



INSTITUTO DE  
FORMACIÓN  
SUPERIOR

## **UNIDAD N°2: HIDROSTÁTICA**

### **FÍSICA BIOLÓGICA**



## INDICE

1

### Contenido

<b>OBJETIVOS</b>	2
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	2
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	2
<b>ESQUEMA DE CONTENIDOS</b>	3
<b>CONTENIDOS</b>	4
Introducción	4
Densidad	5
Peso específico	6
Densidad relativa	6
Presión	6
Principio de Pascal	8
Prensa hidráulica	8
Teorema fundamental de la hidrostática	9
Presión atmosférica	11
Vasos comunicantes	13
Barómetro	14
Manómetro	14
Empuje	15
Principio de Arquímedes	15
Peso aparente	16
Densímetro	17
Cohesión y adhesión	17
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	19



## OBJETIVOS

2

### OBJETIVO GENERAL

Reconocer los fenómenos físicos presentes en sistemas hidrostáticos de fluidos (líquidos o gases) utilizados en la vida cotidiana.

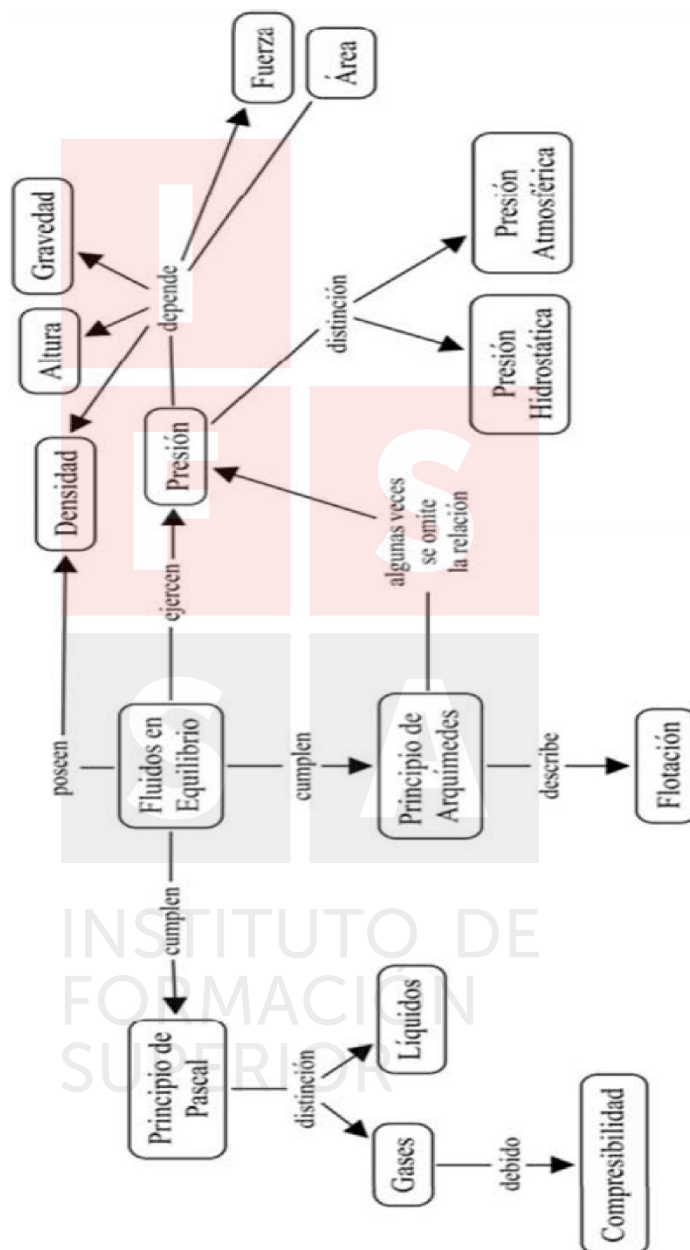
### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprender el concepto de fluidos, sus características y propiedades físicas.
- Identificar las magnitudes físicas vinculadas al estudio de los fluidos en reposo.
- Explicar el Principio de Pascal y su relación con el funcionamiento de las máquinas o prensas hidráulicas.
- Identificar las presiones que influyen en un sistema
- Comprender el concepto de fuerza de empuje y tensión superficial.

INSTITUTO DE  
FORMACIÓN  
SUPERIOR



## ESQUEMA DE CONTENIDOS





## CONTENIDOS

### Introducción

En esta unidad comenzaremos con el estudio del comportamiento de sistemas compuestos por fluidos. Por fluido vamos a entender a los líquidos y a los gases, para ello vamos a repasar las características que distinguen cada una de los estados de agregación en que una sustancia se puede encontrar.

En general los cuerpos de la naturaleza, que necesariamente están constituidos por sustancias, se clasifican según su estado de agregación, en sólidos, líquidos y gases; diferenciándose entre sí por sus características macroscópicas y microscópicas, cuyas propiedades se indican brevemente en el cuadro que sigue desde el punto de vista microscópico o sea considerando la estructura atómico - molecular del mismo.

Recordemos que las sustancias se encuentran en la naturaleza en tres fases típicas: sólida, líquida y gaseosa con las siguientes características microscópicas que se detallan

Características microscópicas:	Gases	Líquidos	Sólidos
Movimiento molecular predominante	Traslación Rotación sobre su propio eje	Vibración Pueden trasladarse o deslizarse	Vibran alrededor de un punto fijo
Fuerzas de cohesión entre moléculas	Muy débiles	Mayores que en los gases	Muy intensas
Espacios entre moléculas	Grandes (aproximadamente diez veces el diámetro molecular)	Intermedias Varían de uno a seis diámetros moleculares (de acuerdo a su densidad)	Muy pequeñas (aproximadamente un diámetro molecular)

Desde el punto de vista macroscópico, considerando esencialmente las características forma y volumen de los cuerpos tenemos:

Características macroscópicas	Gases	Líquidos	Sólidos
Forma	No tienen forma propia, adquieren la del recipiente que las contiene (si es cerrado)	No tienen forma propia. Como las moléculas pueden deslizarse, los líquidos se derraman y fluyen modificando su forma	La forma permanece constante. Como las fuerzas de cohesión son muy intensas, carecen de movimiento molecular de translación.
Características macroscópicas	Gases	Líquidos	Sólidos
Volumen	No tienen volumen propio. Como las fuerzas de cohesión son muy débiles, las moléculas se pueden separar fácilmente ocupando un volumen cada vez mayor	Tienen volumen propio. La intensidad de las fuerzas de cohesión, no permite que las moléculas se separen y mantienen el volumen constante	Tienen volumen propio

No siempre es posible una clasificación estricta, pues hay sustancias cuya inclusión en uno u otro grupo es dudosa, por ejemplo, el vidrio y la brea son líquidos que fluyen tan lentamente que se comportan como sólidos. Por otra parte, un sólido que se encuentra en estado pulverulento, como la arena o el talco, se adapta a la forma del recipiente y no por eso pasa a ser un líquido. Otro caso son los plasmas, gases altamente ionizados, que no se ajustan a las categorías mencionadas y a menudo se los llama el cuarto estado de la materia, pero no será motivo de nuestro estudio.

El hecho de que una sustancia sea sólida, líquida o gaseosa, depende del grado con el que las fuerzas entre sus moléculas determinan su estructura; pudiendo cambiar su estado de agregación si se modifican ciertas condiciones físicas que alteren el valor de dichas fuerzas. Como ejemplo familiar de esto tenemos el agua común que se puede encontrar en fase sólida y la llamamos hielo, o líquida o gaseosa.

El estudio de los fluidos lo haremos en varias etapas, estudiando primero los líquidos y posteriormente analizaremos los gases. En el estudio de los líquidos abordaremos primero los líquidos en reposo, que es la parte de la mecánica de los fluidos llamada hidrostática o estática de fluidos, y en la siguiente nos ocuparemos del estudio de los líquidos en movimiento, la hidrodinámica.

Los líquidos son prácticamente incompresibles; se necesitan grandes fuerzas para lograr pequeñas variaciones de volumen, en nuestro análisis consideraremos siempre a los líquidos incompresibles (o sea que consideraremos que cualquiera sea el tipo de fuerza que se les aplique su volumen permanece constante).

Para el estudio de los fluidos debemos considerar algunas magnitudes nuevas que no hemos usado hasta el momento.

## Densidad

Todos sabemos que el plomo es más “pesado” que la madera, sin embargo, no tenemos dificultad en sostener con la mano una pequeña plomada de pesca y no es fácil para nadie, a menos que sea un atleta, sostener con la mano un tablón de madera del tamaño que se emplean en los andamios de las construcciones. Indudablemente que el tablón es más pesado que la plomada. Lo que la gente quiere significar, cuando dice “el plomo es más pesado que la madera” es que, si se tienen dos cuerpos de igual tamaño y uno es de madera y el otro de plomo, sumergidos en el mismo campo gravitatorio, el cuerpo de plomo resulta más pesado. Para poder evaluar numéricamente esta propiedad y poder comparar estas características propias de las distintas sustancias sin necesidad de construir cuerpos de igual tamaño establecemos una relación numérica entre la masa de cada uno de los cuerpos y el volumen que ocupan y a esa magnitud, que asociamos a la sustancia, llamamos densidad.

Es importante tener en cuenta que para calcular la densidad necesitamos un cuerpo al que le podamos medir la masa y el volumen, pero lo que obtenemos es una propiedad de la sustancia que constituye el cuerpo y no del cuerpo mismo.

Matemáticamente, entonces la densidad es el cociente entre la masa de un cuerpo y su volumen.

$$\delta = \frac{m}{V}$$

Como la masa la medimos en [kg] y el volumen en [m<sup>3</sup>] la unidad de densidad se indicará en [kg/m<sup>3</sup>]

## Peso específico

Generalmente se trabaja con la densidad, pero, de modo análogo, si lo que se considera es la relación entre el peso del cuerpo y su volumen lo que se obtiene es el peso específico

$$\rho = \frac{P}{V}$$

La unidad con que se mide esta magnitud es [N / m<sup>3</sup>]

Sustancia	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Sustancia	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Espacio interestelar	10 <sup>-18</sup> a 10 <sup>-21</sup>	Sol, promedio	1.41 X 10 <sup>3</sup>
Hidrógeno*	0.090	Cloroformo	1.53 X 10 <sup>3</sup>
Oxígeno	1.43	Azúcar	1.6 X 10 <sup>3</sup>
Helio	0.178	Magnesio	1.7 X 10 <sup>3</sup>
Aire seco (30°C)	1.16	Hueso	(1.5-2.0) X 10 <sup>3</sup>
Aire seco (0°C)	1.29	Arcilla	(1.8-2.6) X 10 <sup>3</sup>
Espuma de estireno	0.03 X 10 <sup>3</sup>	Marfil	(1.8-1.9) X 10 <sup>3</sup>
Madera de balsa	0.12 X 10 <sup>3</sup>	Vidrio	(2.4-2.8) X 10 <sup>3</sup>
Corcho	(0.2-0.3) X 10 <sup>3</sup>	Cemento	(2.7-3.0) X 10 <sup>3</sup>
Madera de pino	(0.4-0.6) X 10 <sup>3</sup>	Aluminio	2.7 X 10 <sup>3</sup>
Madera de encina	(0.6-0.9) X 10 <sup>3</sup>	Mármol	2.7 X 10 <sup>3</sup>
Éter	0.74 X 10 <sup>3</sup>	Diamante	(3.0 - 3.5) X 10 <sup>3</sup>
Alcohol etílico	0.79 X 10 <sup>3</sup>	Luna	3.34 X 10 <sup>3</sup>
Acetona	0.79 X 10 <sup>3</sup>	Planeta Tierra, promedio	5.25 X 10 <sup>3</sup>
Aguarrás	0.87 X 10 <sup>3</sup>	Hierro	7.9 X 10 <sup>3</sup>
Benceno	0.88 X 10 <sup>3</sup>	Níquel	8.8 X 10 <sup>3</sup>
Mantequilla	0.9 X 10 <sup>3</sup>	Cobre	8.9 X 10 <sup>3</sup>
Aceite de oliva	0.92 X 10 <sup>3</sup>	Plata	10.5 X 10 <sup>3</sup>
Hielo	0.92 X 10 <sup>3</sup>	Plomo	11.3 X 10 <sup>3</sup>
Agua (0°C)	0.99987 X 10 <sup>3</sup>	Mercurio	13.6 X 10 <sup>3</sup>
Agua (3.98°C)	1.000 00 X 10 <sup>3</sup>	Uranio	18.7 X 10 <sup>3</sup>
Agua (20°C)	1.001 80 X 10 <sup>3</sup>	Oro	19.3 X 10 <sup>3</sup>
Asfalto	1.02 X 10 <sup>3</sup>	Tungsteno	19.3 X 10 <sup>3</sup>
Agua de mar	1.025 X 10 <sup>3</sup>	Platino	21.5 X 10 <sup>3</sup>
Plasma sanguíneo	1.03 X 10 <sup>3</sup>	Osmio	22.5 X 10 <sup>3</sup>
Sangre entera	1.05 X 10 <sup>3</sup>	Pulsar	10 <sup>8</sup> - 10 <sup>9</sup>
Madera de ébano	(1.1-1.3) X 10 <sup>3</sup>	Materia nuclear	~10 <sup>17</sup>
Caucho duro	1.2 X 10 <sup>3</sup>	Núcleo de estrella neutronica	~10 <sup>18</sup>
Ladrillo	(1.4-2.2) X 10 <sup>3</sup>	Agujero negro (1 masa solar)	10 <sup>19</sup>

\* Los gases están a 0° C y a presión atmosférica.

## Densidad relativa

En la práctica cotidiana de la industria, la medición de densidad de una sustancia se suele establecer, no de manera absoluta, esto es midiendo la masa y el volumen de una muestra de la sustancia considerada sino de modo relativo, esto es, comparando la densidad de la muestra con la densidad de otra sustancia, y a ese valor obtenido se le llama densidad relativa. Esta magnitud es utilizada con frecuencia en la práctica. Por carencia de elementos de laboratorio adecuados y porque el proceso de medición es más rápido.

Así se define la densidad relativa como el cociente entre la densidad ( $\delta$ ) de una sustancia y la de otra ( $\delta'$ ) tomada como referencia. Generalmente se toma la densidad del agua destilada a 4 °C como referencia.

$$\delta_R = \frac{\delta}{\delta'}$$

Como puede observarse se trata de una magnitud adimensional.

## Presión

Cuando jugamos en la pileta de natación con una pelota y deseamos sumergirla es muy difícil, tenemos que hacer una fuerza importante y si la pelota es grande, para lograrlo, necesitamos de la ayuda de un

amigo. Por otra parte, en cuanto dejamos de hacer fuerza la pelota sube inmediatamente a la superficie. Hay otros objetos que son más fáciles de sumergir como un ladrillo, o un ancla y otros que son imposibles de sumergir como un transatlántico o una colchoneta inflable.

Así algunos objetos que tienen poco peso como una llave o una moneda se sumergen fácilmente y otros con mucho peso como un barco no lo hacen. En otros casos, objetos “livianos” como una pelota o colchoneta inflable flotan con facilidad.

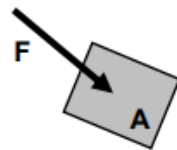
Los que mencionamos más arriba no son los únicos fenómenos relacionados con la inmersión en los líquidos. Es más fácil sostener un objeto pesado dentro del agua que fuera de ella. Cuando buceamos pareciera que nos apretaran los tímpanos. Éstos y muchos otros ejemplos nos indican que un líquido en equilibrio ejerce una fuerza sobre un cuerpo sumergido. Pero, ¿qué origina esa fuerza?, ¿en qué dirección actúa?, ¿también el aire en reposo ejerce fuerza sobre los cuerpos?,' ¿qué determina que un cuerpo flote o no? Éstas son algunas de las cuestiones que aborda la hidrostática.

Un fluido en reposo en contacto con la superficie de un sólido ejerce fuerza sobre todos los puntos de dicha superficie. Esto ocurre tanto con las paredes del sólido que contiene al fluido como contra la superficie de cualquier sólido que esté sumergido en el fluido, esto se puede mostrar realizando un experimento simple. Si se llena de líquido una botella de plástico con orificios en sus paredes se ve que los chorritos de agua salen en dirección perpendicular a las paredes. Esto muestra que la dirección de la fuerza que el líquido ejerce en cada punto de la pared es siempre perpendicular a la superficie de contacto.



En el estudio de los fluidos, resulta necesario conocer cómo es la fuerza que se ejerce en cada punto de las superficies, más que el valor de la fuerza en sí misma. Una persona acostada o parada sobre una colchoneta aplica la misma fuerza en ambos casos (su peso). Sin embargo, la colchoneta se hunde de manera distinta cuando se concentra la fuerza sobre la pequeña superficie de los pies. Si alguien recibe un pisotón con el taco de un zapato de varón común sufrirá una pequeña molestia si en cambio lo recibe con el taco tipo aguja de una mujer, aunque sea más liviana que el hombre puede recibir un daño importante. El peso de la persona se reparte entre los puntos de la superficie de contacto: cuanto menor sea esta superficie, más fuerza corresponderá a cada punto. Para poder comparar estos efectos se define una nueva magnitud que establece una relación entre el módulo de la fuerza ejercida y la superficie sobre la que se aplica. Esta magnitud es la presión.

**Se define la presión como el cociente (o relación) entre el módulo de la fuerza ejercida perpendicularmente, a una superficie (F) y el área (A) de la misma**



$$p = F/A \quad [N]/[m^2] = [Pa]$$



La fuerza se mide en newton y la superficie en metros cuadrados; la unidad de presión resultante se llama pascal. Antiguamente se utilizaban otras unidades para medir la presión y en algunas profesiones queda el recuerdo de eso, así los médicos indican los valores de las mediciones de presión arterial en centímetros de mercurio y las estaciones de servicio la presión del aire en las cámaras de los neumáticos en libras por pulgada cuadrada.



#### **Curiosidades.... ¿Sabías qué?**

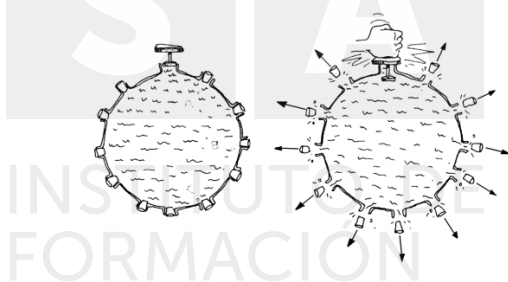
*Cuando buceamos, la molestia que sentimos en los oídos a una cierta profundidad no depende de cómo orientemos la cabeza: el líquido ejerce presión sobre nuestros tímpanos independientemente de la inclinación de los mismos. La presión se manifiesta como una fuerza perpendicular a la superficie, cualquiera sea la orientación de ésta.*

### **Principio de Pascal**

La característica estructural de los fluidos hace que en ellos se transmitan presiones, a diferencia de lo que ocurre en los sólidos, que transmiten fuerzas. Este comportamiento fue descubierto por el filósofo, físico y matemático francés Blaise Pascal (1623-1662), quien estableció el siguiente principio:

**Un cambio de presión aplicado a un fluido en reposo dentro de un recipiente se transmite sin alteración a través de todo el fluido. Es igual en todas las direcciones y actúa mediante fuerzas perpendiculares a las paredes que lo contienen.**

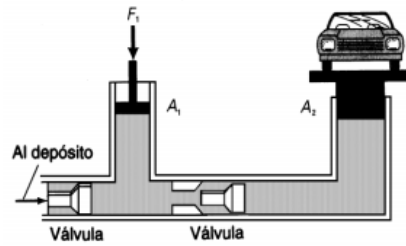
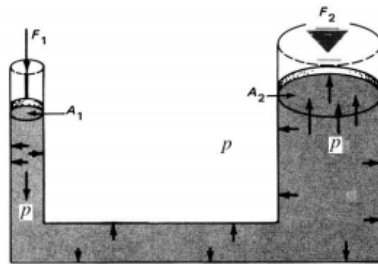
En la figura se recurre a una esfera que está recubierta con tapones y tiene un émbolo por medio del cual se puede aumentar la presión del líquido contenido en su interior.



Cuando se aumenta la presión a que está sometido el líquido, este aumento se transmite a todo el volumen, por esta razón todos los tapones se ven sometidos a la misma presión y saltan juntos. El principio de Pascal fundamenta el funcionamiento de las genéricamente llamadas máquinas hidráulicas, que funcionan aplicando este principio.

### **Prensa hidráulica**

Este dispositivo, llamado prensa hidráulica, ejemplifica el funcionamiento de muchos artefactos que se diseñaron aplicando el principio de Pascal; la prensa, el gato, el freno, el ascensor y la grúa, entre otras, permiten con cambios de montaje, prensar objetos, levantar pesos, estampar metales, etc. ejerciendo fuerzas muy pequeñas por un lado y obteniendo fuerzas muy grandes por el otro. Veamos cómo lo hace.



El recipiente lleno de líquido de la figura consta de dos cilindros de diferente sección con dos pistones en los extremos que tiene un ajuste perfecto capaces de resbalar libremente dentro de los cilindros comunicados entre sí. Si se ejerce una fuerza  $F_1$  sobre el pistón pequeño, la presión ejercida se transmite, tal como lo observó Pascal, a todos los puntos del fluido incompresible dentro del recinto originando fuerzas perpendiculares sobre las paredes. Nos interesa la presión que se ejerce sobre el pistón grande ( $A_2$ ) que origina una fuerza  $F_2$  de manera que mientras el pistón de menor diámetro baja, el de mayor sube. La presión sobre los pistones es la misma pero la fuerza es diferente como

$$p_1 = p_2$$

entonces

$$F_1 / A_1 = F_2 / A_2$$

y por lo tanto

$$F_2 = F_1 \cdot (A_2 / A_1)$$



#### Curiosidades.... ¿Sabías qué?

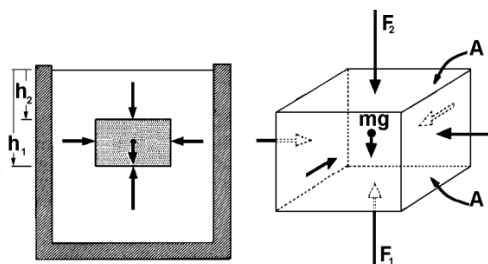
Así cuando vemos levantar un automóvil con un gato hidráulico notamos que el operario debe realizar muchos bombeos para levantar muy poco el vehículo. Esto es porque este dispositivo no crea energía. Lo que ocurre es que el trabajo mecánico realizado sobre el pistón chico tiene que ser igual al que efectúa el grande.

### Teorema fundamental de la hidrostática

En los líquidos la presión aumenta con la profundidad, las paredes de los diques se construyen con un espesor mayor hacia la base, para sumergirse unos pocos metros basta con una máscara de buceo, pero para hacerlo a grandes profundidades se requieren equipos especialmente diseñados para resistir las grandes presiones.

Vamos a deducir una expresión matemática que nos permita calcular la variación de la presión con la profundidad. Para ello, consideremos un recipiente con un líquido de densidad  $\delta$  en reposo.

Se puede, entonces, aislar imaginariamente una parte del líquido y analizar las fuerzas que actúan sobre él. Considérese un paralelepípedo regular de líquido con superficie de la base horizontal  $A$ , ubicado a una profundidad arbitraria, como se muestra en la figura.



Si realizamos el diagrama de cuerpo libre de este volumen de líquido. Se ve que está sometido a la acción de fuerzas laterales que ejerce el mismo líquido. Pero como el cuerpo se encuentra en reposo necesariamente las fuerzas laterales se equilibran entre sí. Por otra parte, las fuerzas verticales se pueden agrupar en tres:

- La fuerza  $F_1$  resultante de la totalidad de las fuerzas que realizan las capas inferiores de líquido y que sostiene el cuerpo. Como son las fuerzas que sostienen al cuerpo su dirección es de abajo hacia arriba.
- El peso del cuerpo que suponemos concentrado en el centro de masa del mismo y cuyo módulo es igual a la masa del cuerpo por el valor de la gravedad en el lugar ( $mg$ ).
- La fuerza  $F_2$ , resultante del peso de las capas superiores de líquido que actúa sobre el cuerpo. su dirección es de arriba hacia abajo.

Si aplicamos la ley de Newton a este cuerpo en equilibrio resulta

$$\Sigma F_y = m \cdot a_y$$

Pero en nuestro caso como el sistema se encuentra en reposo la aceleración es cero, y la ecuación queda:

$$\Sigma F_y = F_1 - F_2 - m \cdot g = 0$$

Como la fuerza  $F_1$  que actúa sobre la parte inferior del cuerpo es igual al producto de la presión  $p_1$  existente a esa profundidad del líquido por la sección  $A$  de la base del cuerpo. De manera similar la fuerza  $F_2$  que actúa sobre la cara superior es igual a la presión  $p_2$  por la sección  $A$ .

A su vez la masa de este volumen de líquido es igual al producto de la densidad del líquido por el volumen, de lo que resulta:

$$F_1 = p_1 \cdot A$$

$$F_2 = p_2 \cdot A$$

$$m = V \cdot \delta = (h_1 - h_2) \cdot A \cdot \delta$$

Reemplazando estos valores en la sumatoria de fuerzas y simplificando finalmente queda

$$\Sigma F_y = F_1 - F_2 - m \cdot g = p_1 \cdot A - p_2 \cdot A - (h_1 - h_2) \cdot A \cdot \delta \cdot g = 0$$

$$p_1 - p_2 = (h_1 - h_2) \cdot \delta \cdot g$$

Que es el resultado final del Teorema General de la Hidrostática. La diferencia de presiones entre dos puntos de una masa líquida depende de la densidad del líquido y de la diferencia de altura entre ambos puntos.

Si los puntos 1 y 2 se encuentran a igual profundidad la diferencia de alturas es igual a cero es por esto que dos puntos de un fluido a igual profundidad estarán a igual presión.

11



Recordemos que este teorema vale para líquidos en reposo, si los líquidos estuvieran en movimiento, como el agua de un arroyo o la que corre por las cañerías de distribución, este movimiento se debe justamente a la existencia de diferencias de presiones en distintos puntos de un mismo nivel.

Si se considera el punto 2 en la superficie ( $h_2 = 0$ ) el teorema da el valor de la presión sobre la superficie a una profundidad arbitraria  $h$  pero por sobre la superficie de líquido está actuando la presión que ejerce la columna de aire atmosférico, que también es un fluido, la llamada presión atmosférica. Entonces la presión total ejercida sobre la superficie de profundidad  $h$  es la debida a la presión de la columna del líquido más la presión que ejerce el aire sobre la columna. Es decir:

$$p = p_{\text{atmosférica}} + p_{\text{líquido}} = p_{\text{atmosférica}} + \delta \cdot g \cdot h$$

Así otra expresión del teorema general de la hidrostática es

$$p = p_0 + \delta \cdot g \cdot h$$

donde con  $p_0$  indicamos la presión atmosférica existente en ese momento y lugar (veremos que la presión atmosférica varía no sólo en los distintos lugares del planeta, sino que, por cambios climáticos, también temporalmente) con  $p$  indicamos la presión absoluta existente sobre la superficie de profundidad  $h$ , que es el resultado del efecto sumado de la presión atmosférica más la presión originada por la columna de líquido. Se denomina presión relativa o manométrica al término  $\delta \cdot g \cdot h$  o sea que es la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica.



#### Curiosidades.... ¿Sabías qué?

*Cuando un neumático de automóvil está completamente desinflado, el medidor de presión de la estación de servicio indica cero. Sin embargo, la presión en su interior es la presión atmosférica.*

*La escala del medidor de presión indica, en el caso del neumático, la presión relativa entre el interior y el exterior. Cuando la presión relativa es cero, la presión absoluta es igual a la presión atmosférica.*

#### Presión atmosférica

En un gas, las moléculas están muy separadas, moviéndose a gran velocidad, colisionando de manera elástica caóticamente. Esta agitación frenética hace que los gases se expandan hasta ocupar todo el volumen disponible en el recipiente que los contiene y si ocurriese que el recipiente que los contiene tiene un orificio, el gas se difunde en todo el espacio. Es lo que ocurre cuando se pincha una cámara de bicicleta

La Tierra, como otros planetas, está envuelta por una capa de gases a la que llamamos atmósfera, la nuestra está compuesta en su mayor parte por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). Las moléculas de aire activadas enérgicamente por la energía que llega del Sol no escapan al espacio porque el campo gravitatorio de la Tierra restringe su expansión. Como consecuencia de eso no encontramos sumergidos en un "océano de aire", una capa gaseosa que recubre el planeta igual a como lo hace un líquido, el peso del aire sobre la superficie terrestre ejerce una presión, la presión atmosférica. Esta capa de aire es tan

fin a que si comparamos la Tierra con una manzana la capa de aire tiene el mismo espesor respecto del diámetro terrestre que la cáscara de la manzana respecto del tamaño de la manzana.

A diferencia de los líquidos, los gases son compresibles: como su densidad puede variar, las capas superiores de la columna de aire comprimen a las más bajas, en los lugares más profundos de la atmósfera, es decir a nivel del mar, el aire es más denso, y a medida que subimos se va enrareciendo, hasta que se desvanece a unos 40 km de altura. La capa baja, la troposfera, presenta las condiciones necesarias para la vida y es donde se producen los fenómenos meteorológicos. Mide 11 km y contiene el 80 % del aire total de la atmósfera.

La presión atmosférica es de  $1,013 \times 10^5$  Pa o, como lo indican los informes meteorológicos, 1013 hPa (hectopascal), este valor es, dentro de ciertos límites, variable por los efectos climáticos que afectan a la atmósfera: movimiento de las masas de aire, originando los vientos, vapor de agua incrementando la humedad ambiente, etc.

El valor de presión atmosférica normal es un valor muy alto, pero no notamos su presencia y esto se debe a que el desarrollo de la vida sobre la Tierra a lo largo de millones de años desarrollo mecanismos biológicos que producen una presión interior que compensa la presión exterior originada por la atmósfera.



#### **Curiosidades.... ¿Sabías qué?**

*Los trajes de los astronautas, además de proveer el aire necesario para respirar, tienen que mantener artificialmente la presión sobre el cuerpo del astronauta; si el traje se le rompiera y perdiera la presión, al no estar compensada la presión interior del astronauta, por una presión exterior, este estallaría.*

*Este mecanismo se emplea para realizar la esterilización por vacío para eliminar los microorganismos de una muestra (alimento, instrumental, etc.), se la coloca en un recipiente del cual se extrae el aire. La presión exterior es reducida y los fluidos internos de las bacterias, que estaban sometidas a la presión atmosférica, se expanden, haciendo que éstas estallen.*



#### **Profundizamos**

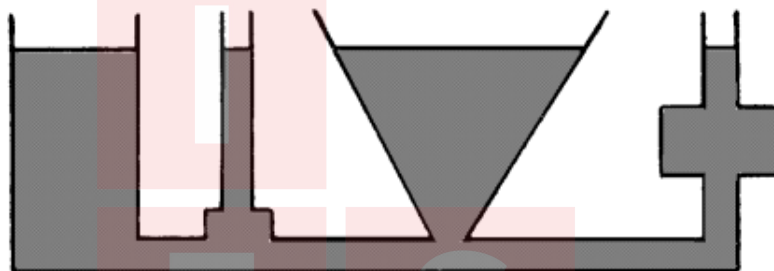
Se puede realizar un experimento con una botella de plástico del tipo de las de gaseosa para poder apreciar los efectos de la presión atmosférica. Primero se la coloca destapada en un recipiente con agua caliente sin permitir que el agua se introduzca en ella. Esto hará que el aire del interior de la botella se caliente, se dilate y se expanda saliendo de la misma. Después de diez o quince minutos, sin retirar la botella del agua caliente, se coloca la tapa y se cierra lo más herméticamente posible. A partir de allí se deja enfriar la botella, si se desean ver los efectos más rápido se puede enfriar bajo el chorro de agua fría de una canilla. Cuando el aire que ha quedado en el interior de la botella se enfríe disminuirá la presión interior y la presión exterior compactará la botella aplastándola.

Al apretar una sopapa contra una superficie pulida se aplasta y queda sin aire. Cuando, por acción de las fuerzas elásticas, la sopapa recupera su forma inicial, queda un vacío parcial en el interior y la presión atmosférica exterior la mantiene adherida a la pared. Del mismo modo, las patas de las moscas tienen pequeñas ventosas que les permiten caminar por paredes y techos sin caer al piso.

El funcionamiento del gotero obedece al mismo fenómeno. Al apretar la perilla de goma creamos un vacío parcial. Cuando sumergimos el tubito en el líquido y soltamos la perilla, la presión atmosférica que se ejerce sobre la superficie libre del líquido lo obliga a subir por el tubo hasta la región de menor presión dentro de la perilla.

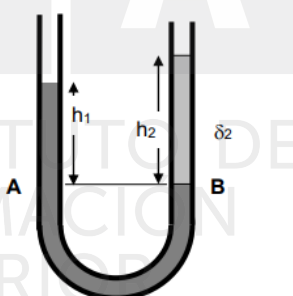
### Vasos comunicantes

Una de las consecuencias del teorema general de la hidrostática es que permite explicar el fenómeno de vasos comunicantes. Como la presión sólo depende de la profundidad, la altura que el agua alcanza en un sistema de recipientes interconectados, como el que se muestra en la figura, es igual para todos, independiente de la forma de los recipientes y de la cantidad de líquido en cada uno de ellos.



Esta propiedad permite también construir un dispositivo de vasos comunicantes para medir la densidad de un líquido conociendo la densidad de otro no miscible (que no se mezcla) con el primero.

Consideremos un tubo en U, que tradicionalmente es de vidrio, pero puede ser una manguera de plástico transparente, en el que se coloca agua por un extremo y otro líquido cuya densidad se desea determinar y que no se mezcle con el agua por el otro extremo, por ejemplo, aceite, colocando cantidades de líquido adecuado se logra que en una rama haya una columna de un único líquido como se puede apreciar en la figura



El teorema general de la hidrostática nos asegura que en todos los puntos que estén a igual profundidad y se encuentre por debajo de la línea horizontal A B estarán a igual presión ya que el líquido es el mismo de densidad  $\delta_1$ , por tal motivo en la capa límite de separación entre ambos líquidos la presión  $p_B$  será igual a la presión  $p_A$  del punto A que se encuentra en la otra rama al mismo nivel. Pero aplicando el teorema general de la hidrostática para calcular cada una de estas presiones resulta:

$$p_A = p_0 + \delta_1 \cdot g \cdot h_1$$

$$p_B = p_0 + \delta_2 \cdot g \cdot h_2$$

Como  $p_A = p_B$  igualando ambas ecuaciones y simplificando, queda:

$$\delta_1 \cdot h_1 = \delta_2 \cdot h_2$$

De donde la densidad del líquido dos queda expresada en términos de la densidad del líquido uno y de las respectivas alturas

$$\delta_2 = (\delta_1 \cdot h_1) / h_2$$

14

### Barómetro

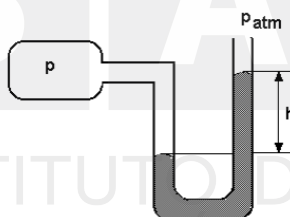
El barómetro es un aparato que permite medir la presión atmosférica. Existen distintos tipos, los más comunes son los de mercurio, basados en el experimento de Torricelli. En la actualidad también se utilizan barómetros metálicos (aneroides), de fácil transporte, ya que no contienen líquido, pues su funcionamiento se basa en las variaciones de curvatura que sufre una lámina ondulada, que cubre una caja de la cual se ha extraído el aire.

Los barómetros son instrumentos muy sensibles y de múltiples aplicaciones: las alteraciones atmosféricas que preceden a una tempestad afectan a la presión atmosférica y son detectadas por el barómetro anunciando la tormenta. Se usan también como altímetros, ya que la presión atmosférica disminuye notablemente a medida que ascendemos a grandes alturas, es por eso que se colocan en los tableros de instrumentos de los aviones.

### Manómetro

El manómetro es un instrumento que se utiliza para medir la presión de un gas contenido en un recipiente. Al igual que los barómetros los hay de dos tipos: los de mercurio y los metálicos.

El manómetro de mercurio de tubo abierto: consiste en un tubo en forma de U que contiene un líquido, de tal manera que un extremo del tubo está abierto a la atmósfera y el otro está conectado al depósito que contiene al gas cuya presión  $p$  se quiere medir.



En los gases, la densidad es comparativamente pequeña, entonces la diferencia de presiones en los distintos puntos dentro del recipiente es despreciable. En un recipiente que contenga algún gas, podemos considerar a la presión, uniforme en todos sus puntos.

Aplicando el Teorema General de la Hidrostática al líquido manométrico, tomando un punto en la superficie libre de la rama abierta y otro en la superficie libre que está en contacto con el gas, se tiene:

$$p - p_{atm} = \delta \cdot g \cdot h$$

La presión manométrica  $p - p_{atm}$  es proporcional a la altura  $h$  (diferencia de alturas entre las dos ramas del tubo en U).

Conocida la presión atmosférica (medida con un barómetro) se puede determinar la presión absoluta del gas contenido en el recipiente.



## Empuje

15

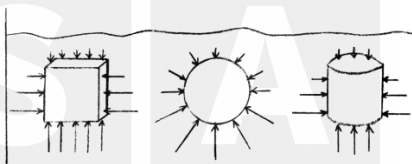
### Principio de Arquímedes

Todos estamos familiarizados con la experiencia de colocar algunos objetos en el agua y observar que algunos flotan y otros no, hasta podemos, en general, hacer anticipaciones, los objetos de madera esperamos que floten y los metálicos que se hundan. Pero un transatlántico es grande, pesado y metálico y flota sin dificultad o al menos es lo que los pasajeros esperan. Además, hay objetos que por su forma o material nos es difícil anticipar si van a flotar o no.

Es evidente que cada vez que un cuerpo se sumerge en un fluido es empujado de alguna manera por el mismo. A veces esa fuerza es capaz de sacarlo a flote y otras sólo logra provocar una aparente pérdida de peso. Pero, ¿Cuál es el origen de esa fuerza de empuje? ¿De qué depende su intensidad?

Sabemos que la presión hidrostática aumenta con la profundidad y conocemos también que se manifiesta mediante fuerzas perpendiculares a las superficies sólidas que contacta. Esas fuerzas no sólo se ejercen sobre las paredes del contenedor del líquido sino también sobre las paredes de cualquier cuerpo sumergido en él.

Vamos a aplicar el teorema general de la hidrostática para determinar las fuerzas que los líquidos ejercen sobre los cuerpos sumergidos o semisumergidos. En la figura se ve un cuerpo semisumergido en un líquido, éste ejerce una presión sobre la superficie de las paredes del cuerpo que se manifiesta mediante fuerzas perpendiculares a las superficies. Las fuerzas horizontales que se ejercen sobre las paredes laterales del cuerpo son de valores crecientes con la profundidad por el aumento de presión. Pero para cada profundidad las fuerzas aparecen de a pares y opuestas por lo que se equilibran.



Las fuerzas verticales que actúan sobre el cuerpo son su propio peso ( $m \cdot g$ ), la fuerza que sobre la superficie superior ejerce la atmósfera ( $p_0 \cdot A$ ) y la fuerza que las capas inferiores del líquido ejercen sobre la cara inferior del cuerpo ( $p \cdot A$ ). Como el sistema está en reposo la sumatoria de fuerzas verticales debe ser igual a cero, en consecuencia;

$$\Sigma F_y = (p \cdot A) - (p_0 \cdot A) - m \cdot g = 0$$

Pero de acuerdo al teorema general de la hidrostática la presión  $p$  sobre la cara inferior del cuerpo es

$$p = p_0 + \delta \cdot g \cdot h$$

Reemplazando en la ecuación y simplificando queda,

$$\Sigma F_y = \delta \cdot g \cdot h \cdot A - m \cdot g = 0$$

Pero el producto ( $h \cdot A$ ) es el volumen de la parte del cuerpo que se encuentra sumergida, ( $V_{sum}$ )

$$\Sigma F_y = \delta \cdot g \cdot V_{sum} - m \cdot g = 0$$



$$\delta \cdot g \cdot V_{\text{sum}} = m \cdot g = \delta_{\text{cuerpo}} \cdot V_{\text{cuerpo}} \cdot g$$

$$\delta \cdot g \cdot V_{\text{sum}} = E \text{ (empuje)}$$

siendo  $\delta$  la densidad del líquido en el cuál se encuentra sumergido el cuerpo estudiado.

Entonces el peso del cuerpo en reposo resulta equilibrado por una fuerza de abajo hacia arriba que realizan las capas de líquido que se encuentran por debajo de la cara inferior y cuyo valor es igual al peso del volumen de líquido desalojado. Estas fuerzas que realiza el líquido y que siempre actúan de abajo hacia arriba se llaman, por tradición, fuerzas de empuje o simplemente empuje  $E = \delta \cdot g \cdot V_{\text{sum}}$

Este es el enunciado del llamado Principio de Arquímedes que no es tal sino una consecuencia del teorema general de la hidrostática. Es importante señalar que el volumen sumergido del cuerpo, es lo que determina el empuje. Un cuerpo de gran volumen sumergido recibirá un gran empuje; un cuerpo de volumen pequeño, un empuje pequeño.

**“Un cuerpo sumergido (total o parcialmente) en un fluido, recibe un Empuje vertical y hacia arriba igual al peso del volumen de líquido desplazado”**

## Peso aparente

Cuando se suspende un cuerpo de un dinamómetro éste indica su peso, pero cuando el cuerpo se encuentra parcial o totalmente sumergido en un líquido el dinamómetro indica la diferencia entre el peso del cuerpo en el aire y el empuje que recibe del líquido en el que se encuentra.

El valor D indicado por el dinamómetro es siempre igual a la tensión T. Si el cuerpo está sumergido sólo en aire la sumatoria de fuerzas es

$$\Sigma F_y = T - m \cdot g = 0$$

$$T = m \cdot g$$

Donde  $m \cdot g$  es el peso del cuerpo

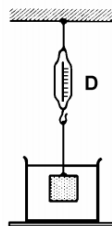
Si en cambio el cuerpo se encuentra parcial o totalmente sumergido en un líquido hay que considerar el empuje E

$$\Sigma F_y = T + E - m \cdot g = 0$$

de donde

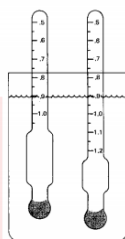
$$T = m \cdot g - E$$

El valor que indica en este caso el dinamómetro se llama peso aparente y es menor que el peso del cuerpo en el aire ya que se resta el empuje que efectúa el líquido sobre el cuerpo.



## Densímetro

Son instrumentos basados en el principio de Arquímedes, que se utilizan para medir la densidad de los líquidos. Se construyen con un tubo de vidrio cerrado herméticamente y lastrado en la parte inferior con mercurio o municiones de metal para que cuando se los introduzca en un líquido queden flotando en posición vertical. Se calibran de manera de poder leer la densidad en la división que enrasa con la superficie libre del mismo.

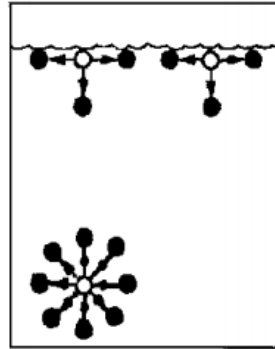


## Cohesión y adhesión

Existen algunos insectos que pueden caminar sobre el agua gracias a la tensión superficial. Seguramente alguna vez lanzaron una piedra al ras de la superficie de un lago para hacerla rebotar varias veces antes de que se hunda (efecto "sapito"). Un experimento simple que podemos realizar es colocar con cuidado un broche para papel recubierto de plástico y observaremos que flota, mientras que un broche similar que tiene el metal no recubierto difícilmente flote. ¿Cómo se explican estos comportamientos? Esto se debe a un efecto que ocurre en la superficie límite de dos medios y que se llama tensión superficial.

Ya sabemos que las moléculas en los líquidos no están firmemente ligadas entre sí, se mantienen más o menos atraídas por fuerzas llamadas de cohesión. Una molécula en el seno de un líquido ejerce y recibe fuerzas de cohesión en todas las direcciones y sentidos, de manera que, al promediarse, estas fuerzas dan una resultante nula. Sobre una molécula en la superficie libre del líquido, en cambio, las fuerzas no se compensan, pues no hay una distribución simétrica de líquido alrededor de ella. Las fuerzas de interacción entre las moléculas disminuyen al aumentar la distancia entre las partículas. Podemos considerar, entonces, que sólo ejercen fuerzas sobre una molécula de la superficie del líquido las otras que están ubicadas dentro de una semiesfera imaginaria, centrada en ella. La resultante de esta semiesfera de fuerzas de cohesión tendrá, por la simetría de la distribución, dirección perpendicular a la interfase y sentido hacia el interior del líquido.

La capa superficial del líquido se comporta, entonces, como si fuera una membrana elástica tensa (como el parche de un tambor) que, análogamente, almacena un tipo de energía superficial (relacionada con el trabajo que habría que realizar para apartar una molécula de dicha superficie). La fuerza que tensa la membrana se denomina tensión superficial.



La fuerza de atracción de los líquidos con los sólidos vecinos se denomina fuerza de adhesión. La adhesión entre el agua líquida y el vidrio limpio, es mayor que la cohesión entre agua y agua. Debido a esto, el agua dentro de un recipiente de vidrio no se dispone de manera exactamente horizontal, sino que, en los bordes, el nivel es un poco más alto que en el centro, aumentando la superficie de contacto con el vidrio. Se dice que el agua "moja" al vidrio.

Si el recipiente es suficientemente angosto, la superficie del líquido forma un menisco cóncavo, por el contrario, si las fuerzas de cohesión son mayores que las de adhesión, como en el caso del mercurio y el vidrio, entonces el menisco que se forma es convexo.

Por esta misma razón, cuando derramamos agua sobre un vidrio plano, el líquido se extiende formando una delgada capa, aumentando así lo más posible la superficie de contacto. En cambio, si derramamos mercurio sobre el vidrio, se formarán pelotitas, que es la distribución que hace mínima la superficie de contacto.

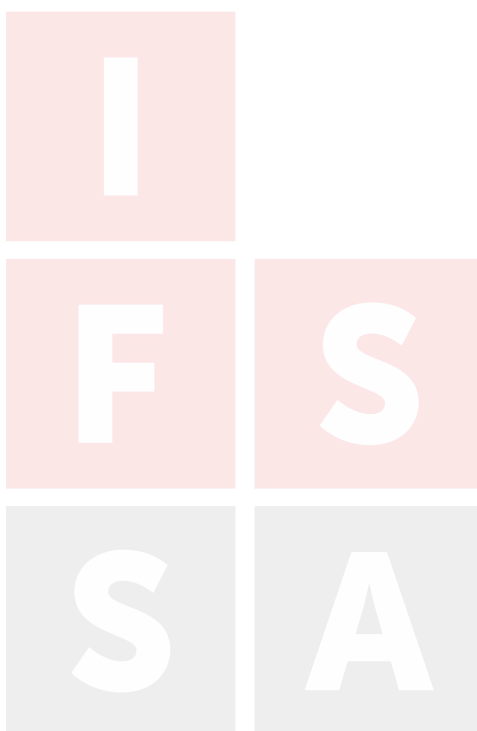
El agua dentro de un tubo delgado, de diámetro pequeñísimo, sube empujada por la fuerza de adhesión con las paredes. Este fenómeno se conoce con el nombre de capilaridad (del latín capilaris, cabello), y se observa, por ejemplo, en la savia que sube por los tallos de los vegetales; en la humedad que asciende desde el piso por las paredes de una casa o en la cera derretida de una vela que sube por el pabilo que arde en su extremo.

INSTITUTO DE  
FORMACIÓN  
SUPERIOR



## BIBLIOGRAFIA

Hidrodinámica 4º año. Física. Instituto Politécnico. Universidad Nacional de Rosario.



INSTITUTO DE  
FORMACIÓN  
SUPERIOR