



INSTITUTO DE
FORMACIÓN
SUPERIOR

UNIDAD N°2

MECÁNICA DE FLUÍDOS

Física Biológica



INDICE

1

Contenido

| | |
|--|-------------------------------|
| OBJETIVOS..... | 2 |
| OBJETIVO GENERAL | 2 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| ESQUEMA DE CONTENIDOS | 3 |
| CONTENIDOS..... | 4 |
| Introducción..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 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 | ¡Error! Marcador no definido. |
| Densímetro | ¡Error! Marcador no definido. |
| Cohesión y adhesión..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| BIBLIOGRAFIA | 26 |



OBJETIVOS

2

OBJETIVO GENERAL

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

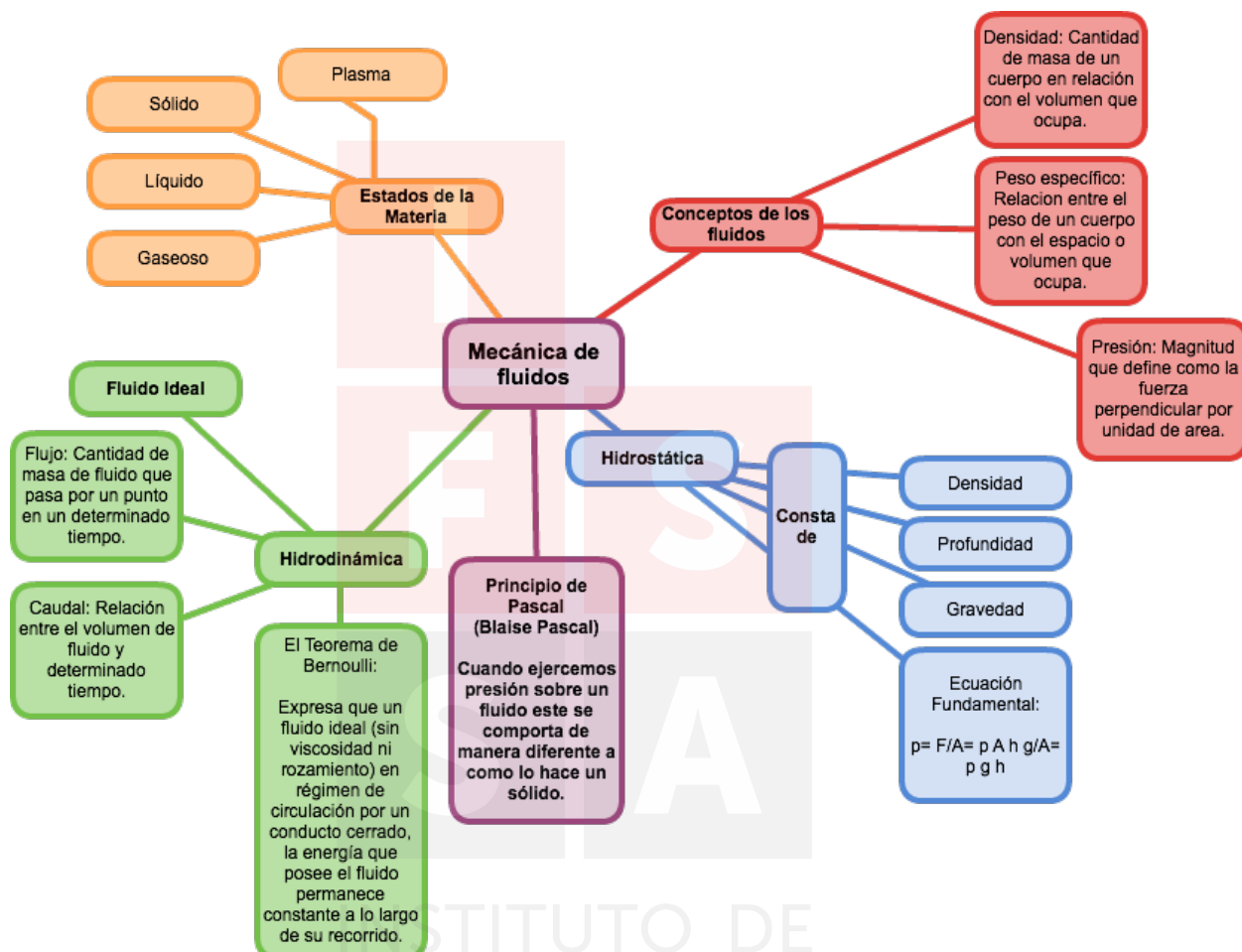
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 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

HIDROSTÁTICA

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 traslación. |
| 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 [m³] la unidad de densidad se indicará en [kg/m³]

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 / m³]

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

* 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 (δ) de una sustancia y la de otra (δ') 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.

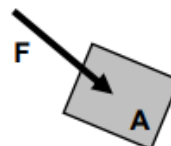
Los que mencionamos más arriba no son los únicos fenómenos relacionados con la inmersión en los líquidos. Es más fácil sostener un objeto pesado dentro del agua que fuera de ella. Cuando buceamos pareciera que nos apretaran los tímpanos. Éstos y muchos otros ejemplos nos indican que un líquido en equilibrio 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?

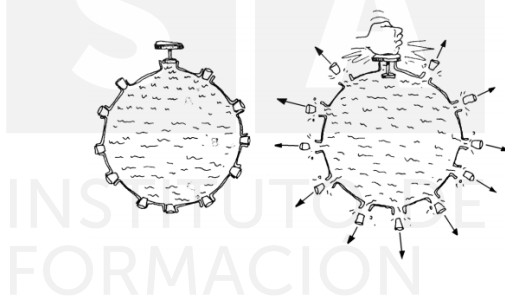
Cuando buceamos, la molestia que sentimos en los oídos a una cierta profundidad no depende de cómo orientemos la cabeza: el líquido ejerce presión sobre nuestros tímpanos independientemente de la inclinación de los mismos. La presión se manifiesta como una fuerza perpendicular a la superficie, cualquiera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

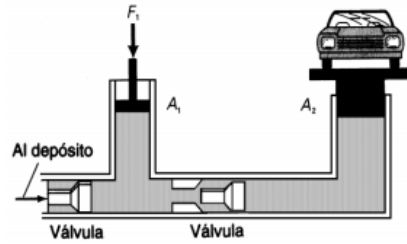
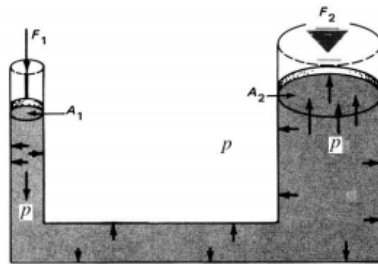
En la figura se recurre a una esfera que está recubierta con tapones y tiene un émbolo por medio del cual se puede aumentar la presión del líquido contenido en su interior.



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?

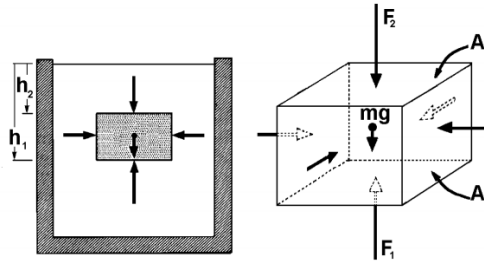
Así cuando vemos levantar un automóvil con un gato hidráulico notamos que el operario debe realizar muchos bombeos para levantar muy poco el vehículo. Esto es porque este dispositivo no crea energía. Lo que ocurre es que el trabajo mecánico realizado sobre el pistón chico tiene que ser igual al que efectúa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

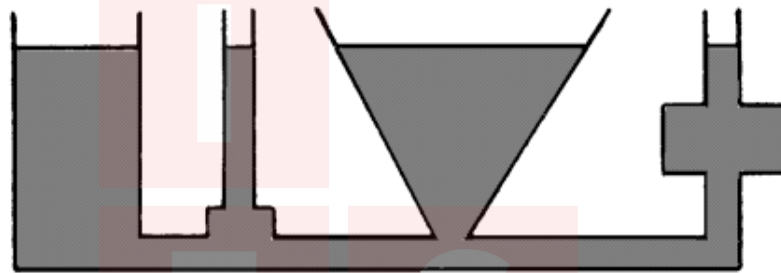
Se puede realizar un experimento con una botella de plástico del tipo de las de gaseosa para poder apreciar los efectos de la presión atmosférica. Primero se la coloca destapada en un recipiente con agua caliente sin permitir que el agua se introduzca en ella. Esto hará que el aire del interior de la 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.

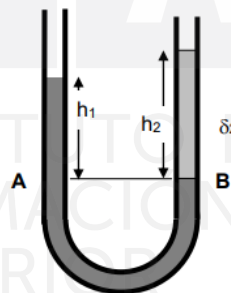
Vasos comunicantes

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 δ_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

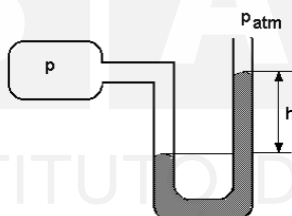
El barómetro es un aparato que permite medir la presión atmosférica. Existen distintos tipos, los más comunes son los de mercurio, basados en el experimento de Torricelli. En la actualidad también se utilizan barómetros metálicos (aneroides), de fácil transporte, ya que no contienen líquido, pues su 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

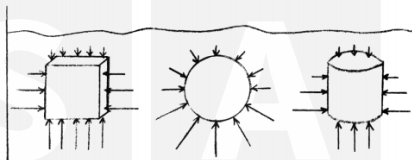
Principio de Arquímedes

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 δ 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”

HIDRODINÁMICA

Fluido-dinámica: Tipos de flujo

En el capítulo anterior se analizó el comportamiento de los líquidos en condiciones de reposo, éste, en cambio estará dedicado al estudio de los fluidos en movimiento. Estamos familiarizados con ellos; el agua que nos llega a través de la distribución domiciliaria o la sangre que circula por nuestras venas, son un tipo de fluido, los líquidos; en cambio el aire que fluye por nuestros pulmones y el viento son otro tipo de fluido, los gases. Algunos de los aspectos que vamos a considerar en este capítulo se refieren a ambos tipos de fluidos, otros se concentrarán sólo en uno de ellos, pero en todos los casos analizaremos las consideraciones necesarias para esclarecer con qué tipo de fluido estamos tratando en cada caso.

En el movimiento de los fluidos se pueden distinguir dos tipos de flujo: **laminar** y **turbulento**. Es laminar cuando las pequeñas porciones de fluido se mueven ordenadamente, manteniendo una estructura de capas regulares que no se cruzan entre sí, en cambio el flujo turbulento se caracteriza por un movimiento desordenado de las distintas partes del fluido formando muchos remolinos.

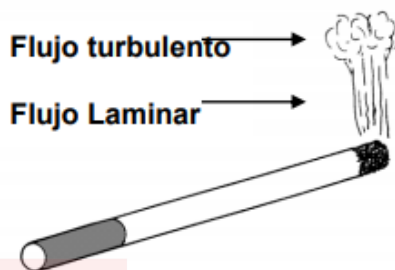
Un ejemplo de flujo laminar lo tenemos cuando se vuelca miel desde un recipiente y un ejemplo de movimiento turbulento lo tenemos casi en toda vez que vemos un fluido en movimiento, el agua de los arroyos, la que fluye por las acequias de riego, el humo del cigarrillo que sale de la boca, etc.

Estos tipos de flujo no necesariamente se dan en situaciones muy distantes; si observamos un cigarrillo encendido apoyado en un cenicero, vemos que al principio el humo asciende suavemente en una fina columna sin entremezclarse; pero luego, en un punto más alto, la columna se rompe y el humo se difunde en el aire circundante de manera irregular y retorcida. La parte lisa de este flujo es laminar y la arremolinada es turbulenta.

Se dice que el flujo laminar es **estacionario**, si cada pequeña región de fluido que pasa por un determinado punto lo hace con la misma velocidad que todas las partículas que pasaron antes por ese mismo punto. A un determinado punto del espacio ocupado por el fluido le corresponde la misma velocidad en todo instante. Así, las trayectorias que siguen las partículas no cambian con el tiempo. Estas trayectorias regulares se denominan **líneas de flujo o de corriente** y no se cruzan nunca, porque de lo contrario en el

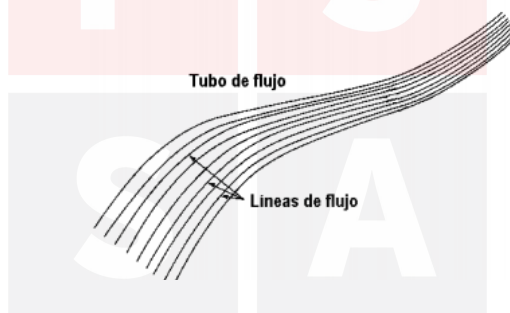
punto de intersección de una trayectoria con otra se producirían remolinos y el flujo se convierte en turbulento.

17



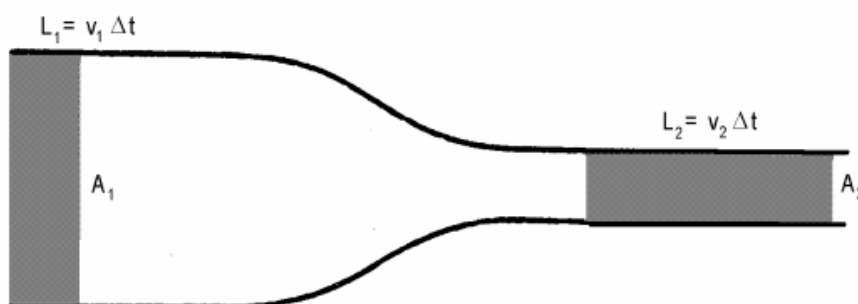
En nuestro estudio no analizaremos la trayectoria de cada partícula de fluido. Enfocaremos nuestra atención en lo que ocurre en cada punto del espacio en un momento determinado; por ejemplo, dando la presión y la velocidad del fluido en ese punto para ese instante.

El movimiento laminar se suele representar con líneas, llamadas líneas de corriente. Cada una de estas líneas de corriente representa la trayectoria de un conjunto de partículas de fluido que salen de un mismo lugar en distintos instantes. En los ensayos de laboratorio se pueden fotografiar dejando fluir gotas de tinta o chorros de humo. En las regiones donde estas líneas de flujo están más próximas indica que la velocidad es mayor.



Caudal. Ecuación de continuidad

Los líquidos son prácticamente incompresibles, cualesquiera sean las presiones a que sean sometidos su volumen no varía o varía muy poco; aun así, nosotros vamos a operar con un modelo de líquido que consideraremos totalmente incompresible esto da lugar a una relación cuantitativa que es la **ecuación de continuidad**. Consideremos el caso de una tubería como la que se indica en la figura y por la que ingresa un volumen V en un tiempo Δt pero como el líquido es un fluido incompresible y la tubería no tiene pérdidas laterales el mismo volumen debe salir por el otro extremo de la tubería en el intervalo de tiempo considerado.



Cuando por la Sección A_1 pasa la totalidad del volumen recorre un espacio $L_1 = v_1 \cdot \Delta t$, en cambio, en el otro extremo de la tubería al mismo tiempo tiene que salir el mismo volumen V , pero debe recorrer una distancia $L_2 = v_2 \cdot \Delta t$. El tiempo es el mismo pero las velocidades son diferentes. Al volumen de líquido en movimiento que ingresa y que es igual al que sale lo podemos escribir como

$$V = L_1 \cdot A_1 = L_2 \cdot A_2 = v_1 \cdot \Delta t \cdot A_1 = v_2 \cdot \Delta t \cdot A_2$$

De donde, simplificando queda

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

O sea que, por tratarse de un fluido incompresible, el producto del módulo de la velocidad del fluido por la sección de la tubería es constante.

Esta nueva magnitud que se asocia al volumen de líquido que en un intervalo de tiempo pasa por la sección de un tubo se denomina caudal (Q), sus unidades son:

$$[Q] = \text{m}^3 / \text{s}$$

Si se trata de un flujo estacionario, esto es, que su valor no cambia en el tiempo, las velocidades v_1 y v_2 permanecen constantes entonces se puede escribir Q como

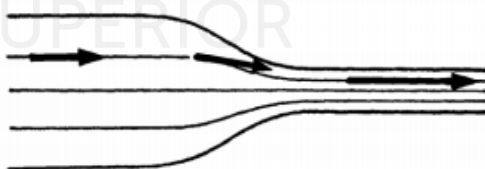
$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = (L_1 / \Delta t) \cdot A_1 = (L_2 / \Delta t) \cdot A_2$$

Pero como $V = (L_1 \cdot A_1) = (L_2 \cdot A_2)$, reordenando resulta

$$Q = (L_1 \cdot A_1) / \Delta t = (L_2 \cdot A_2) / \Delta t = V / \Delta t$$

Así se puede observar que el caudal, es el volumen de líquido que pasa por una sección por unidad de tiempo. Aunque esta ecuación de continuidad se desarrolló recurriendo al ejemplo de una tubería lo mismo se puede ejemplificar con un tubo de flujo.

Notemos que en las partes más angostas del tubo (donde la velocidad es mayor), las líneas de corriente están más próximas entre sí; por el contrario, en las partes más anchas (donde la velocidad es menor), las líneas de corriente están más separadas. En consecuencia, el mapa de líneas de corriente nos da mucha información sobre la dirección y el sentido de la velocidad del fluido en cada punto; y también nos da una idea cualitativa del módulo de la velocidad, según la densidad de las líneas de corriente de la zona.

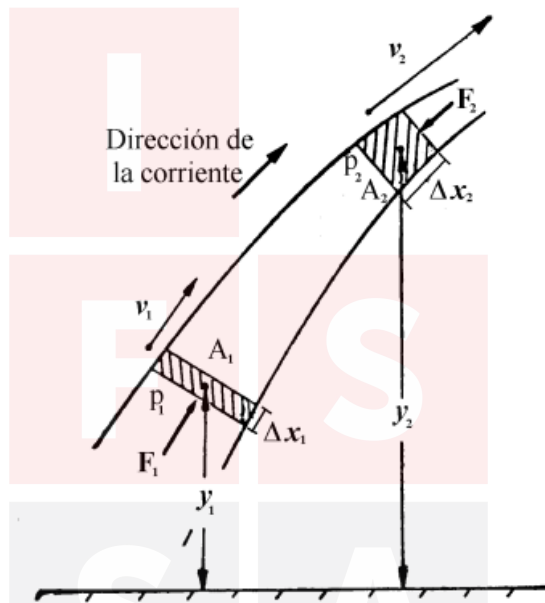


Teorema de Bernoulli

Limitaremos el estudio de los fluidos en movimiento a ciertas condiciones ideales, nuestro modelo supone que los fluidos son incompresibles, no viscosos y que el movimiento es laminar. La primera condición por un lado garantiza que la densidad sea constante en todo momento y por el otro que si se va a aplicar a gases (que son altamente compresibles) la presión no debe variar a lo largo del proceso para que no varíe la densidad del gas. La segunda y tercera condición de fluido no viscoso y movimiento laminar elimina la

posibilidad de pérdidas de energía por rozamiento y permite aplicar el principio de conservación de la energía. Este teorema fue desarrollado por el físico y matemático suizo Daniel Bernoulli, quien en 1738 encontró la relación fundamental entre la presión, la altura y la velocidad de un fluido ideal.

Este teorema demuestra que estas variables no pueden modificarse independientemente una de la otra, sino que están determinadas por la energía del sistema. Las conclusiones de este teorema se pueden aplicar para analizar fenómenos tan distintos como el vuelo de un avión, la circulación del humo por una chimenea, el escurrimiento de agua por los canales o la distribución domiciliar de agua por las cañerías, etc.



Imaginemos que el fluido ideal circula por un tubo de flujo como el que muestra la figura. Consideremos una pequeña porción de fluido de volumen V que ingresa por la sección A_1 ; al cabo de cierto intervalo de tiempo Δt , el fluido ocupará una nueva posición saliendo por la sección A_2 dentro del tubo. Este movimiento se debe a que las capas inferiores de líquido del tubo de flujo ejercen una fuerza F_1 sobre el volumen V , fuerza que, en términos de la presión p_1 , puede expresarse como $p_1 \cdot A_1$, y está aplicada en el sentido de la dirección de la corriente.

Análogamente, en A_2 , las capas de fluido superiores a este volumen considerado, empujan ejerciendo una fuerza F_2 en sentido contrario al movimiento, que puede expresarse como $p_2 \cdot A_2$.

El trabajo W de las fuerzas F_1 y F_2 que actúan sobre el volumen V resulta:

$$W = F_1 \cdot \Delta x_1 - F_2 \cdot \Delta x_2 = p_1 \cdot A_1 \cdot \Delta x_1 - p_2 \cdot A_2 \cdot \Delta x_2$$

Como el fluido es incompresible, el volumen que pasa por el punto 1 en un intervalo Δt es el mismo que pasa por el punto 2 en el mismo intervalo de tiempo (conservación de caudal). Por lo tanto:

$$V = A_1 \cdot \Delta x_1 = A_2 \cdot \Delta x_2 \text{ entonces: } W = p_1 \cdot V - p_2 \cdot V$$

Además, el flujo de este sistema es laminar y el fluido es no viscoso, por lo tanto, no hay trabajo de fuerzas de roce ($W_{\text{fricción}} = 0$) y se puede aplicar el teorema del trabajo y la energía.

$$WFNC = \Delta E \text{ mecánica}$$

$$WF_1 + WF_2 = \Delta E \text{ cinética} + \Delta E \text{ potencial} = \Delta E \text{ mecánica}$$

La variación de la energía cinética es;

$$\Delta E \text{ cinética} = \left(\frac{1}{2} m_2 \cdot v_2^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 \right)$$

Pero $m_1 = m_2 = V \cdot \delta$, por lo que la ecuación anterior se puede escribir

$$\Delta E \text{ cinética} = \left(\frac{1}{2} V \cdot \delta \cdot v_2^2 \right) - \left(\frac{1}{2} V \cdot \delta \cdot v_1^2 \right)$$

Por otra parte, la variación de energía potencial gravitatoria es igual a:

$$\Delta E \text{ potencial} = m_2 \cdot g \cdot y_2 - m_1 \cdot g \cdot y_1$$

Igual que en el caso anterior $m_1 = m_2 = V \cdot \delta$ por lo que la ecuación queda

$$\Delta E \text{ potencial} = V \cdot \delta \cdot g \cdot y_2 - V \cdot \delta \cdot g \cdot y_1$$

Si reemplazamos todos los valores obtenidos en la ecuación de trabajo y energía queda:

$$p_1 \cdot V - p_2 \cdot V = \left(\frac{1}{2} V \cdot \delta \cdot v_2^2 \right) - \left(\frac{1}{2} V \cdot \delta \cdot v_1^2 \right) + V \cdot \delta \cdot g \cdot y_2 - V \cdot \delta \cdot g \cdot y_1$$

Simplificando el volumen V que se encuentra en todos los términos y reagrupando los términos, se tiene;

$$\frac{1}{2} \delta \cdot v_1^2 + \delta \cdot g \cdot y_1 + p_1 = \frac{1}{2} \delta \cdot v_2^2 + \delta \cdot g \cdot y_2 + p_2$$

Pero como los puntos 1 y 2 son puntos arbitrarios dentro del tubo de flujo esta ecuación que relaciona la presión, la velocidad y la altura de un fluido vale para todos los puntos del sistema en consecuencia;

$$p + \frac{1}{2} \delta \cdot v^2 + \delta \cdot g \cdot y = \text{constante}$$

Veremos un conjunto de situaciones que pueden explicarse gracias a este teorema.

Aplicaciones del teorema de Bernoulli

1. El teorema de Torricelli

Mediante la aplicación del teorema de Bernoulli calcularemos la velocidad de salida del líquido de un recipiente. Consideremos un depósito de dimensiones mucho mayores que la del diámetro del orificio de salida del líquido como el que se indica en la figura. Vamos a plantear la ecuación de Bernoulli en dos puntos extremos del sistema, el punto A en el borde superior del líquido y el punto B en el orificio de salida del recipiente. La ecuación de Bernoulli para este caso es:

$$\frac{1}{2} \delta \cdot v_A^2 + \delta \cdot g \cdot y_A + p_A = \frac{1}{2} \delta \cdot v_B^2 + \delta \cdot g \cdot y_B + p_B$$

Con la ecuación así planteada para resolverla debemos reemplazar por los valores que corresponden al problema. Los valores de las variables para el punto A son $p_A = p_0$, ya que la superficie del líquido está sometida a la acción de la presión atmosférica, la altura es un dato del problema y_A . La velocidad v_A requiere una consideración especial. Si las dimensiones del recipiente son grandes respecto de las del orificio de salida, la velocidad con que baja el nivel del líquido en el depósito es muy lenta, por tal motivo vamos a considerarla, en este tipo de problemas, $v_A \cong 0$.

Los valores correspondientes al punto B son p_B , que, igual que en el caso anterior es la presión atmosférica, la altura y_B que es dato del problema y la velocidad v_B que es nuestra incógnita. Finalmente reemplazando y resolviendo queda:

21

$$\delta \cdot g \cdot y_A + p_0 = \frac{1}{2} \delta \cdot v_B^2 + \delta \cdot g \cdot y_B + p_0 \Rightarrow v_B = \sqrt{2g(y_A - y_B)}$$

Este resultado que se puede deducir de la ecuación de Bernoulli, se conoce como el teorema de Torricelli, quien lo enunció casi un siglo antes de que Bernoulli realizara sus estudios hidrodinámicos. Obsérvese que la expresión matemática es análoga a la de un sólido en caída libre. Esto es así porque en el desarrollo del teorema de Bernoulli se recurrió al teorema de conservación de la energía mecánica.

2. Sifón

Este es un dispositivo para trasvasar líquidos de un recipiente a otro, y consiste en un tubo en U invertido que conecta ambos recipientes. El extremo de salida de líquido debe estar a menor altura que el de ingreso, tal como se ve en la figura. Si aplicamos el Teorema de Bernoulli a los puntos A y C tenemos;

$$\frac{1}{2} \delta \cdot v_A^2 + \delta \cdot g \cdot y_1 + p_A = \frac{1}{2} \delta \cdot v_C^2 + \delta \cdot g \cdot y_2 + p_C$$

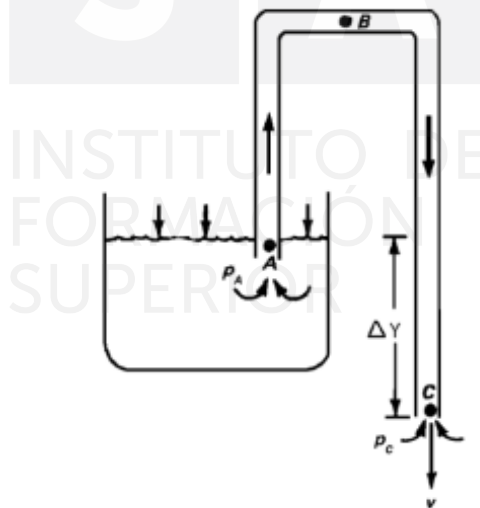
Pero, $p_A = p_C = p_0$ por lo que los términos que los contiene se simplifican, por otra parte, igual que en el caso del Teorema de Torricelli, a la velocidad v_A la consideramos igual a cero por ser la sección del recipiente mucho mayor que la del tubo, ($v_A \cong 0$). Reemplazando tenemos;

$$\delta \cdot g \cdot y_1 = \frac{1}{2} \delta \cdot v_C^2 + \delta \cdot g \cdot y_2$$

despejando resulta

$$v_C = \sqrt{2g(\Delta y)}$$

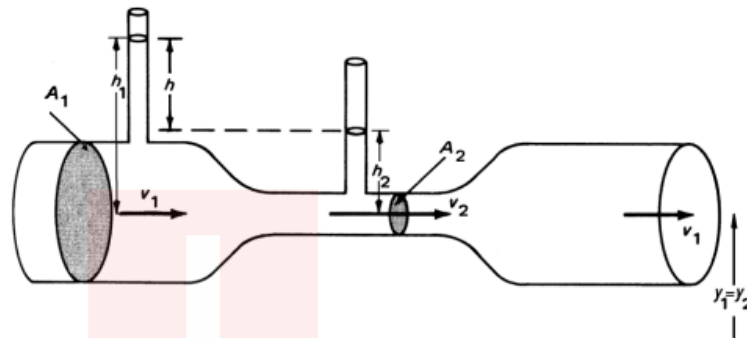
como puede verse, la expresión anterior es análoga a la del Teorema de Torricelli.



3. Contador de Venturi

Es otra aplicación del Teorema de Bernoulli, y consiste en un dispositivo que permite medir el caudal y, como derivación, la velocidad, de un líquido que fluye en una tubería. El mecanismo consiste en un estrechamiento de la tubería por donde circula el líquido diseñado de forma que la disminución de la

sección sea gradual para asegurar el mantenimiento del régimen laminar y se evite que el sistema entre en régimen turbulento y en consecuencia se pierda energía. Se incorporan dos tubos laterales para medir la presión del fluido en cada una de las secciones. La aplicación del teorema de Bernoulli, a un tubo de flujo que pase por el eje de la sección A_1 y de la sección A_2 , da:



$$p_1 + 1/2 \delta \cdot v_1^2 + \delta \cdot g \cdot y_1 = p_2 + 1/2 \delta \cdot v_2^2 + \delta \cdot g \cdot y_2$$

Igual que en la aplicación anterior del teorema debemos reemplazar los términos de la ecuación por los valores que disponemos. Como en nuestro caso la tubería tiene un eje horizontal los valores de y_1 y y_2 son iguales y se pueden simplificar. Las presiones p_1 y p_2 resultan;

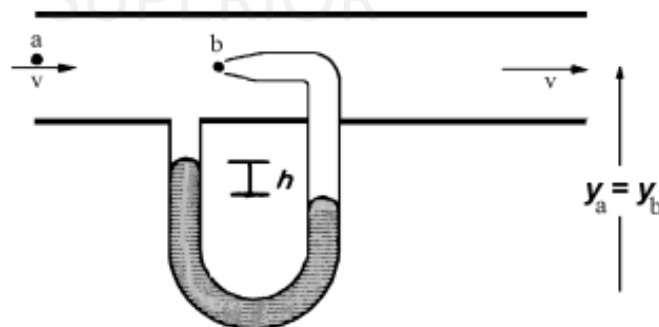
$$p_1 = p_0 + \delta \cdot g \cdot h_1$$

$$p_2 = p_0 + \delta \cdot g \cdot h_2$$

Recordando, además, que el caudal es: $Q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$, y trabajando algebraicamente sobre la ecuación de Bernoulli; si puede medirse la diferencia de alturas $h_1 - h_2$, y se conocen las áreas A_1 , A_2 , es posible calcular el caudal; y como consecuencia, también v_1 y v_2 .

4. Tubo de Pitot

Es un instrumento destinado a medir la velocidad de los gases que circulan por una tubería. Consiste en un tubo manométrico que se conecta, como indica la figura, a la tubería por la que circula el gas. La presión en la rama izquierda del manómetro, cuya abertura es paralela a la dirección del movimiento del gas, es igual a la presión de la corriente gaseosa. La presión en la rama derecha, cuya abertura es perpendicular a la corriente, puede calcularse aplicando el teorema de Bernoulli a los puntos a y b.



$$p_a + 1/2 \delta \cdot v_a^2 + \delta \cdot g \cdot y_a = p_b + 1/2 \delta \cdot v_b^2 + \delta \cdot g \cdot y_b$$

Hay que tener en cuenta que para este problema de circulación de gas la densidad δ es la del gas por otra parte, como, igual que en el caso anterior, los puntos a y b se encuentran a la misma altura $y_a = y_b$ los términos que los contienen son iguales y se pueden simplificar.

La velocidad v_a es la velocidad v de circulación del gas que debemos medir, y como el ingreso al tubo manométrico en el punto b está limitado por el líquido manométrico, la velocidad v_b es cero, reemplazando queda;

$$p_a + \frac{1}{2} \delta \cdot v^2 = p_b$$

Si δ_0 es la densidad del líquido del manómetro, y h es la diferencia de alturas del líquido entre sus ramas, se tiene:

$$p_b = p_a + \delta_0 \cdot g \cdot h$$

Reemplazando en la ecuación anterior, resulta:

$$\delta_0 \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \delta \cdot v^2$$

A partir de la cuál puede deducirse v en función de las magnitudes medibles

Es de destacar que en este caso se puede aplicar el Teorema de Bernoulli a gases, que notoriamente no cumplen con la condición de incompresibilidad exigida en el desarrollo del teorema porque en esta situación nos aseguramos que el gas no esté sometido a presiones diferentes, o lo que es lo mismo, a cambios de volumen, entre el punto a y el punto b.

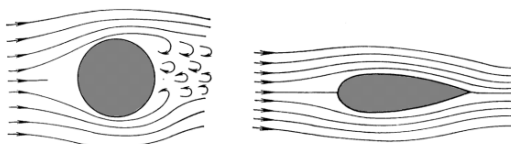
Si bien el modelo de tubo de Pitot mostrado es para operar en una tubería existen otros modelos, que, recurriendo al mismo principio de diseño, sirven para medir la velocidad de los gases en ámbitos abiertos, en particular se los emplea para medir la velocidad del viento.

5. Movimiento de un sólido en un fluido viscoso

Cuando corremos no es lo mismo tener el viento a favor que correr en dirección contraria al viento. El aire no es más que un fluido y no de los más viscosos si lo comparamos con algunos aceites o la glicerina, sin embargo, sentimos su efecto favorable o desfavorable, esto ocurre para todos los cuerpos que se mueven en un fluido, se ven afectados por la fricción que impone la viscosidad del medio.

Por este motivo, cuando un cuerpo se mueve en un medio viscoso, existe una fuerza adicional para vencer el efecto que imponen las fuerzas de fricción del medio. Pero esta fuerza adicional a lo largo del recorrido que hace el cuerpo, es un trabajo. Es energía que se pierde por rozamiento en forma de calor. Es importante entonces diseñar a los cuerpos para que su perfil ofrezca la menor resistencia al medio viscoso. Cuando se deja caer una gota de agua, adopta la forma que requiere mínima energía, ese es justamente el **perfil aerodinámico** buscado.

Si cuando el cuerpo avanza aparta el fluido de una manera suave y sin que se produzcan turbulencias y deja que se vuelva a juntar tras su paso aún más gradualmente, de manera que la turbulencia resulte mínima, entonces la energía disipada también es mínima.



Básicamente, el **perfil aerodinámico** consiste en un frente curvo y una cola que se afina gradualmente, que recuerda a una gota y reduce el rozamiento viscoso. En el caso de muchos animales como los peces o los pingüinos el perfil aerodinámico es el resultado de un proceso de evolución natural que demoró muchos años, en el mundo artificial lograr diseños óptimos también ha llevado mucho tiempo y es un proceso no terminado. Si se observa el perfil de los automóviles fabricados durante el siglo XX se puede ver como la evolución de los diseños ha llevado a los perfiles que reducen cada vez más las pérdidas por rozamiento.

La fuerza de rozamiento viscoso es: para bajas velocidades y flujo laminar, proporcional a la velocidad del móvil ($F = k \cdot v$); pero a partir de determinada velocidad ya no es posible mantener el régimen laminar, aparece el régimen turbulento y la fuerza de rozamiento viscoso es función del cuadrado de la velocidad ($F = k \cdot v^2$). Es por este motivo, entre otras razones, es que se incrementa de manera no lineal el consumo de combustible en los automóviles al aumentar la velocidad.

Viscosidad

Todos hemos tenido la experiencia de trasvasar líquidos, en algunos casos eso se hace con facilidad y rapidez, cuando el líquido es un refresco o agua, en otros puede ser bastante más lento, como cuando el líquido es miel o algunos aceites industriales.

Cuando se opera con líquidos reales aún en el movimiento laminar, las distintas capas no se mueven juntas, tiene pequeñas o grandes diferencias de movimiento unas sobre las otras, esto origina una fricción interna, el fenómeno se repite entre las sucesivas capas que se van poniendo en movimiento, y esto determina la manera en que se mueve el fluido. El efecto de conjunto de esta fricción interna se llama **viscosidad**.

Desde el punto de vista microscópico la viscosidad en los fluidos se origina en la fuerza de cohesión de las moléculas del fluido entre sí y en la de los sólidos que están en contacto con él y en general, disminuye con la temperatura. Ejemplo de fluidos que disminuyen fuertemente su viscosidad con la temperatura son el alquitrán y la parafina que a temperatura ambiente parecen sólidos, pero en cuanto se eleva la temperatura en unos pocos grados se vuelven bastante fluidos.

Todos los fluidos son viscosos, algunos se caracterizan por su alta viscosidad, como el almíbar, el alquitrán o la miel, otros por su muy baja viscosidad como los gases. La viscosidad de un líquido se mide en función de la rapidez con que se sumerge un sólido en él, o bien por la velocidad con que sale de un orificio.

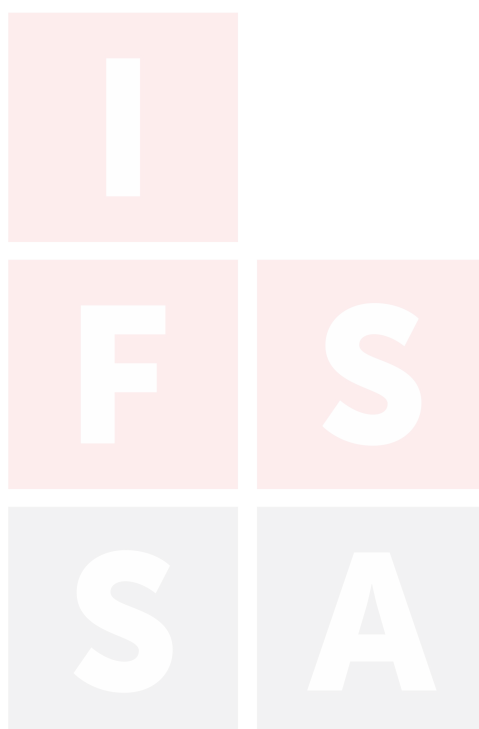
La viscosidad de los fluidos es de gran importancia práctica ya que estos rozamientos originan una gran pérdida de energía que afecta el movimiento del líquido.

Hemodinámica

La sangre circula por todo el cuerpo a través de un complejo sistema de conductos o vasos (arterias, arteriolas, capilares, vénulas y venas) impulsada por el corazón, que funciona como dos bombas.

El corazón late constantemente a razón de 60 a 80 veces por minuto (**frecuencia cardíaca**). En cada latido el ventrículo izquierdo impulsa unos 80 cm³ de sangre al **circuito sistémico** y otro tanto hace el ventrículo derecho al **circuito pulmonar**. De manera que, aproximadamente en un minuto, el corazón bombea los 5 litros de sangre que tenemos en el organismo, completando todo el circuito. El caudal sanguíneo es de 5,4 l / min. en condiciones normales y de reposo.

El circuito sistémico comienza en el corazón, sigue por la aorta que se ramifica en diversas arterias; éstas se dividen en arteriolas, que se vuelven a subdividir en finísimos capilares para llegar a todos los tejidos. Aunque el área de las arterias es menor que el de la aorta, la suma de las áreas de las arterias es mayor que el área de la aorta. En consecuencia, de acuerdo con la ecuación de continuidad, la velocidad de la sangre en las arterias es menor que en la aorta. Para cuando la sangre llega a los capilares, el área total transversal del árbol circulatorio es tan grande que la velocidad es lo suficientemente pequeña como para permitir la cómoda difusión de gases (O_2 y CO_2).

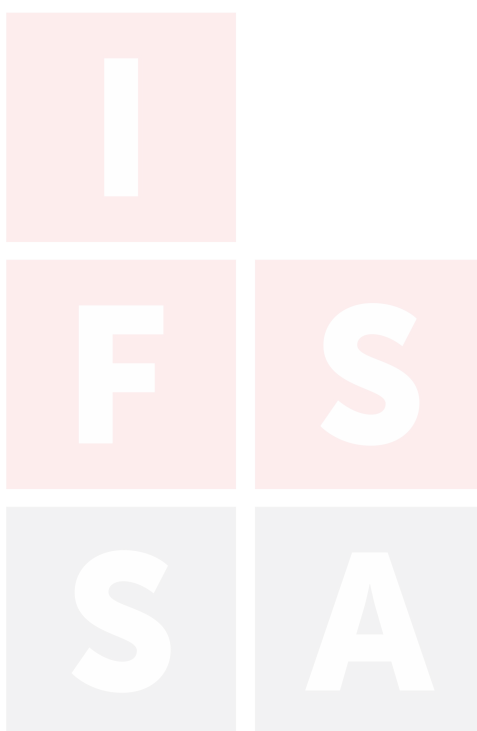


INSTITUTO DE
FORMACIÓN
SUPERIOR



BIBLIOGRAFIA

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



INSTITUTO DE
FORMACIÓN
SUPERIOR