horizontal sobre la superficie del agua, por ejemplo, y veremos que es necesario poner en el otro platillo de la balanza algunas pesas para desprenderle. El agua forma bajo el disco un cilindro que va estrechando, a medida que la placa se eleva. El disco conserva, aún después de desprendido, cierta cantidad de líquido adherido.

En un principio se creyó que era necesario producir un vacío entre las dos láminas para que quedaran unidas a consecuencia de la presión atmosférica; pero puesto el aparato fuera de esta influencia, en una campana donde se extrajo el aire, las láminas continuaban adheridas.

FENÓMENOS MOLECULARES

Dentro de un líquido, alrededor de una molécula actúan atracciones simétricas, pero en la superficie, una molécula se encuentra sólo parcialmente rodeada por moléculas y en consecuencia es atraída hacia adentro del líquido por las moléculas que la rodean. Esta fuerza de atracción que tiende a arrastrar a las moléculas de la superficie hacia el interior del líquido, se denomina con el nombre de **tensión superficial**, y al hacerlo el líquido se comporta como si estuviera rodeado por una membrana invisible.

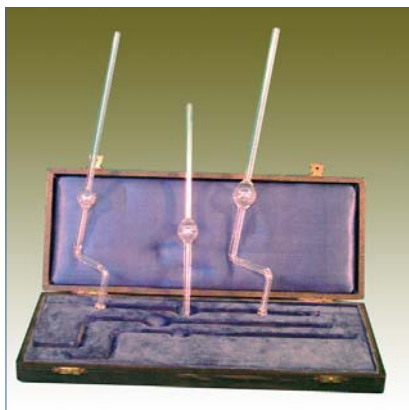
La tensión superficial es responsable de la resistencia que un líquido presenta a la penetración de su superficie, de la tendencia a la forma esférica de las gotas de un líquido, del ascenso de los líquidos en los tubos capilares y de la flotación de objetos u organismos en la superficie de los líquidos.

Termodinámicamente la tensión superficial es un fenómeno de superficie y es la tendencia de un líquido a disminuir su superficie hasta que su energía de superficie potencial es mínima, condición necesaria para que el equilibrio sea estable. Como la esfera presenta un área mínima para un volumen dado, entonces por la acción de la tensión superficial, la tendencia de una porción de un líquido lleva a formar una esfera o a que se produzca una superficie curva o menisco cuando está en contacto un líquido con un recipiente.

A la fuerza que actúa por centímetro de longitud de una película que se extiende se le llama tensión

superficial del líquido, la cual actúa como una fuerza que se opone al aumento de área del líquido.

El **tensímetro o estalagmómetro de Traubes** es de los dispositivos más empleados para la determinación de la tensión superficial de los líquidos. Consta de un tubo vertical de vidrio con un ensanchamiento situado entre un enrase superior y otro inferior provistos ambos de sendas escalas grabadas sobre el vidrio en divisiones arbitrarias; al extremo del tubo posee un ligero aplastamiento que constituye una pequeña plataforma plana.



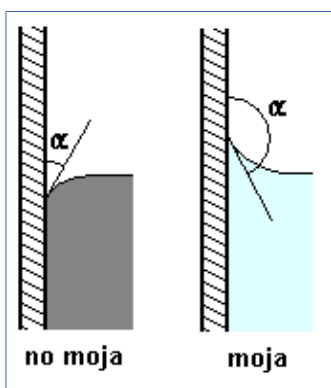
Nº inv.: 02.2 / 72
 Fecha desconocida
 Fabricante: M. Álvarez (Madrid)
 Vidrio
 $\varnothing=0,6 \text{ cm}$ $h = 21,5 \text{ cm}$
 $=0,6 \text{ cm}$ $h = 26,5 \text{ cm}$
 $\varnothing=0,6 \text{ cm}$ $h = 28 \text{ cm}$
 Caja de cuero con raso azul: 32,5 x 12 x 4 cm



Mediante una aspiración se toma líquido de una pequeña vasija situada bajo el estalagmómetro y se le hace ascender hasta el primer enrase. Seguidamente se deja fluir el líquido libremente y se cuenta el número de gotas que se desprenden hasta que se alcanza el enrase inferior. La operación se repite de forma análoga empleando el agua como referencia y anotando el número de gotas desprendidas en su caso. El valor de la tensión superficial del líquido, σ , se conoce a expensas de la del agua o líquido de referencia, σ' , de sus respectivas densidades, d y d' , y de los números que representan las gotas desprendidas en cada caso, n y n' .

$$\frac{\sigma}{\sigma'} = \frac{n' d}{n d'}$$

La expresión que se aplica es deducible al considerar que cada gota se desprende de la superficie circular del extremo del tubo cuando su peso equivale a la fuerza que la mantiene unida, y que con un razonamiento análogo para el líquido de referencia y con igual volumen en ambos casos.



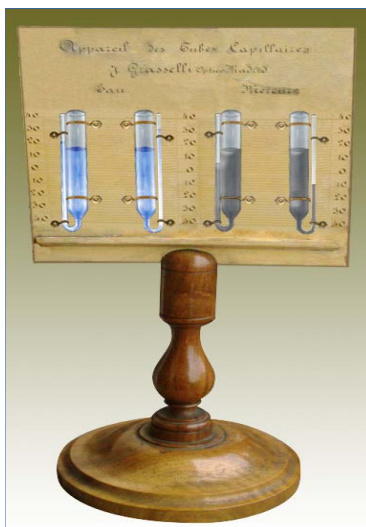
Cuando los líquidos entran en contacto con los sólidos se producen una serie de fenómenos denominados *capilares* que son muy llamativos cuando los tubos son muy estrechos o las láminas están muy próximas. Estos fenómenos se manifiestan por elevaciones o depresiones del nivel del líquido en el interior del tubo, según moje o no al sólido en contacto. Por la existencia de los meniscos sabemos que la superficie no puede ser plana en tales circunstancias, sino que forma con la pared un *ángulo* llamado *de conjunción* (α), cuyo valor varía desde 40° para mercurio-vidrio-aire, a 180° para agua-vidrio-aire; para valores del ángulo de conjunción *menores de 90°* el líquido *no moja* y al contrario sucede para valores superiores a dicha cantidad. La causa de las elevaciones y depresiones capilares en los tubos en la tensión superficial.

Este fenómeno lo estudió *Jurin* cuya ley nos dice: “*La elevación o depresión de un líquido en un tubo capilar varía en razón inversa al diámetro del tubo*”.

Para líquidos situados entre láminas muy próximas se obtiene leyes análogas:

“La altura de un líquido entre dos láminas verticales y paralelas es la mitad que en un tubo cuyo diámetro sea igual a la distancia entre las láminas”. Por lo tanto: “La altura entre dos láminas está en razón inversa de sus distancias”.

Mediante éste aparato se puede comprobar la ley de Jurin. Se compone de cuatro tubos capilares, cuyos diámetros son iguales dos a dos; se comunican con otros más gruesos. Están colocados sobre una escala arbitraria, con el cero en el centro. Se pone mercurio en dos de los mayores y agua en los otros dos, de modo que el líquido llegue en todos al cero de la escala. Se observa que en los tubos capilares menos gruesos, la diferencia de altura bajo y sobre cero respectivamente, es mayor que en los otros dos tubos que son de menor diámetro.



Nº inv.: 02.2 / 73

Fecha: 1875

Fabricante: J. Graselli

Madera y vidrio

16 x 16 x 37 cm



Nº inv.: 02.2 / 74

Fecha desconocida

Fabricante desconocido

Metal y vidrio

11,2 x 5 x 12,5 cm

10,2 x 3,5 x 15 cm

BOMBAS HIDRÁULICAS

Las **bombas hidráulicas** son aparatos destinados a elevar agua, utilizando la presión atmosférica.

Según su modo de trabajo y sus componentes, se denominan *aspirantes*, *impelentes*, *aspirantes-impelentes*, o *centrífugas*.

La parte esencial característica de estos aparatos es el *cuerpo de bomba*, que tiene por objeto producir la aspiración y la elevación o impulsión del fluido, venciendo la presión que se opone a ello. Consta de una caja que, por lo común, es un cilindro hueco, cuyo volumen interior está limitado por una pieza que ajusta lateralmente a la pared y puede moverse desde fuera mediante una varilla o eje. En las bombas ordinarias, dicha pieza móvil, llamada *émbolo* o *pistón*, recibe movimiento alternativo en la dirección del eje, y en las llamadas *centrífugas*, gira alrededor de éste. De modo que en aquellas el volumen interior es variable, y constante en éstas.

El cuerpo de bomba va provisto de dos válvulas: una, de entrada, que se abre hacia dentro cuando la presión exterior es mayor que la interior, y se cierra en caso contrario, y otra, de salida, que funciona de modo inverso.

BOMBA ASPIRANTE



Nº inv.: 02.2 / 75
Fecha: 1875
Fabricante: CULTURA (Madrid)
Metal y vidrio
15 x 11 x 44 cm



Nº inv.: 02.2 / 76
Fecha: 1860-80
Fabricante: Desconocido
Latón , madera y cristal
24 x 18,5 x 58 cm

Las bombas aspirantes o de émbolo son las más usadas. Constan de un cilindro hueco en cuyo interior se mueve el pistón o émbolo. Del cuerpo de bomba arrancan dos tubos, uno llamado de *aspiración*, y otro que recibe el nombre de *impulsión o compresión*. El primero pone en comunicación el interior del cilindro con el líquido que se trata de elevar, y el segundo hace comunicar el cilindro con el depósito donde se almacena el fluido o con el exterior simplemente. En donde el tubo de aspiración penetra en el cuerpo de bomba, hay una válvula llamada de aspiración que se abre de modo que permite el paso del líquido del tubo al cuerpo de bomba, pero impide que del cuerpo de bomba pase al tubo de aspiración.

El tubo de compresión va provisto de una válvula que al revés que la anterior se abre de tal modo que el líquido del cuerpo de bomba puede pasar al tubo de compresión y no al contrario. En las bombas aspirantes el cuerpo de bomba suele estar dispuesto de tal modo que el eje sea vertical.

BOMBA ASPIRANTE-IMPELENTE

Cuando la elevación de líquidos hay que hacerla hasta gran altura se utilizan las bombas aspirantes-impeles, controlando el paso del líquido mediante un sistema de válvulas. Cuando se sube el émbolo, el agua entra en el cilindro; al descender, la válvula que hay en su parte inferior se cierra debido a la presión del agua, impidiendo que se salga al exterior, y así pasa al segundo cilindro, que también tiene una válvula. Al subir el émbolo, vuelve a entrar más agua, que se va acumulando en el segundo cilindro, ya que las válvulas se han cerrado y le impiden volver hacia atrás. Llega un momento en que el segundo cilindro se ha llenado y entonces comenzará a salir el agua.



Nº inv.: 02.2 / 77
Fecha desconocida
Fabricante: CULTURA (Madrid)
Latón, madera y vidrio
18,2 x 9,5 x 22 cm



Nº inv.: 02.2 / 78
Fecha: 1860-1880
Fabricante desconocido
Metal y vidrio
24 x 18,5 x 48 cm

En las bombas impelentes no interviene la presión atmosférica, pues el cuerpo de bomba se halla dentro del líquido que se ha de elevar, el cual es impelido al bajar el émbolo. Si la salida ha de ser continua, se hace pasar el líquido a un depósito de aire, o se consigue por el juego alterno de dos bombas combinadas, como sucede en las dedicadas a los incendios.

FUENTE INTERMITENTE

La **fente intermitente** es un aparato ideado por *Sturm*, que sirve para ver los efectos de la presión ejercida por el aire en la salida intermitente de un líquido. Nos viene a recordar el fenómeno de las fuentes y manantiales naturales, que sólo dan agua en ciertas épocas del año, o durante cierto número de días.

Consiste en un depósito de vidrio, que es atravesado desde su parte superior por un tubo, que termina en la parte baja del aparato, donde hay un recipiente, donde se recogerá el agua; en el centro de éste hay tres pequeños orificio que permiten la salida de parte del líquido.

Primeramente se llena de agua el depósito y se cierra muy bien, para evitar la entrada de aire. Entonces saldrá agua por los tres orificios centrales, y mientras tanto por el tubo interior está entrando aire procedente de abajo, pues habrá equilibrio entre la presión exterior y la interior. Debido a la salida de agua, por los tres orificios de arriba, se va llenando el plato de abajo y su nivel va subiendo poco a poco; llega un momento en que el agua de abajo comienza a subir por el interior del tubo, ya que la presión del aire exterior la empuja hacia arriba. Cuando el nivel del agua del plato ha disminuido lo suficiente para permitir de nuevo la entrada de aire por él, comienza de nuevo a salir agua a través de los orificios superiores, debido a la presión ejercida por el aire interior y el agua que hay. El proceso se repetirá continuamente hasta que se agote el agua del depósito.



Nº inv.: 02.2 / 79

Fecha: 1875

Fabricante desconocido

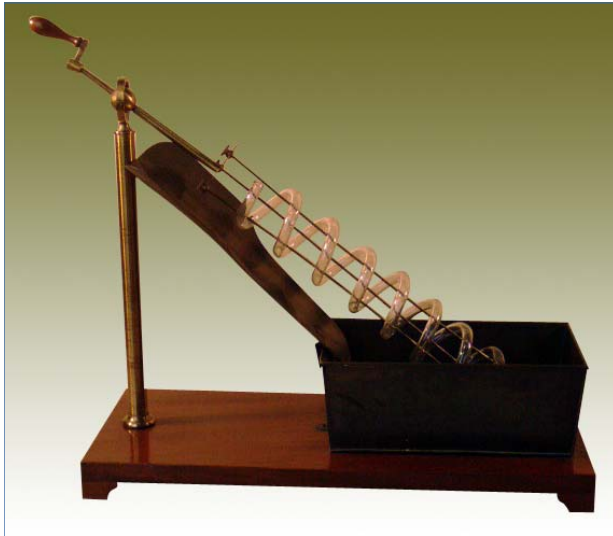
Latón y vidrio

$\Phi = 27\text{ cm}$ $h = 78\text{ cm}$

TORNILLO DE ARQUÍMEDES

Entre los muchos dispositivos que inventó *Arquímedes* (212 a. de C.), cabe destacar el llamado **Tornillo de Arquímedes**, consistente en un aparato que permite la elevación de agua. Se empleó como instrumento para achicar el agua de los buques o como aparato de riego en la agricultura (y todavía se utiliza, 2200 años después de su muerte). La forma más usual que adopta este tornillo de riego es un tubo arrollado en espiral alrededor de un eje central. Durante su funcionamiento, un extremo se encuentra por debajo del agua. El eje,

inclinado, del dispositivo emerge de la superficie del agua. El ángulo de inclinación debe elegirse de tal forma que el extremo inferior de un paso esté más abajo que el superior del que le precede. Si se hace girar todo el dispositivo con una manivela alrededor del eje longitudinal, el agua contenida en su interior asciende.



Nº inv.: 02.2 / 80

Fecha: 1875

Fabricante desconocido

Metal, vidrio, madera y latón

48 x 20 x 40 cm

MOLINETE HIDRÁULICO

Cuando se abre un orificio en la pared de un depósito que contiene un líquido y éste comienza a salir, se ha roto el equilibrio que determinaban la presión sobre las paredes y la resistencia de éstas; la presión que actúa en la vena líquida deja de actuar en la pared del recipiente; por lo tanto, al faltar esta fuerza, las demás del conjunto formarán un sistema cuya resultante será igual y opuesta a ella. Esta resultante se denomina *reacción de salida*; es de sentido contrario al inicial de la vena, y se pone de manifiesto en los llamados *vasos de reacción*.

El más usual es el **molinete hidráulico**; consiste en un recipiente, terminado en su parte inferior en dos o más tubos horizontales, simétricamente unidos a él, que tienen los extremos libres abiertos y doblados en sentido opuesto. Suspendido el sistema, de modo que pueda girar alrededor de su eje vertical, se llena de agua, o de otro líquido. Se ve que, al comenzar la salida del líquido, si no hay muchos rozamientos, el recipiente adquiere un movimiento de rotación que prueba la existencia de un par de fuerzas que determina la reacción de ambos orificios. Estos movimientos comprueban la presión hidrostática sobre las paredes del vaso.



Nº inv.: 02.2 / 81

Fecha: 1875

Fabricante: Arthur Utz, Berna (Suiza)

Vidrio y cuerda

12 x 12X 30 cm