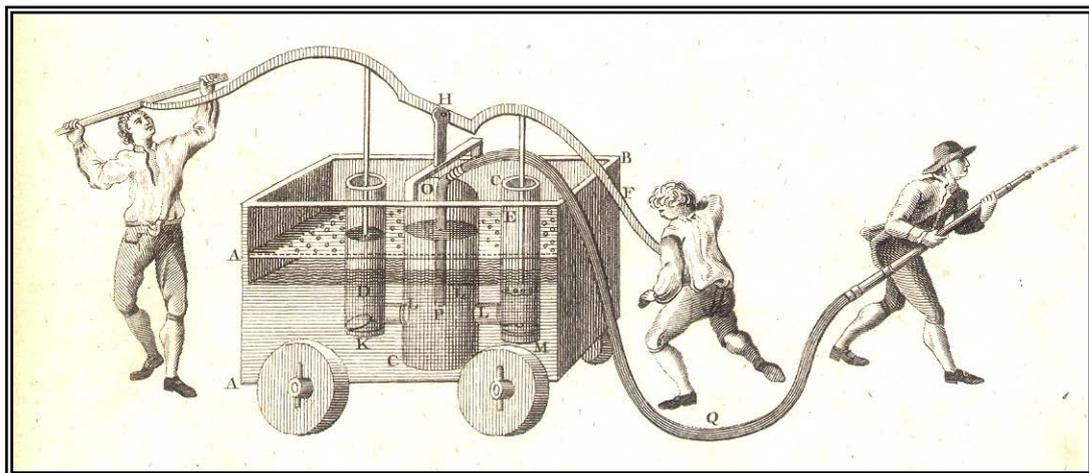


Física e Hidráulica I



Conceptos básicos de hidráulica para bomberos



Juan Miguel Suay Belenguer

Texto e ilustraciones

2.- Conocimientos generales.

-¿Subimos?
-¡No, al contrario, descendemos!
-¡Mucho peor, señor Ciro! ¡Caemos!
La isla Misteriosa – **Julio Verne** (1874)

Mientras lo moviente mueve lo movable, aquello reproduce en esto cierta fuerza (impetus) capaz de mover este movable en la misma dirección... indiferentemente de si será hacia arriba, hacia abajo, hacia un lado o por la circunferencia
J. Buridan (1300-1350)

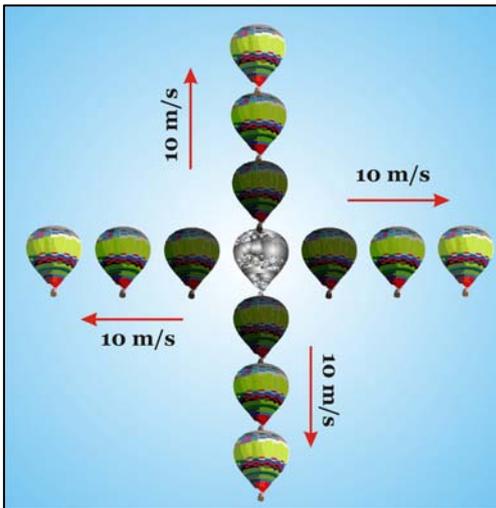
Las máquinas no crean fuerza; ellas sólo la transforman, y todo aquél que espere otra cosa no comprende nada en mecánica.
Galileo Galilei (1564-1642)

2.1.- Rapidez, velocidad y aceleración.

Sea una masa en movimiento que recorre un espacio (s) en un tiempo determinado (t), decimos que lleva una **rapidez** igual a:

$$v = \frac{s}{t}$$

Se mide en **m/s**.



Coloquialmente usamos como sinónimas las palabras rapidez y velocidad, pero son conceptos diferentes en física, puesto que la **velocidad** es una rapidez en una determinada dirección y sentido. Es decir si decimos que un globo se desplaza con una rapidez de 10 m/s, no es lo mismo que vayamos en dirección vertical subiendo, bajando o en horizontal paralelo al suelo. Todas ellas son situaciones físicas muy distintas.

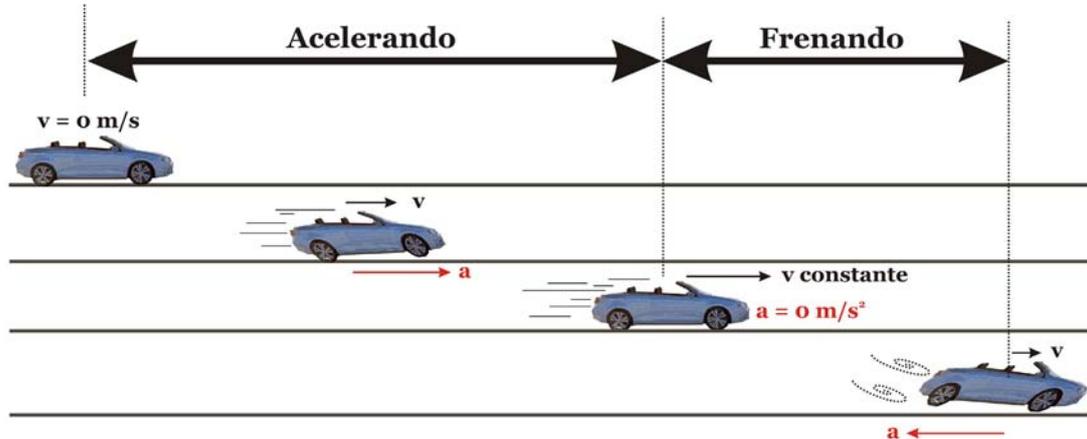
Cuando una magnitud física, como la velocidad, depende de su dirección y sentido decimos que es una **magnitud vectorial**.

Decimos que una masa en movimiento tiene una **aceleración**, cuando existe una variación de su velocidad en la unidad de tiempo. Se mide en **m/s** por cada **segundo** (**m/s²**). Es decir si un cuerpo lleva una aceleración de 10 m/s² significa que si parte del reposo, durante el primer segundo lleva una velocidad de 10 m/s, en el siguiente segundo irá a 20 m/s, a los tres segundos el cuerpo ya va a 30 m/s, etc.

En el transcurso de tiempo, la velocidad del cuerpo puede variar en rapidez, dirección o sentido. Así por ejemplo, un automóvil cuando arranca, y sigue un movimiento rectilíneo, la aceleración lleva la misma dirección y sentido que la velocidad. Si la

aceleración (**a**) es constante, el vehículo aumentará progresivamente su velocidad, tal que al cabo de un instante **t**:

$$V_{\text{final}} = V_{\text{inicial}} + a \cdot t$$



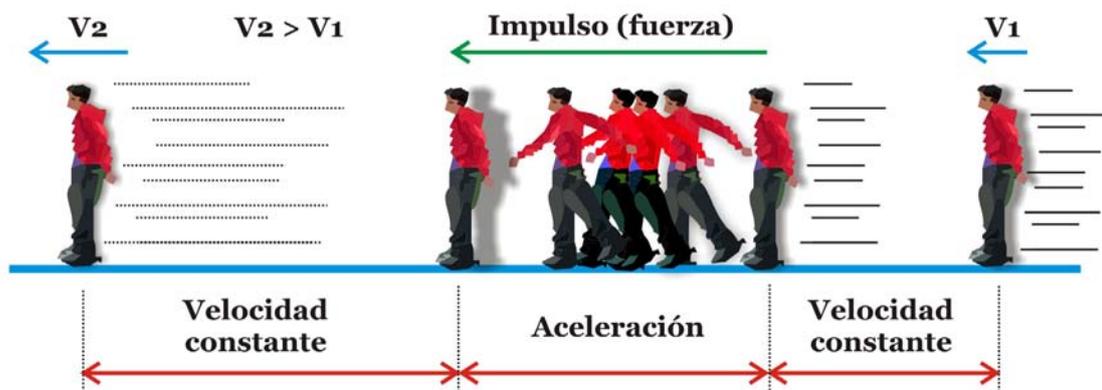
Cuando se frena el mismo automóvil, la aceleración lleva el sentido contrario, ya que hace decrecer a la velocidad, en el caso de que al frenar apliquemos una aceleración constante, el tiempo que tardará un vehículo en parar será:

$$t = \frac{V_{\text{inicial}}}{a}$$

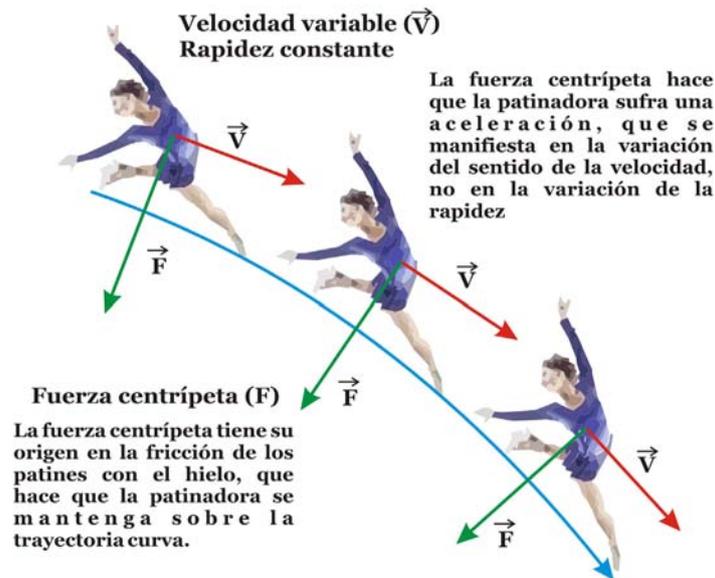
2.2.- Fuerza, trabajo, energía mecánica y potencia.

2.2.1.- Fuerza.

Se llama **fuerza** a cualquier acción o influencia capaz de modificar el estado de movimiento o de reposo de un cuerpo; es decir, de imprimirle una aceleración modificando su velocidad, ya sea en su rapidez, dirección o sentido. Así por ejemplo, si estamos en una pista de patinaje sobre hielo y nos movemos con una velocidad constante, si queremos ir más deprisa, tendremos que darnos un impulso, con nuestros músculos o empujándonos alguien. En este caso hemos variado nuestra rapidez pero no la dirección o el sentido de nuestra trayectoria.



Otro ejemplo lo tenemos en la patinadora de la figura, para poder seguir una trayectoria curva sobre la pista de hielo debe estar sometida a una fuerza, que hace que la misma sufra una aceleración, que se manifiesta en la variación del sentido de la velocidad, no en la variación de la rapidez.



Por lo tanto, una fuerza \mathbf{F} aplicada a un cuerpo de masa \mathbf{m} hace que este adquiera una aceleración \mathbf{a} en el mismo sentido y dirección que la fuerza aplicada, siendo directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa del cuerpo¹:

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{m}} \Rightarrow \mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

Las fuerzas se miden en **newton (N)**, definido como la fuerza que hay que aplicar a una masa de un kilo, para comunicarle una aceleración de un m/s^2 .

Este principio aparece por ejemplo cuando empujamos un vehículo averiado para arrancarlo. Al principio, nos cuesta mucho moverlo, pero a medida que lo conseguimos, nos cuesta menos, ya que le estamos aplicando al mismo una aceleración que será constante si aplicamos una fuerza también constante.

Todo cuerpo que es sometido a una fuerza experimenta una aceleración y viceversa. Por lo tanto si un cuerpo no tiene aceleración significa que, o bien esta en reposo o posee velocidad constante, por lo tanto o no esta sometido a ninguna fuerza o la suma de las fuerzas a las que esta sometido se anulan dos a dos.

Puede que al aplicar una fuerza a un cuerpo, la acción no se manifieste en una variación de su estado de movimiento, sino que le produzca una deformación comprimiéndolo o estirándolo, es decir variando sus dimensiones en una o varias direcciones. En este caso a la fuerza la denominamos **tensión** o **esfuerzo** cuando se trata de un sólido. En un fluido gaseoso la acción de una fuerza sobre el mismo implica, como hemos visto, una reducción de volumen y por tanto un aumento de su densidad.

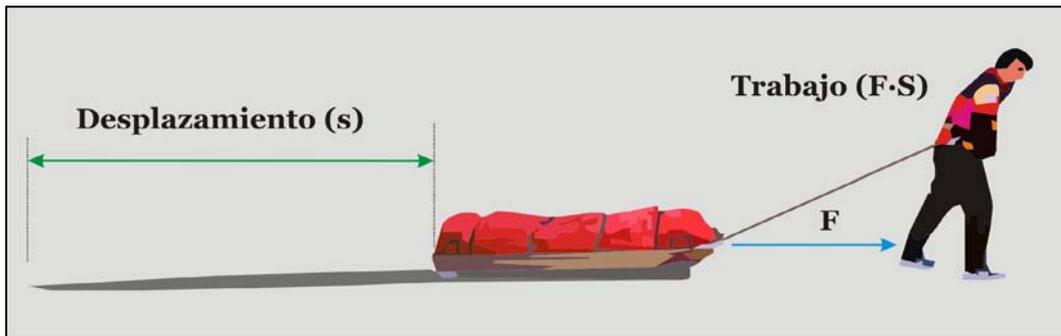
¹ Es la Segunda Ley de Newton del movimiento. Ver Apéndice I.

Hay fuerzas como las de naturaleza gravitatoria, magnética y eléctrica que se manifiestan mediante una acción a distancia. No llevando implícito en esta interacción un contacto físico entre los cuerpos que interactúan. Son ejemplo de este tipo de fuerza, el caso de un imán que atrae (modifica su estado de movimiento) a un clavo de hierro o cuando la Tierra atrae a la Luna mediante la fuerza de la gravedad, obligándole que siga una trayectoria curva (acelerándose).

2.2.2.- Trabajo. Energía cinética y potencial.

Se entiende por **trabajo** realizado por una fuerza (F) sobre una masa (m) durante un recorrido (s) al producto de la fuerza por dicha distancia:

$$\mathbf{W = Fuerza \times distancia = F \cdot s}$$

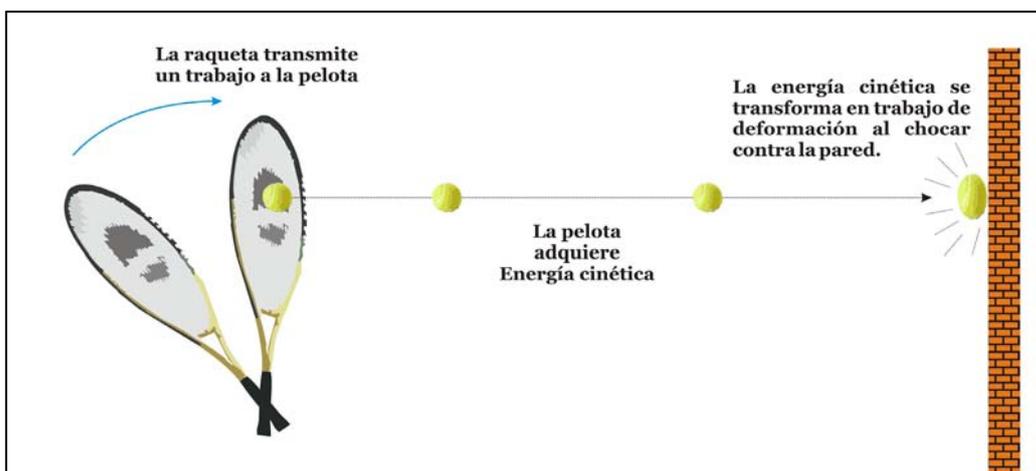


Se mide en **julios (J)** que es igual al trabajo producido al aplicar un newton durante un metro.

En general el trabajo puede dividirse en dos categorías. En la primera éste se realiza en contra de una fuerza. Es el caso de cuando comprimimos un muelle o un arquero tensa un arco, se está haciendo un trabajo contra las fuerzas elásticas. Otro ejemplo se produce cuando levantamos un objeto, hacemos un trabajo contra la fuerza de gravedad. También hacemos trabajo cuando arrastramos un objeto contra la fuerza de rozamiento que nos impide el movimiento del mismo. El otro tipo de trabajo se produce al cambiar el estado de movimiento de un cuerpo acelerándolo o frenándolo.



Cuando hemos tensado la cuerda del arco, el material deformado adquiere la capacidad de hacer un trabajo sobre una flecha. Después de haber elevado un objeto, podemos dejarlo caer adquiriendo la capacidad de producir un trabajo deformando la superficie que golpea o sobre si mismo rompiéndose. Si hemos aplicado un trabajo a un objeto para acelerarlo, por ejemplo al golpear la pelota con una raqueta, la velocidad que adquiere puede realizar un trabajo deformándola al chocar contra una pared. Esta capacidad que adquieren los objetos que les permite realizar un trabajo, o de una forma más general producir cambios en el entorno. Es lo que se conoce como **energía**.



Si una masa posee energía en virtud a su posición o su estado, en espera de ser utilizada se llama **energía potencial**. Por ejemplo un muelle comprimido, un arco tensado o una masa situada a una determinada altura respecto al suelo. En este último ejemplo, como el trabajo realizado es contra la fuerza de la gravedad a esta energía se denomina **energía potencia gravitacional** y vale:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Donde **m** es la masa (kg), **g** la aceleración de la gravedad² (9,81 m/s²) y **h** la altura en metros. Esta energía se mide en Julios (J).

Mismo trabajo igual energía

Como se observa en la figura, la energía potencial de una masa de 10 kg situada a una altura de 2 m. del suelo, es aproximadamente igual a 200 J. ($E_p = 10 \text{ Kg.} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 2 \text{ m.}$). El trabajo realizado no depende del camino seguido para llevarla ahí, lo único que varía es que si recorremos una distancia más corta mayor será la fuerza a realizar y viceversa. Así para el camino (a) hemos hecho una fuerza de 33,33 N ($F = 200 \text{ J.} / 6 \text{ m}$) y en cambio en el (b) la fuerza ha sido de 66,67 N ($F = 200 \text{ J.} / 3 \text{ m}$), el doble.

El trabajo realizado sobre una masa **m** para que adquiera una rapidez **v** se almacena en forma de **energía cinética**, y vale:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Así, el trabajo aplicado sobre un cuerpo sin variar su altura, es igual a la variación de su energía cinética, lo que es lo mismo, un aumento de la energía cinética de una masa implica que hemos realizado un trabajo, que ha llevado consigo un aumento de velocidad. Si ahora se produce una disminución de velocidad, la energía cinética se habrá reducido, y la masa ha realizado un trabajo sobre otro cuerpo o se ha transformado en otro tipo de energía, por ejemplo elevar su altura.

2.2.3.- Principio de conservación de la energía.

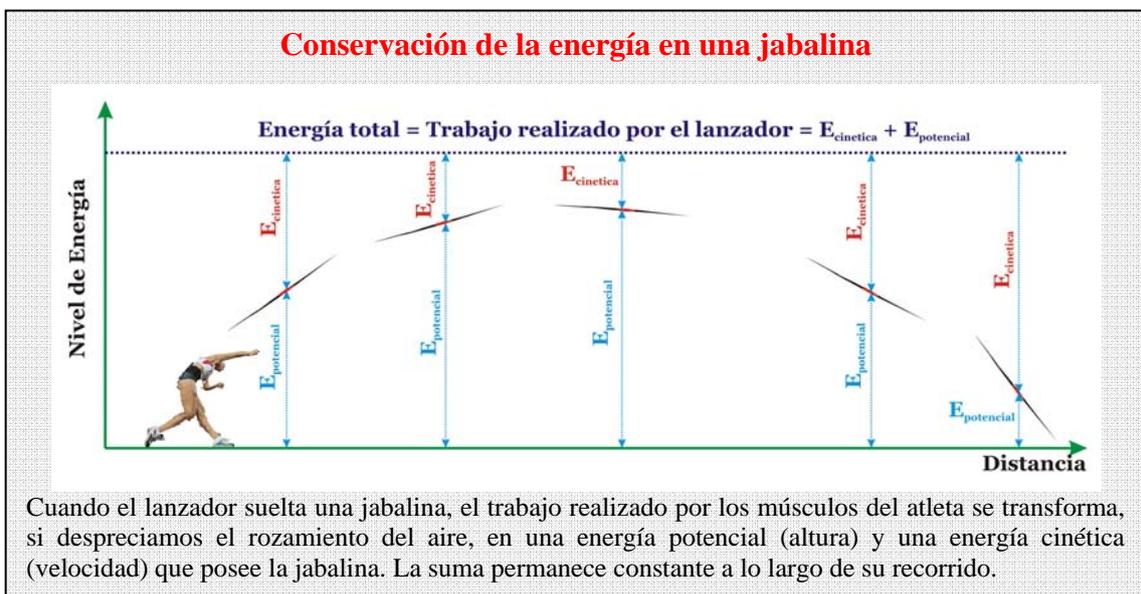
Hemos visto que si a un cuerpo le aplicamos un trabajo, éste se traducirá en un aumento de su energía cinética o potencial, quedándose con una determinada velocidad y altura. Si con este nivel de energía se produjera una variación del mismo, esto se traduciría en un trabajo realizado por el sistema. Éste trabajo liberado puede ser

² Si dejamos caer un cuerpo libremente desde una altura **h**, éste a causa de su peso experimenta una aceleración constante debida a la fuerza de gravedad terrestre, el valor de dicha aceleración es $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Se deduce que la distancia recorrida por un cuerpo en caída libre es igual a $(1/2) \cdot g \cdot t^2$ (Ver Apéndice I)

captado por otra forma de energía haciendo que se incremente la misma. Por lo tanto podemos decir que la variación del trabajo aplicado sobre un cuerpo o sistema es igual a la variación de la energía total del mismo³:

$$\Delta W = \Delta E_T = \Delta E_c + \Delta E_p$$

La **ley de la conservación de la energía mecánica** establece que en la suma de la energía cinética más la potencial permanece constante. La energía total de un sistema puede incluir otros tipos de energía distinta de la cinética y potencial, tales como la energía térmica o química, eléctrica, etc., que al igual que la mecánica estos nuevos tipos de energía pueden sufrir cambios y modificaciones. Pero siempre se cumple la ley de conservación de la energía total de un sistema, establece que la energía total que posee un sistema es igual a la energía absorbida, menos la energía cedida.



2.2.4.- Potencia.

La **potencia** es la **energía** o **trabajo** intercambiado por unidad de tiempo:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v$$

Se mide en **watios** (W) que es igual a un **Julio** por **segundo**. Se usa también:

$$\text{Caballo de Vapor (CV)} = 735,5 \text{ W}$$

No debe confundirse trabajo o energía con potencia. Por ejemplo, un coche aumenta su energía cinética o potencial (caso de subir una cuesta) mediante la transformación de la energía química del combustible. El vehículo tendrá más potencia cuanto más rápido sea esta transformación. Para aumentar la potencia no debemos aumentar la energía química poniéndole más combustible, sino que debemos aumentar el ritmo de

³ La energía se conserva pero puede degradarse. Cuando un coche frena, parte de la energía cinética se transforma en calor en las zapatas de freno. Esta energía calorífica se disipa en el ambiente y no será posible volver a utilizarla.

transformación de esta energía, lo cual se consigue aumentando el número o tamaño de los cilindros del motor o aumentando la velocidad de giro del mismo.

Resumen de conceptos

- La **rapidez** es la relación entre la distancia recorrida en la unidad de tiempo.
- La **velocidad** es la rapidez junto con la dirección y sentido del desplazamiento.
- La velocidad es constante solo cuando la rapidez, la dirección y el sentido son constantes,
- La **aceleración** es la variación de la velocidad con el tiempo.
- Un objeto se acelera cuando su rapidez aumenta, cuando su rapidez disminuye o cuando la dirección y sentido cambia.
- Una **fuerza** es una acción que cambia el estado de movimiento de una masa
- La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza resultante que se ejerce sobre él e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.
- La aceleración tiene la misma dirección que la fuerza resultante.
- Cuando un cuerpo se desplaza con velocidad constante mientras se le aplica una fuerza dicha fuerza debe estar equilibrada por otra de igual magnitud y dirección, pero sentido contrario.
- El **trabajo** realizado por una fuerza es igual a la fuerza por la distancia recorrida por el objeto.
- La **energía** que tiene un objeto es la capacidad de realizar un trabajo. La **energía mecánica** de un objeto se debe a su movimiento (**energía cinética**) o a su posición (**energía potencial**).
- La ley de **conservación de la energía** establece que el trabajo aplicado a un sistema se transforma en energía la cual se conserva o se transforma de una forma a otra.
- La **potencia** es la variación con que se realiza un trabajo.

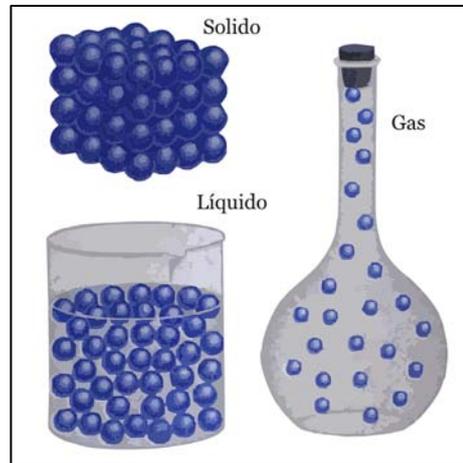
3.- Características de los fluidos.

Yo creo que tenemos un conocimiento peor sobre lo que sucede en un milímetro cúbico de agua, que sobre lo que ocurre en el interior del núcleo atómico

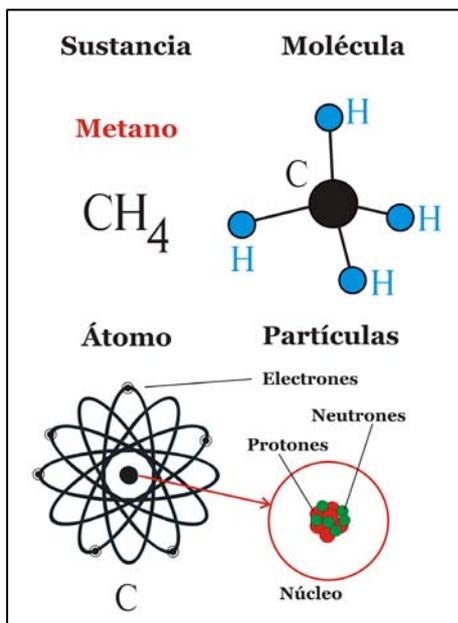
Uriel Frisch, físico contemporáneo.

3.1.- Concepto de fluido.

La materia, en condiciones habituales de presión y temperatura, se presenta en tres estados de agregación, **líquido**, **gaseoso** o **sólido**. Con solo observar un sólido vemos que tiene una forma y un volumen definidos, mientras que un líquido conserva su volumen adoptando la forma del recipiente que lo contiene, y mostrando una superficie libre. En cambio un gas no tiene ni forma ni volumen propio. La diferencia entre los estados de la materia se debe a las fuerzas de cohesión interna de las moléculas, características de cada sustancia.



Podemos justificar este comportamiento, recordaremos brevemente como es la estructura atómico-molecular de la materia. Los objetos que forman parte del universo están constituidos por lo que se conoce como **materia**. Esta se puede dividir en pequeñas porciones hasta llegar a una porción mínima, que se conoce como **moléculas**, que es la más pequeña partícula de un cuerpo que conserva las mismas propiedades que éste. Una molécula esta formada por una serie de partes más pequeñas denominadas **átomos**. Si los átomos que forman una molécula son iguales, a la sustancia se le conoce como **cuerpo simple (elemento)** si por el contrario los átomos son distintos lo llamamos **cuerpo compuesto**.



El **átomo** es la partícula más pequeña de un cuerpo simple y su estructura esta formada por una parte central que se llama **núcleo**. En él esta concentrada la mayor parte de la masa del átomo. Contiene **protones** (partículas eléctricamente positivas) y **neutrones** (partículas eléctricamente neutras). Alrededor de este núcleo giran una o más partículas más pequeñas, con cargas eléctricas negativas llamadas **electrones**. Los electrones se mueven alrededor del núcleo y están ligados a éste por fuerzas de naturaleza nuclear. Pero también existen Las fuerzas de atracción entre las moléculas que forman la materia. Para el caso de un sólido son tan grandes que éste tiende a mantener su forma, pero éste no es el caso de los fluidos (líquidos y gases), donde la fuerza de atracción entre las moléculas es más pequeña.

Una distinción entre sólidos y fluidos queda establecida por su diferente respuesta frente a la acción de una fuerza: los sólidos se deformarán mientras persista la misma,

y recuperaran su forma primitiva total o parcialmente⁴ cuando cese este esfuerzo, debido a la existencia de una fuerza que se opone a la aplicada. Sin embargo, los fluidos fluirán por pequeño que sea el esfuerzo, es decir, cambiarán continuamente de forma, mientras persista dicho esfuerzo, ya que no presentan una fuerza que se oponga a la aplicada, lo que indica que no hay tendencia a recuperar la forma primitiva al cesar el esfuerzo aplicado.

3.2.- Densidad.

La **densidad** es la medida del grado de compactación que tiene un fluido, es decir es la medida de cuanto material (**masa**) se encuentra contenida en espacio determinado (**Volumen**):

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

Se mide el **Kg/m³**.

Si tenemos un metro cúbico de agua ($\rho = 1000 \text{ Kg./m}^3$), ¿Qué ocurre con la densidad si lo repartimos en dos recipientes por la mitad?, La respuesta es nada, ya que ambos recipientes contendrán la misma masa (500 Kg), pero también ocuparan la mitad de volumen (0,5 m³). Pero, si tenemos un metro cúbico de aire ($\rho = 1,21 \text{ Kg./m}^3$) y lo comprimimos, el volumen disminuye sin variar la masa que lo contiene, por lo tanto la densidad aumenta. Al contrario si lo expandimos la densidad disminuye ya que la misma masa ocupa más espacio.

Se denomina **fluido incompresible** aquel que mantiene constante la densidad al variar la presión a la que esta sometido, el agua es un ejemplo de este tipo de fluido.

Se denomina **densidad relativa** al cociente entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de agua. Es decir:

$$\rho_r = \frac{\rho_{\text{sustancia}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

Una sustancia que tenga una densidad relativa mayor que uno quiere decir que contiene mayor masa que el mismo volumen de agua, es decir que es más *pesada* que el agua. Si es menor que uno la sustancia es más *ligera* que el agua.

Si en vez de la masa medimos el **peso**⁵ por unidad de volumen de la sustancia, a esta relación se denomina **peso específico**.

$$\gamma = \frac{\text{Peso}}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g$$

Se mide en **N/m³**. La constante g es la aceleración de la gravedad y vale (9,81 m/s²).

⁴ Si se supera el límite elástico del material, el sólido se queda con una deformación permanente.

⁵ No hay que confundir masa con peso, la masa es la cantidad de materia que tiene una sustancia, en cambio, el peso es la fuerza con que atrae la tierra a dicha masa, que es igual a **m·g**. (Ver Apéndice I)

3.3.-Caudal.

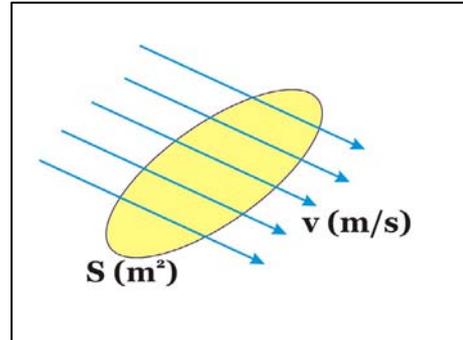
Sea un fluido en movimiento a través de una superficie S , se dice que la misma es atravesada por un **caudal másico** (Q_m), si relacionamos la masa de fluido que la atraviesa (m) por unidad de tiempo, se mide en Kg/s. Si consideramos el volumen de fluido (V) por unidad de tiempo, entonces se denomina **caudal volumétrico** (Q_v). En este caso se mide en m^3/s .

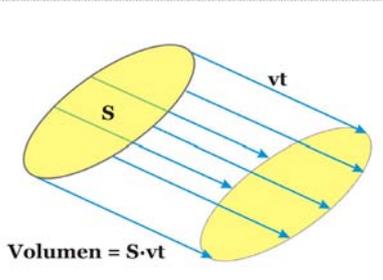
$$1 \text{ m}^3/\text{h} = 2,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1 \text{ lpm} = 1,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 0,06 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se demuestra que si ρ es la densidad del fluido y v la velocidad con que atraviesa la superficie se cumple:

$$Q_m = \rho \cdot S \cdot v \quad Q_v = S \cdot v$$





Caudal que atraviesa una superficie

Sea S una superficie que es atravesada por un fluido que lleva una velocidad v , al cabo de un tiempo t , si la superficie se moviera con el fluido se habría desplazado una distancia $v \cdot t$. Por lo tanto el caudal volumétrico que ha atravesado la superficie en este tiempo t será igual a:

$$V = S \cdot v \cdot t \Rightarrow \frac{V}{t} = S \cdot v \Rightarrow Q_v = S \cdot v$$

3.4.- Presión.

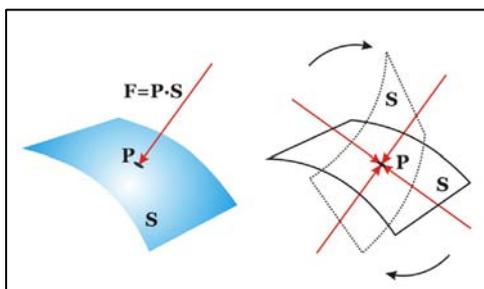
La **presión** se define como la fuerza por unidad de superficie.

$$P = \frac{F}{S}$$

Se mide en **Pascales** (Pa) que es igual a la presión ejercida por una fuerza de un newton sobre una superficie de un m^2 .

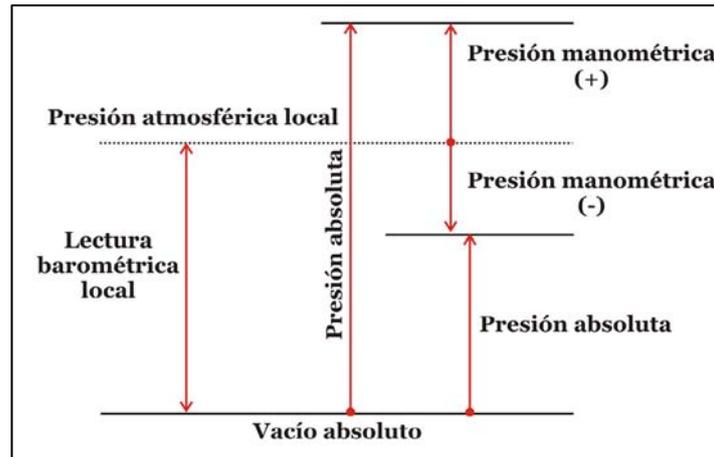
$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 760 \text{ mm Hg} = 10,32 \text{ m.c.a.} = 14,7 \text{ psi}$$

3.4.1.- Definición de presión estática absoluta y manométrica.

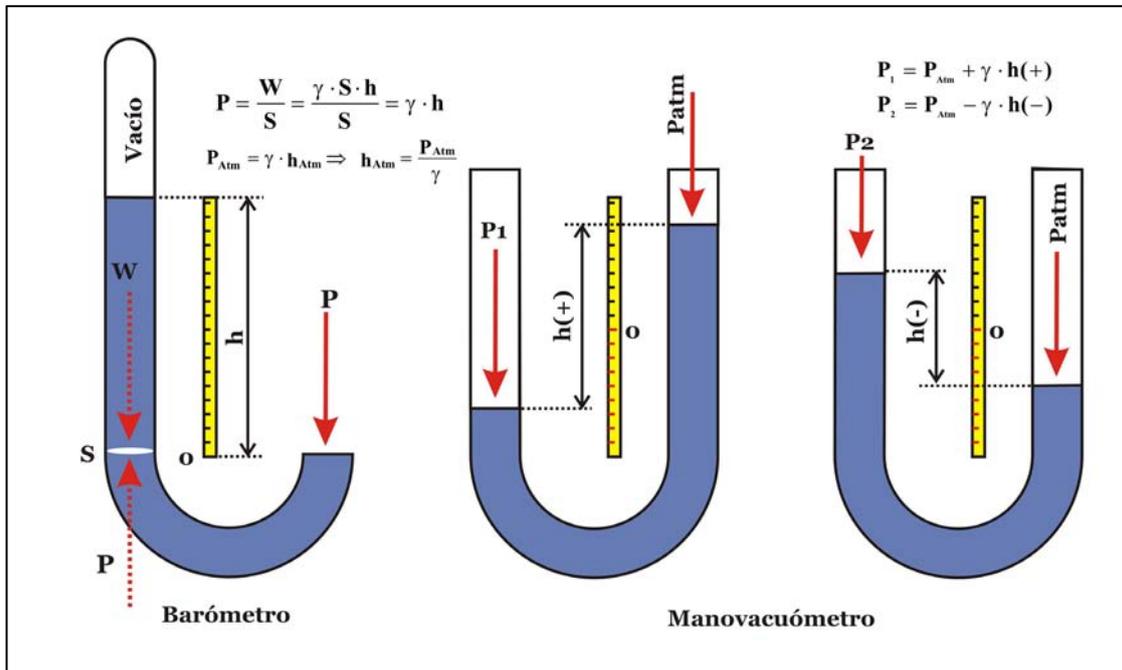


Si en un punto de un fluido decimos que existe una **presión estática** (P), significa que si colocamos una superficie S en dicho punto, aparecerá una fuerza F perpendicular a la misma y de magnitud $P \cdot S$. Si el fluido está en reposo, la fuerza que aparezca sobre dicha superficie es independiente de la orientación de la misma respecto al punto.

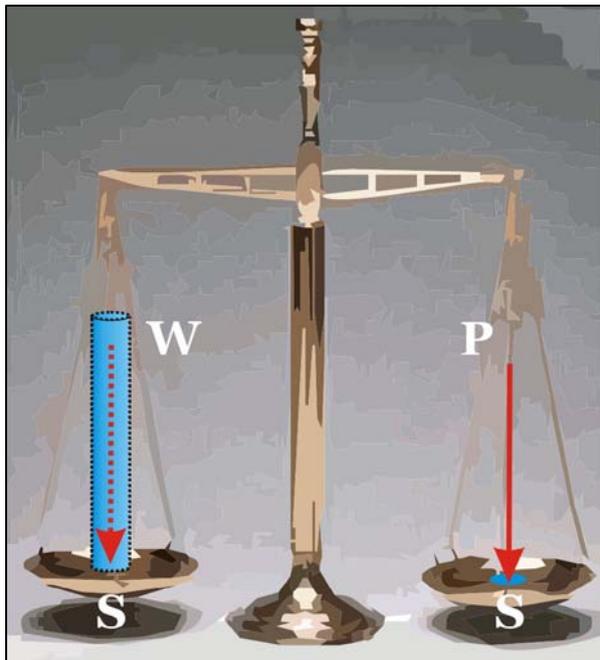
La presión se puede medir respecto a cualquier base de referencia arbitraria, siendo las más usadas el **vacío** y la **presión atmosférica local**. Cuando una presión se expresa como una diferencia entre su valor real y el vacío hablamos de **presión absoluta**. Si la diferencia es respecto a la presión atmosférica local entonces se conoce por **presión manométrica**.



3.4.2.- Barómetros y manómetros.



Los **barómetros** son instrumentos que miden presión absoluta es decir, comparar la presión existente respecto al vacío, en donde la presión es nula. Si medimos la diferencia de presión respecto a la presión atmosférica, estamos calculando, como hemos visto, la **presión manométrica** tomándose con signo más, si la presión es superior a la atmosférica y con signo menos, si la presión medida es inferior a la misma. Los aparatos que miden esta presión positiva se denominan **manómetros** y la negativa **vacuómetros**, si miden ambas se llaman **manovacuómetros**.



Tanto los barómetros como los manómetros, basan su funcionamiento en equilibrar la fuerza que aparece sobre una superficie S debido a la presión a medir (P), con la presión que se ejerce sobre la misma superficie el peso (W) de un volumen de fluido con un peso específico (γ), una altura h y base S. Por lo tanto la presión será igual a⁶:

$$P = \gamma h$$

El valor de h es lo que se conoce como **altura de presión**. Así, en un barómetro sometido a una presión atmosférica normal de 101,325 kPa, el valor de h, depende del fluido que contenga el instrumento⁷:

⁶ La deducción de esta relación la veremos en el apartado de hidrostática.

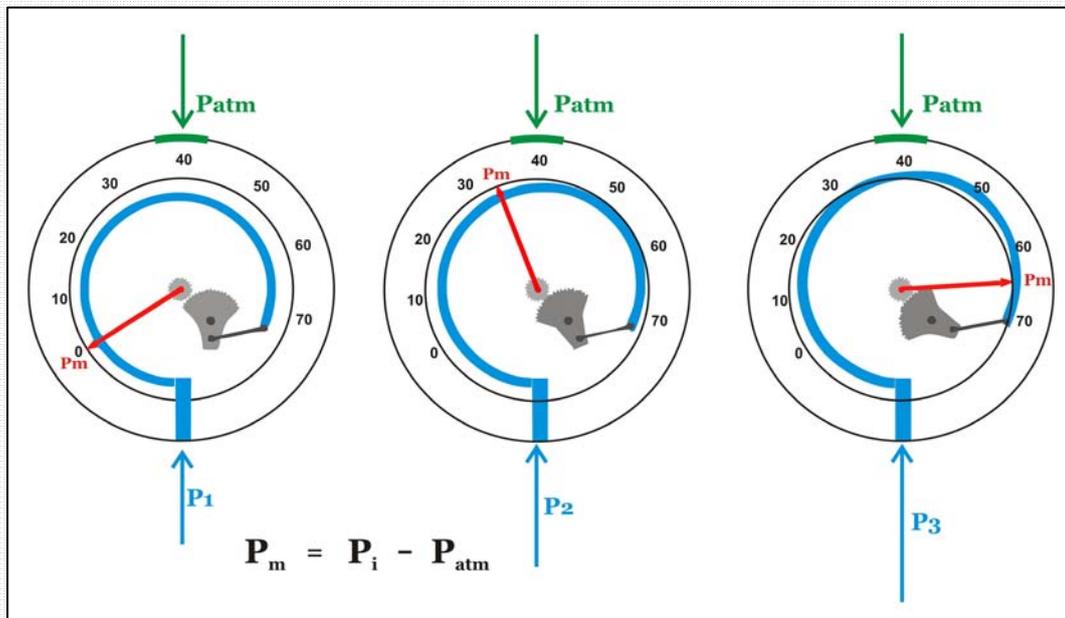
⁷ El peso específico del agua es 9810 N / m³ y para el mercurio 133416 N / m³

$$H = \frac{P}{\gamma_{\text{agua}}} = \frac{101,325 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3} = 10,32 \text{ m.c.a} \quad (\text{Barometro de Agua})$$

$$H = \frac{P}{\gamma_{\text{Hg}}} = \frac{101,325 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2}{133416 \text{ N/m}^3} = 760 \text{ mm. de Hg} \quad (\text{Barómetro de Mercurio})$$

En mecánica de fluidos siempre se mide la presión manométrica. Los instrumentos medida utilizados no son manómetros que basan su funcionamiento en el peso de un fluido sino que se usan unos de tipo mecánico, conocidos como manómetros de **tubo de Bourdon**.

Manómetro de Bourdon



El tubo Bourdon es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón. Este tubo se encuentra dentro de una cámara que se encuentra sometida a la presión atmosférica. Por lo tanto mide la presión manométrica.



Manovacuometro y manómetros de tubo de Bourdon.

3.4.3.- Presión dinámica. Altura de velocidad.

Si un fluido se encuentra en movimiento definimos la **presión dinámica** como:

$$P_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Donde ρ es la densidad y v es la rapidez del fluido.

Esta expresión que tiene unidades de presión es la **energía cinética**⁸ del fluido debida a la velocidad del fluido en su movimiento. La **presión dinámica** no se manifiesta ejerciendo una fuerza sobre una superficie, como ocurre con la **presión estática**, sino que es la energía por unidad de volumen que posee el fluido en movimiento. Dimensionalmente tiene unidades de presión, ya que expresa la energía cinética del fluido por unidad de volumen:

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot (\text{densidad}) \cdot (\text{velocidad})^2 = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}^3} = \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = \text{Pascales (Pa)}$$

$$P = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}} = \frac{(\text{Masa}) \cdot (\text{Aceleración})}{\text{Superficie}} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}^3} = \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = \text{Pascales (Pa)}$$

$$\frac{\text{Energía}}{\text{Volumen}} = \frac{(\text{Fuerza}) \cdot (\text{Espacio})}{\text{Volumen}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{m}^3} = \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = \text{Pascales (Pa)}$$

Así pues la **presión dinámica** no se puede medir con un manómetro, pues dichos instrumentos funcionan solamente con la **presión estática**. Lo que si podemos hacer es que ya que dimensionalmente la presión dinámica tiene unidades de presión (Pa) y dichas unidades son equivalentes a una altura de un cilindro de un determinado fluido de peso específico γ , podemos expresar la presión dinámica como una altura, que denominaremos **altura de velocidad**⁹ (h_v), Así:

$$P_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2} = \rho \cdot g \cdot h_v \Rightarrow h_v = \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

⁸ Ver apartado 2.2.2. Trabajo y energía cinética y potencial.

⁹ Posee un claro significado físico. Es la altura que habría que dejar caer un metro cúbico de agua para que alcanzara la velocidad v .

Un manómetro no marca presión dinámica



Presión estática en reposo

Presión estática en movimiento

Es habitual en el lenguaje de los bomberos denominar *presión dinámica*¹⁰ a la que marca un manómetro cuando el agua que circula en una instalación se encuentra en movimiento. Esta forma de expresarse no es correcta ya que el concepto técnico de presión dinámica es el expuesto, lo que marca un manómetro en esa situación es una presión estática, la cual ha disminuido respecto a la que había ya que parte de la energía, que poseía el agua cuando estaba en reposo, se ha gastado en poner en movimiento el fluido.

Resumen de conceptos

- Un **sólido** se deforma bajo la acción de una fuerza y recupera su forma primitiva total o parcialmente cuando cesa este esfuerzo. Un **fluido** cambiará continuamente de forma, mientras persista dicho esfuerzo, ya que, al contrario que los sólidos, no presentan una fuerza que se oponga a la aplicada.
- La **densidad** (ρ) es la medida del grado de compactación que tiene un fluido, es decir es la medida de cuanto material (masa) se encuentra contenida en espacio determinado (Volumen). Si medimos el peso por unidad de volumen se denomina **peso específico**.
- El **caudal másico** (Q_m), es la relación entre la masa de fluido que la atraviesa una superficie por unidad de tiempo. Si consideramos el volumen de fluido por unidad de tiempo, entonces se denomina **caudal volumétrico** (Q_v).

$$Q_m = \rho \cdot S \cdot v \quad Q_v = S \cdot v$$

- En un fluido decimos que existe una **presión estática** en un punto, si aparece una fuerza (F) sobre cualquier superficie S colocada en dicho punto, perpendicular a la misma y de magnitud $P \cdot S$. La fuerza que aparece sobre dicha superficie es independiente de la orientación de la misma respecto al punto.
- La presión estática es igual a $P = \gamma h$ donde γ es el peso específico y h la altura de presión.
- Cuando una presión se expresa como una diferencia entre su valor real y el vacío hablamos de **presión absoluta**. Si la diferencia es respecto a la presión atmosférica local entonces se conoce por **presión manométrica**.
- Los **barómetros** son instrumentos que miden presión absoluta. Un **manómetro** mide la presión manométrica positiva, la negativa se mide con los denominados **vacuómetros**. Los **monovacuumetros** miden ambas.

¹⁰ En algunos textos la llaman *presión residual*, expresión que es más correcta.

- La **presión dinámica** es la energía cinética del fluido debida a su velocidad, no se manifiesta ejerciendo una fuerza sobre una superficie, como ocurre con la presión estática, sino como una capacidad de producir trabajo del fluido en movimiento.

$$P_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

- No hay que confundir presión dinámica con presión estática (presión residual) que se manifiesta en un fluido en movimiento.

4.- Hidrostática.

¡Eureka! ¡Eureka!
Arquímedes (287 - 212 a.C.)

Lo último que uno sabe, es por donde empezar.
Blaise Pascal (1623-1661)

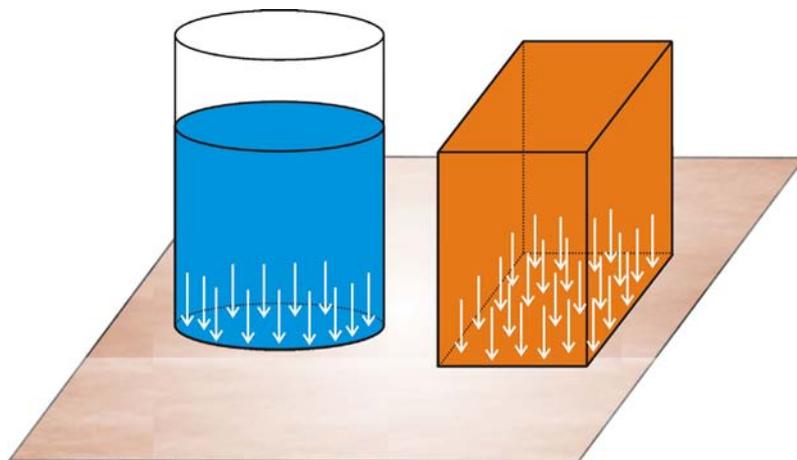
4.1.- Introducción

La **Mecánica de fluidos**, es la parte de la física que se ocupa del estudio del comportamiento de los fluidos tanto en reposo como en movimiento, siendo el fundamento teórico de las aplicaciones de ingeniería y las máquinas que utilizan los fluidos en su funcionamiento. El estudio de los fluidos puede subdividirse en dos campos principales: la estática de fluidos, o **hidrostática**, que se ocupa de los fluidos en reposo, y la **hidrodinámica** se aplica al flujo de líquidos o al flujo de los gases a baja velocidad, en el que puede considerarse que el gas es esencialmente incompresible.

En este apartado estudiaríamos la hidrostática, centrándonos en dos principios fundamentales. El primero fue formulado por primera vez por el matemático y filósofo francés **Blaise Pascal** en 1647, y se conoce como **principio de Pascal**. Dicha regla, que tiene aplicaciones muy importantes en hidráulica, afirma que la presión aplicada sobre un fluido contenido en un recipiente se transmite por igual en todas direcciones y a todas las partes del recipiente. El segundo principio fue denunciado por el matemático y filósofo griego **Arquímedes**. El **principio de Arquímedes** afirma que todo cuerpo sumergido en un fluido, experimenta una fuerza hacia arriba igual al peso del volumen de fluido desplazado por dicho cuerpo.

4.2.- Ley fundamental de la hidrostática.

Supongamos que tenemos un recipiente cilíndrico que contiene agua y un bloque sólido.

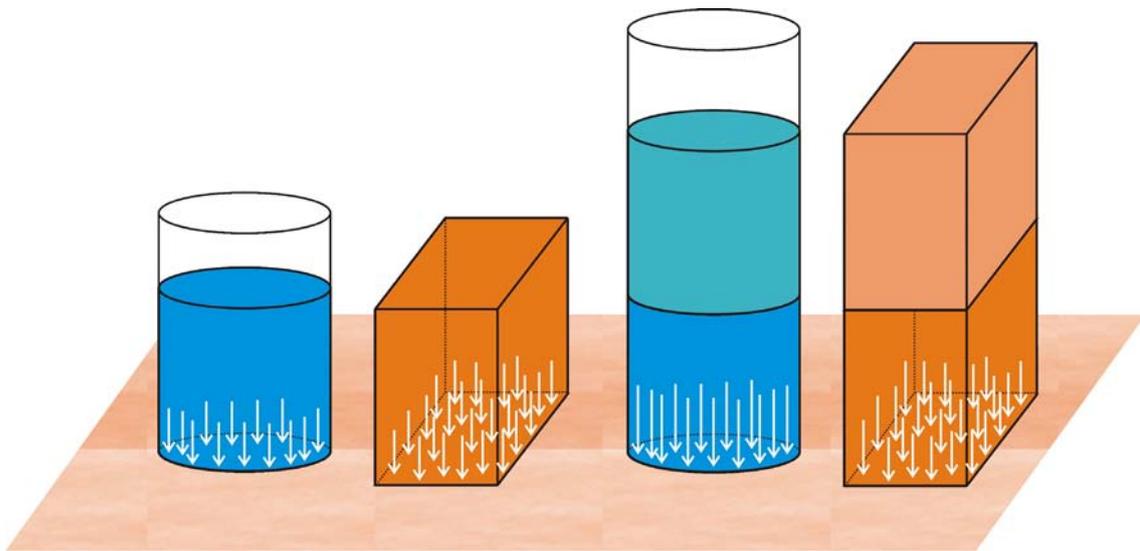


La presión que ejerce el bloque sobre la mesa será igual al peso del bloque dividido

por su área de contacto:

$$P = \frac{\text{Peso}}{\text{Superficie}}$$

De forma análoga, la presión que ejerce el líquido contra el fondo del mismo será el peso del líquido dividido por el área del fondo del recipiente¹¹. El peso del líquido, y por tanto la presión que ejerce, depende de la densidad, ya que si consideramos dos recipientes idénticos, llenos por ejemplo de agua y de mercurio respectivamente, el mercurio es 13,6 veces más denso que el agua por lo tanto la presión será 13,6 veces mayor. Para los líquidos que tengan la misma densidad, la presión será mayor cuanto más profundo sea el recipiente. Consideremos dos recipientes:



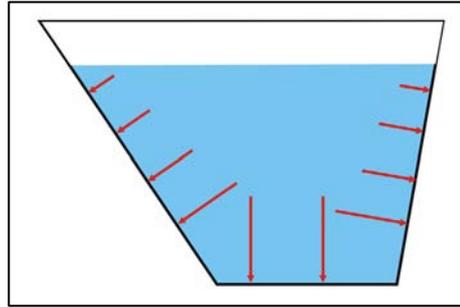
Si el líquido del primer recipiente tiene una profundidad dos veces mayor que el líquido del segundo recipiente, entonces al igual que dos bloques colocados uno encima de otro, la presión del líquido en el fondo del segundo recipiente será dos veces mayor que en el primer recipiente.

Resulta, por lo tanto que la presión de un líquido en reposo depende solo de la densidad y de la profundidad del líquido, no de la forma del recipiente ni del tamaño del fondo:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Peso}}{\text{Superficie}} = \frac{\text{Peso específico} \cdot \text{Volumen}}{\text{Superficie}} = \\
 &= \frac{\text{Peso específico} \cdot \text{Superficie} \cdot \text{Profundidad}}{\text{Superficie}} = \\
 &= \text{Peso específico } (\gamma) \cdot \text{Profundidad } (h) = \rho \cdot g \cdot h
 \end{aligned}$$

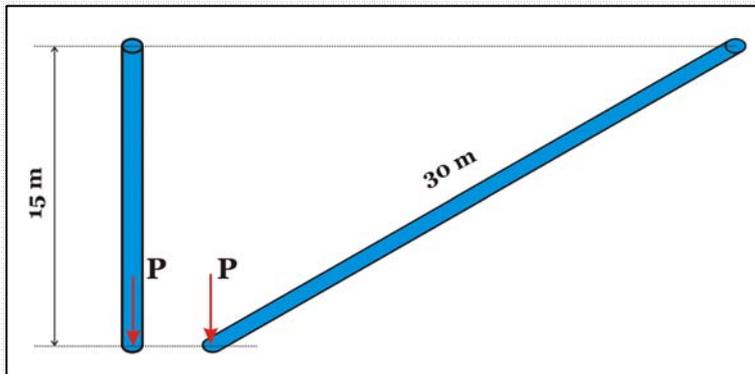
¹¹ Suponemos que estamos midiendo presión manométrica por lo que prescindimos de la presión atmosférica adicional que aparece sobre la superficie del líquido.

A cierta profundidad h , el agua ejerce la misma presión contra cualquier superficie, sobre el fondo o sobre los costados del recipiente e incluso sobre la superficie de un objeto sumergido en el líquido a esa profundidad. Por lo tanto, la característica fundamental de cualquier fluido en reposo es que la fuerza ejercida sobre cualquier superficie es la misma en todas direcciones. Si las fuerzas fueran desiguales, la superficie se desplazaría en la dirección de la fuerza resultante. Así que la presión que el fluido ejerce contra las paredes del recipiente que lo contiene, sea cual sea su forma, es perpendicular a la pared en cada punto. Si la presión no fuera perpendicular el fluido se movería a lo largo de la pared.



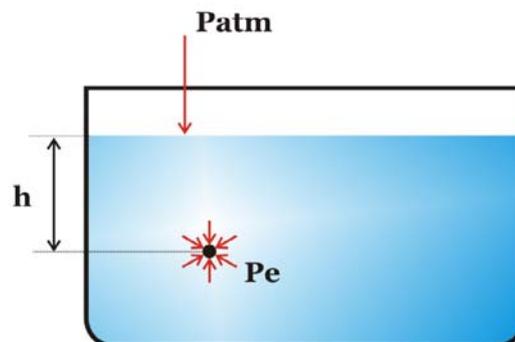
Misma altura misma presión

La masa de una columna de agua de 30 cm. de altura y una sección transversal de $6,5 \text{ cm}^2$ es de 0,195 Kg., y la fuerza ejercida en el fondo será el peso correspondiente a esa masa, es decir 2 N. Una columna de la misma altura pero con un diámetro 12 veces superior tendrá un volumen 144 veces mayor, y pesará 144 veces más, pero la presión, que es la fuerza por unidad de superficie, seguirá siendo la misma, puesto que la superficie también será 144 veces mayor.



Así, la presión en el fondo de una tubería vertical llena de agua de 1 cm. de diámetro y 15 m de altura es la misma que en el fondo de un lago de 15 m de profundidad. De igual forma, si una tubería de 30 m de longitud se llena de agua y se inclina de modo que la parte superior esté sólo a 15 m en vertical por encima del fondo, el agua ejercerá la misma presión

sobre el fondo que en los casos anteriores, aunque la distancia a lo largo de la tubería sea mucho mayor que la altura de la tubería vertical.



Si consideramos el efecto de la presión atmosférica sobre la superficie del recipiente con agua, la **presión estática absoluta** a una profundidad h será:

$$P_e = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h$$

P_{atm} : Presión sobre la superficie.

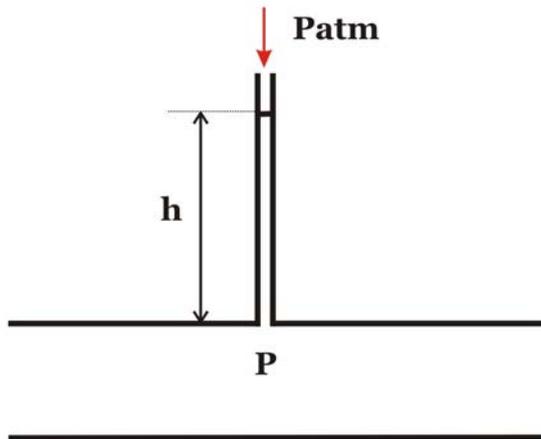
ρ : Densidad (Kg/m^3).

g : aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$).

h : profundidad.

Si P_{atm} es la presión atmosférica $\rho \cdot g \cdot h$ será la **presión manométrica**, que se conoce también por nombre de **altura de presión**, ya que si tenemos una conducción con agua

y existe una presión absoluta P , si colocamos un tubo, tal como muestra la figura.



El agua subirá por el tubo, venciendo la presión atmosférica, hasta una altura h , que será igual al peso de la columna de agua.

$$P = \gamma h$$

Donde γ : Peso específico del agua y h es la altura en metros.

4.3.- Principio de Pascal.

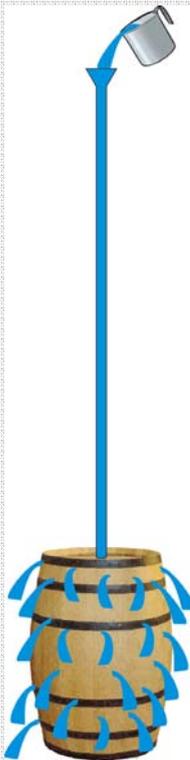
Se ha visto que la presión estática actúa en todas las direcciones y que la presión que realiza un líquido sobre un recipiente, no depende de la cantidad de líquido, sino de la altura de este, siendo la dirección de la presión perpendicular a la superficie que esta en contacto con el fluido. Todas estas propiedades se resumen en lo que se conoce como **principio de Pascal**:

La presión aplicada a un líquido encerrado dentro de un recipiente se transmite por igual a todos los puntos del fluido y a las propias paredes del mismo.

Esto significa que si por ejemplo tenemos una esfera con agujeros, si accionamos el pistón, el agua saldrá por los distintos orificios, en dirección perpendicular a la superficie.



El barril de Pascal



Pascal realizó un experimento para demostrar su principio. Cogió un barril repleto de agua y colocó encima del mismo un tubo de gran longitud, pero de sección muy pequeña. Lo llenó con tan solo un litro de agua y explotó el barril debido a la gran presión que había transmitido a su interior.

Supongamos que tenemos un barril que tiene una tapa de 40 cm, y se encuentra lleno de agua. Sobre la misma colocamos un tubo de 16 mm. de diámetro y 5 m de altura y lo llenamos de agua. El volumen de agua en el tubo será de un litro:

$$V = S \cdot h = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot 5 \text{ m} = 0,001 \text{ m}^3$$

Luego sobre la superficie del tubo se está ejerciendo una presión de:

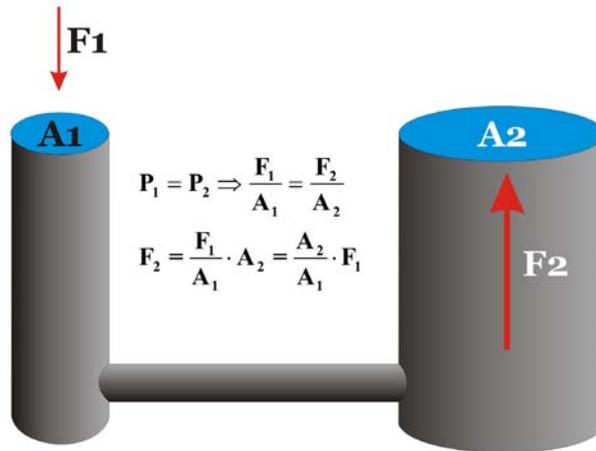
$$P = \frac{F}{S_T} = \frac{m \cdot g}{S_T} = \frac{m \cdot g}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{1 \text{ Kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{0,0002 \text{ m}^2} = 49050 \text{ Pa} \approx 0,5 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo tanto la fuerza que se ejerce sobre la tapa será de:

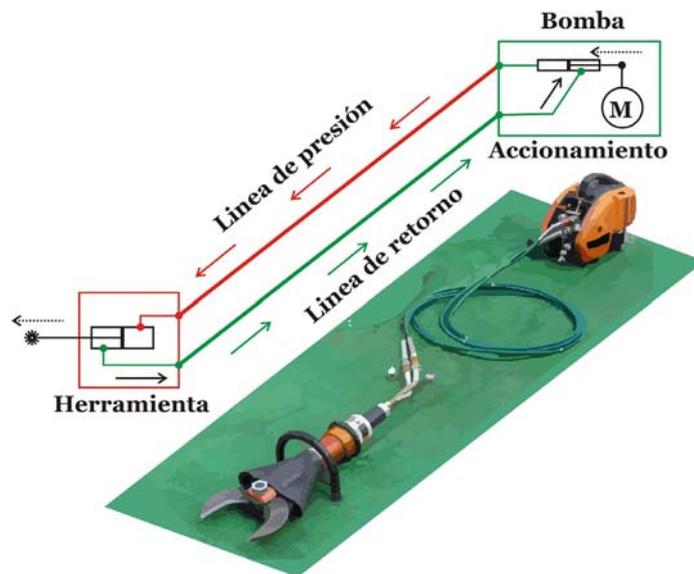
$$F = P \cdot S_{\text{Tapa}} = 49050 \text{ Pa} \cdot \frac{\pi \cdot 0,4^2}{4} \text{ m}^2 = 6163,8 \text{ N} \approx 628 \text{ Kg}$$

¡Mas de media tonelada!, suficiente para que la tapa del barril explote.

Una aplicación del principio de Pascal es la denominada **prensa hidráulica**. Cuando se aplica una fuerza F_1 , al émbolo más pequeño, la presión en el líquido (agua o aceite) aumenta el F_1/A_1 , la cual se transmite en todas direcciones. Al llegar al émbolo más grande, transmite al mismo una fuerza F_2 que será igual al incremento de presión por el área A_2 :



Si A_2 , es mucho mayor que A_1 , puede utilizarse una fuerza pequeña F_1 , para ejercer otra mucho más mayor F_2 , que permita levantar un peso considerable situado sobre el émbolo grande. Por ejemplo si la sección A_2 es veinte veces mayor que la A_1 , la fuerza F_1 aplicada sobre el émbolo pequeño, se ve multiplicada por veinte en el émbolo grande.



La prensa hidráulica es un dispositivo que tiene varias aplicaciones técnicas, Este tipo de máquina esta presente en diversos dispositivos, tales como, los gatos hidráulicos, las grúas, los frenos de los coches o en las herramientas de excarcelación, (ver figura). Hay que hacer notar que como ocurre con toda máquina, ésta intercambia trabajo y por lo tanto el desplazamiento del pistón pequeño es superior al grande, el cual se moverá más lento.

4.4.- Principio de Arquímedes.

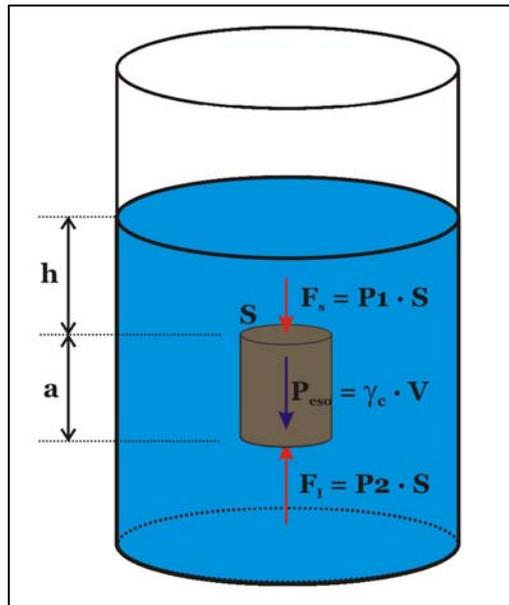
Cuando un cuerpo se sumerge en un fluido, por ejemplo agua, vemos que experimenta una pérdida de peso, es decir aparece una fuerza en sentido contrario a la gravedad que denominamos **fuerza de flotación** o **empuje**. Esta propiedad se denomina **flotabilidad**.

¿Cuál es el origen de esta fuerza de flotación? Consideremos un cilindro que pose un peso específico γ_c y de altura **a** sumergido en agua, (ver figura). Sobre la cara superior de este cuerpo, que tiene una superficie **S**, se esta ejerciendo una fuerza debida a la presión de:

$$F_S = P_1 \cdot S = (\gamma_{\text{agua}} \cdot h) \cdot S$$

Sobre la cara inferior soportara una fuerza debida a la presión a una profundidad (h + a)

$$F_I = P_2 \cdot S = \gamma_{\text{agua}} \cdot (h + a) \cdot S$$



Por lo tanto la fuerza que actúan en la parte inferior del cilindro menos la que actúa en la parte de arriba es la fuerza de flotación (**E**):

$$E = F_I - F_S = \gamma_{\text{agua}} \cdot (h + a) \cdot S - (\gamma_{\text{agua}} \cdot h) \cdot S = \gamma_{\text{agua}} \cdot a \cdot S = \gamma_{\text{agua}} \cdot V$$

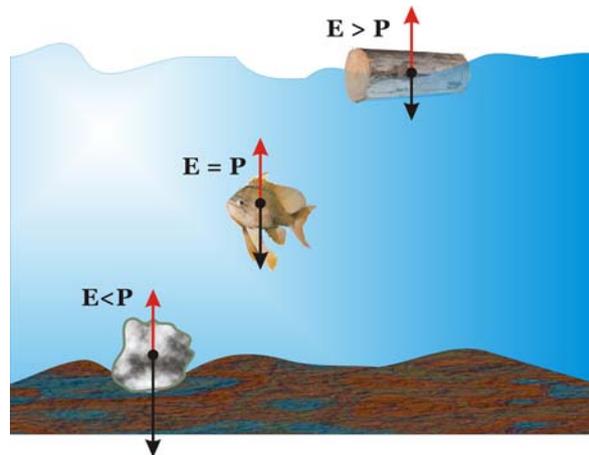
Donde **V** es el volumen del cilindro. Por lo tanto la fuerza de flotación es igual al peso del volumen de agua desalojada por el cuerpo, además como no depende de la profundidad **h**, es igual a cualquier profundidad. Esto es lo que se conoce como **principio de Arquímedes**:

Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza hacia arriba igual al peso del volumen de fluido desplazado por dicho cuerpo.

Por lo tanto:

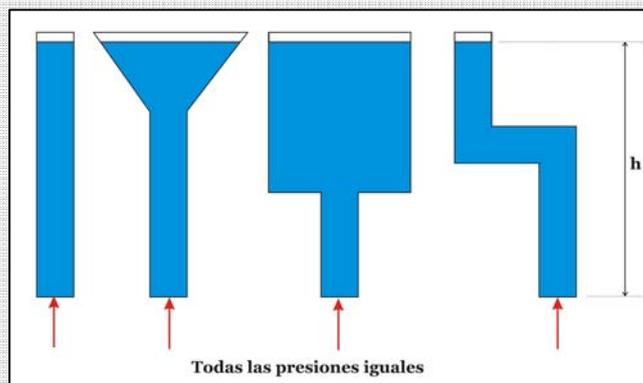
$$R = E - P_{\text{eso}} = \gamma_{\text{agua}} \cdot V - \gamma_c \cdot V = (\gamma_{\text{agua}} - \gamma_c) \cdot V$$

Si el peso específico del cuerpo sumergido es mayor que el agua ($\gamma_{\text{agua}} < \gamma_c$), la fuerza resultante es negativa ($R < 0$), luego se hundirá. Si es igual ($\gamma_{\text{agua}} = \gamma_c$) la resultante es nula ($R = 0$) así que el objeto sumergido permanece en el nivel en el que se encuentra. Y si el peso específico es inferior al del agua ($\gamma_{\text{agua}} > \gamma_c$) la fuerza es positiva ($R > 0$) y el cuerpo sube a la superficie y flota.



Resumen de conceptos

- La **presión estática**:
 - 1) Es perpendicular a cualquier superficie sobre la que actúa.
 - 2) Es igual en todas las direcciones.
 - 3) La presión aplicada a un líquido encerrado dentro de un recipiente se transmite por igual a todos los puntos del fluido y a las propias paredes del mismo. (**Principio de Pascal**)
 - 4) Es proporcional a la profundidad y al peso específico del líquido.
 - 5) La presión en el fondo de un recipiente es independiente del tamaño y forma que lo contiene, siempre que tenga la misma altura.



- La **flotabilidad** es la pérdida aparente de peso de un objeto sumergido en un fluido.
- Según el **principio de Arquímedes**, todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza hacia arriba igual al peso del volumen de fluido desplazado por dicho cuerpo. Esta fuerza es independiente de la profundidad.
- Si un objeto tiene mayor densidad que el fluido en el que se encuentra inmerso, se hundirá, si es igual permanece sin hundirse ni flotar, y si es menos denso flotará.

Apéndice I. Leyes de Newton.

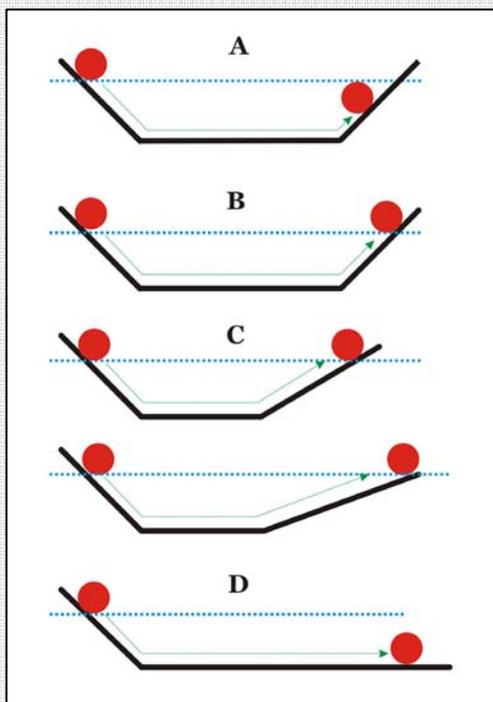
En 1687, el físico y matemático inglés **Isaac Newton (1643 - 1727)** publica el libro *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*. En esta obra formula tres leyes con las que explica el movimiento de los cuerpos, así como sus efectos y causas. Estas leyes combinadas con la **ley de gravitación universal**, son la base de lo que se conoce como mecánica clásica.

Primera ley

Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que otros cuerpos actúen sobre él.

También se conoce como **principio de inercia**, entendiéndola ésta como la propiedad física que mide cuánto se opone un cuerpo a que se produzcan cambios en su movimiento. Explica, por ejemplo, porque cuando frena un autobús tendemos a irnos hacia adelante, la inercia que posee nuestro cuerpo hace que continuemos en movimiento aunque el autobús haya frenado. Si en lugar de frenar, el autobús da una curva cerrada, tendemos a desplazarnos hacia el lado contrario de la curva, ya que nuestro cuerpo mantiene la tendencia de seguir moviéndose en línea recta, aunque el autobús haya cambiado de trayectoria.

Principio de inercia de Galileo



Antes del siglo XVII se creía que para mantener un cuerpo en movimiento con velocidad constante había que aplicarle una fuerza constante. Esto coincide con la experiencia cotidiana, ya que si dejamos de empujar un carrito del supermercado, por ejemplo, este se para al poco tiempo. En el año 1638 el matemático y astrónomo italiano **Galileo Galilei (1564-1642)** publica el libro *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, en donde describe una serie de experimentos con bolas y planos inclinados.

Soltó una bola por un plano inclinado desde cierta altura. La bola bajó y luego subió por otro plano inclinado, observando que casi llegaba el mismo nivel del que habían partido. (Fig. A). Galileo pensó que a causa del rozamiento algo se perdía por el camino. Así que, si pudiera eliminarse completamente la fricción, la bola llegaría exactamente hasta la misma altura de la que partió. (Fig. B). Galileo bajó la inclinación del plano por el que subía la bola. ¿Hasta dónde sube ahora? Se comprueba que si bien la bola recorre una distancia mayor llega hasta el mismo nivel. (Fig. C). Luego si el segundo plano no está

inclinado en absoluto, ¿Hasta dónde llega la pelota? ¿Qué distancia recorrerá? (Fig. D). Galileo concluyó que, cuando se elimina la fuerza de fricción que hace perder impulso, los objetos en movimiento siguen en movimiento sin necesidad de fuerza, continuando así al menos que se otras fuerzas actúen sobre él.



Otra consecuencia de la inercia es la razón por la que los carritos del supermercado cuesta ponerlos en movimiento cuando están muy llenos. Si queremos que alcancen una cierta velocidad hay que empujarlos con fuerza o durante mucho tiempo, o las dos cosas a la vez. Si queremos hacerlos girar nos costará mucho cuanto más productos lleven. En consecuencia cuanto más masa posee un cuerpo más se opone a los cambios en su movimiento. Por eso la inercia puede considerarse una medida cualitativa de la masa que tiene el cuerpo.

Segunda ley

La fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional a su aceleración.

Esta segunda ley de Newton se encarga de cuantificar el concepto de fuerza. Ya que expresa que la fuerza neta aplicada sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que adquiere dicho cuerpo. Siendo precisamente la constante de proporcionalidad la masa del cuerpo, de manera que podemos expresar la relación de la siguiente manera:

$$\Delta F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \cdot a$$

Así que un incremento de la fuerza aplicada (ΔF) a una masa m se traduce en una variación de su velocidad Δv (una aceleración). Originalmente Newton, expresó esta ley en función de otra magnitud física denominada **cantidad de movimiento (p)**, definida como el producto de la masa de un cuerpo por su velocidad, es decir:

$$p = m \cdot v$$

En términos de esta nueva magnitud física, la segunda ley se expresa de la siguiente manera: *la Fuerza que actúa sobre un cuerpo es igual a la variación temporal de la cantidad de movimiento de dicho cuerpo, es decir:*

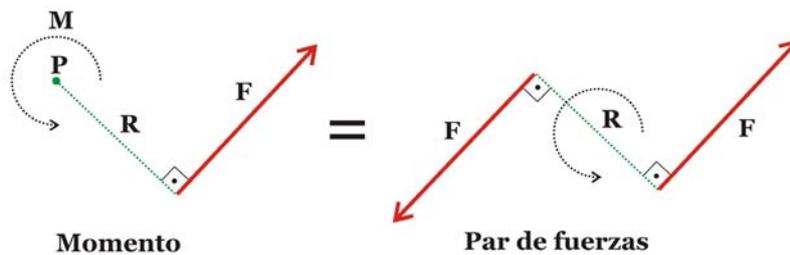
$$\Delta F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$$

Si no se produce variación de masa ambos enunciados son equivalentes:

$$\Delta F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \cdot a$$

Si la fuerza total que actúa sobre un cuerpo es nula, la cantidad de movimiento del cuerpo permanece constante en el tiempo. Esto se conoce como **principio de conservación de la cantidad de movimiento**.

Se conoce como **momento** o **par (M)** de una fuerza (**F**) respecto a un punto, al producto de la magnitud de la fuerza por la distancia perpendicular (**R**) entre donde se aplica la fuerza y dicho punto. Un momento equivale a un **par de fuerzas**, que es el conjunto de dos fuerzas iguales paralelas de sentido contrario cuyas rectas de aplicación no coinciden separadas una distancia R.



Se denomina **momento cinético** o **angular (L)** al producto de la cantidad de movimiento por la distancia R perpendicular al punto:

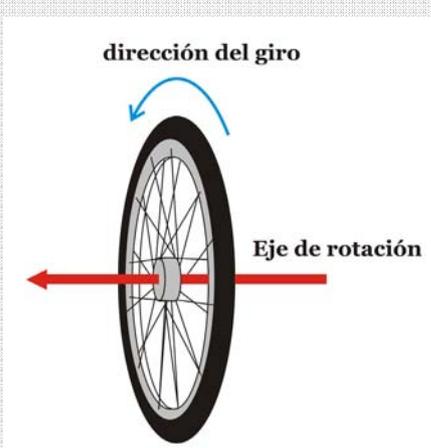
$$L = p \cdot R = m \cdot v \cdot R$$

La variación del momento cinético respecto al tiempo, si es igual a:

$$\Delta L = \frac{\Delta(m \cdot v \cdot R)}{\Delta t} = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \cdot R = F \cdot R = M$$

Por lo tanto una masa conserva su momento cinético L al menos que se aplique un par externo sobre él.

Mantener el equilibrio en una bicicleta



Mantener el equilibrio sobre la bicicleta cuando está parada es casi imposible, mientras que cuando se mueve es muy fácil. ¿Por qué? El motivo es que cuando un cuerpo está en rotación tiende a oponerse a cualquier intento de modificar la dirección de su eje de rotación (horizontal en la bicicleta). Esto se conoce como **efecto giroscópico** y es una consecuencia del principio de conservación del momento angular, ya que cualquier par que se aplique a un cuerpo se traduce en una modificación en la dirección del momento cinético, que coincide con la dirección del eje de rotación. Esta es la misma razón por la cual, para girar a la derecha o a la izquierda con la bicicleta, es suficiente desplazar nuestro peso en la dirección deseada. Por la conservación del momento angular, la bicicleta se desviará hacia allí.

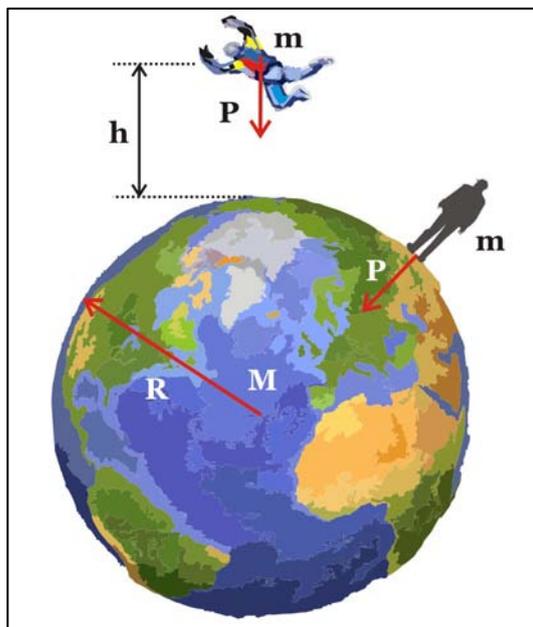
Tercera ley

Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, éste ejerce sobre el primero una fuerza igual y de sentido opuesto.

También conocida como **principio de acción y reacción**, significa que si un cuerpo A ejerce una acción sobre otro cuerpo B, éste realiza sobre A otra acción igual y de sentido contrario.

Esto es algo que podemos comprobar, por ejemplo, cuando estamos en una piscina y empujamos a alguien, nosotros también nos movemos en sentido contrario. Esto se debe a la reacción que la otra persona hace sobre nosotros, aunque no haga el intento de empujarnos a nosotros. Hay que destacar que, aunque los pares de acción y reacción tenga el mismo valor y sentidos contrarios, no se anulan entre si, puesto que actúan sobre cuerpos distintos.

Ley de gravitación universal



Isaac Newton en su libro *Principios Matemáticos de Filosofía Natural* también enunció la **ley de gravitación universal**, que dice que: *todas las masas se atraen a todas las demás masas con una fuerza (F_g) que es proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (R) que las separa:*

$$F_g = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$$

Donde **G** es la constante de gravitación universal, cuyo valor se obtiene experimentalmente y vale:

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$$

La fuerza de gravedad es una fuerza que se manifiesta a distancia, sin contacto entre las masas, así un paracaidista cayendo desde una altura h o una persona sobre la superficie de la Tierra están siendo sometidos a la gravedad. Se denomina **peso (P)** a esta fuerza con que la masa de la tierra **M** atrae a otra masa **m**, que si se encuentra sobre la superficie de la tierra, su valor será:

$$P = G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2} = \frac{G \cdot M}{R^2} \cdot m$$

Donde:

G es la constante de gravitación universal

M es la masa de la tierra en Kg. ($M = 5,98 \times 10^{24}$ Kg.)

R es el radio de la tierra en m. ($R = 6,37 \times 10^6$ m.)

Vemos que el peso es igual a la masa multiplicada por un constante, que vale:

$$g = \frac{G \cdot M}{R^2} = \frac{6,67 \times 10^{-11} \text{ (N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2) \cdot 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}}{(6,37 \times 10^6)^2 \text{ m}^2} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

La constante **g** tiene unidades de aceleración (m/s^2) y depende de la masa y del radio de la Tierra. Esto hace que el peso tenga naturaleza de una fuerza, ya que cumple la segunda ley de Newton, al ser aplicada a una masa le causa un aceleración **g**. Supongamos ahora que tenemos a una persona sobre la superficie de la Tierra y un paracaidista cayendo desde un altura **h**. ¿Están sometidas a mismo valor de **g**?

El paracaidista estará sometido a una fuerza de gravedad de:

$$F_g = G \cdot \frac{M \cdot m}{(R + h)^2} \approx \frac{G \cdot M}{R^2} \cdot m$$

Siempre que **R** sea muy grande comparada con **h**, todos los cuerpos en caída libre sufren la misma aceleración, independientemente de su masa.