

Tema 71. Estudio del movimiento. Fuerzas, efectos sobre los cuerpos. Leyes de Newton. Estática de los cuerpos rígidos. Condiciones de equilibrio. Estática de los fluidos.

2º E.S.O. Bloque 1.
4º ESO. Bloque 1

71.1. Estudio del movimiento

71.1.1. Vector de posición

71.1.2. Movimientos de especial interés

71.2. Fuerzas, efectos sobre los cuerpos

71.3. Composición de fuerzas

71.3.1. Composición de fuerzas que tienen la misma dirección

71.3.2. Composición de fuerzas concurrentes

71.3.3. Composición de fuerzas paralelas

71.4. Leyes de Newton

71.4.1. Primer principio de la Dinámica o principio de inercia

71.4.2. Segundo principio de la Dinámica

71.4.2. Tercer principio de la Dinámica

71.5. Estática de los cuerpos rígidos. Condiciones de equilibrio

71.6. Estática de los fluidos.

71.6.1. Principio de Arquímedes

71.6.2. Vasos comunicantes

71.1. Estudio del movimiento

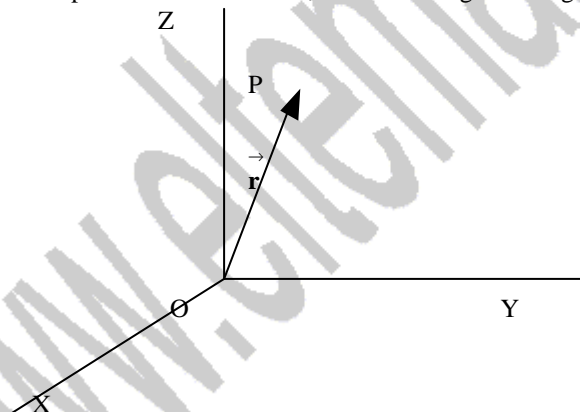
Todos tenemos un concepto intuitivo de las diferencias entre reposo y movimiento. El problema se plantea si queremos dar definiciones absolutas y correctas de ambos conceptos. Hemos de coger un sistema referencial (un sistema de coordenadas) para referir a ellos la posición de un punto material, y entonces decimos que dicho punto está en "reposo", respecto al sistema de referencia, cuando sus coordenadas no varía en el transcurso del tiempo; decimos que está en "movimiento" cuando, al menos una de sus coordenadas cambia al transcurrir el tiempo.

En general los cuerpos materiales son extensos y están compuestos de infinitud de partículas, cada una con su masa y dimensión propias, además el movimiento de un cuerpo extenso es complejo. Por esta razón se inicia la **cinemática** con el estudio del movimiento del "punto material", un ente conceptual al que se le supone masa, pero no dimensiones, tratándose, pues, como un punto matemático.

Debemos recordar que el movimiento de un punto material es un concepto relativo. Está siempre referido a unos determinados ejes o sistemas de referencia. El mismo punto puede estar describiendo otro movimiento completamente diferente en otro sistema referencial. Piénsese, a modo de ejemplo, el movimiento que realiza la luna en un sistema de referencia centrado en la Tierra y en otro centrado en el Sol.

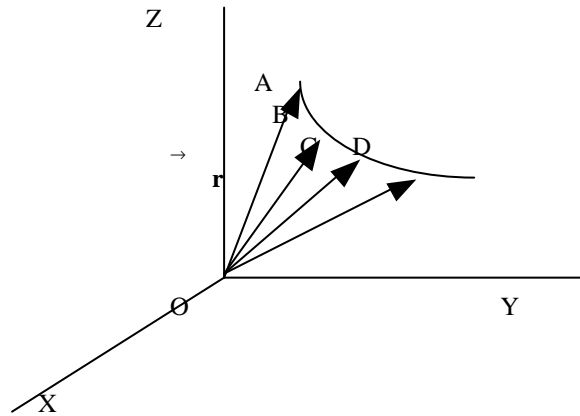
71.1.1. Vector de posición

Escogido el sistema de referencia en el que vamos a realizar el estudio del movimiento, es preciso conocer en cada instante su posición en dicho sistema, que arbitrariamente consideramos fijo. La posición se determina mediante el llamado vector de posición, vector que tiene su origen en el origen de coordenadas y extremo la posición del punto en cada instante, como en la siguiente figura:



El vector $\vec{OP} = \vec{r}$ es el vector de posición del punto material cuando está en P.

Si el punto material cambia su posición a lo largo del tiempo, es decir, en movimiento, la unión de las sucesivas posiciones por las que pasa el punto material en su cambio de posición, nos da una línea imaginaria a la que llamamos trayectoria. La trayectoria sería así, la línea descrita por el extremo del vector (r) si este es variable con el tiempo. Véase la siguiente figura



Las componentes del vector de posición son las coordenadas de su extremo pudiéndose expresar vectorialmente por:

$$\vec{r} = xi + yj + zk$$

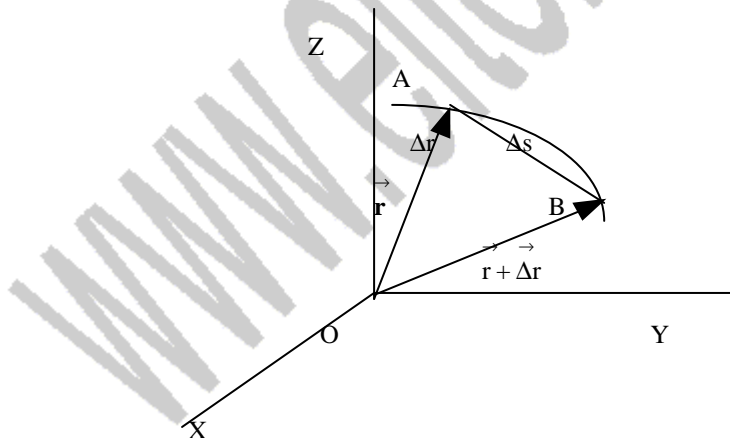
Resolver cinemáticamente el problema del movimiento es hallar una función $r = f(t)$ que nos de el vector de posición en cada instante, lo que equivale a conocer las funciones:

$x = f_1(t)$, $y = f_2(t)$, $z = f_3(t)$, que nos dan las coordenadas del punto móvil en función del tiempo. Físicamente hablando, esto equivale a decir que todo movimiento puede considerarse descompuesto en tres movimientos rectilíneos sobre los ejes de coordenadas.

Si conocemos de antemano la trayectoria del móvil, el problema de la cinemática se reduce a encontrar el camino recorrido por el móvil en función del tiempo, $s = f(t)$.

VELOCIDAD

Otro de los elementos necesarios para el estudio del movimiento junto con el conocimiento de la función $r = f(t)$, es la magnitud vectorial llamada velocidad, que determinará como va a variar la posición a partir de una instante considerado



Hagamos el supuesto que en un instante, t , el móvil está en el punto A y que su vector de posición es r . Transcurrido un pequeño intervalo de tiempo Δt , el punto está en B, con vector de posición $r + \Delta r$, siendo Δr el vector desplazamiento igual a la diferencia entre la posición final (B) menos la posición inicial (A).

Se define velocidad del punto material en A como el límite de cociente entre el desplazamiento y el intervalo de tiempo transcurrido en producirse tal desplazamiento cuando el intervalo de tiempo tiende a cero :

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Como ambos incrementos están ligados al espacio elemental recorrido por la trayectoria, Δs , (nótese la diferencia entre el desplazamiento, magnitud vectorial, y el espacio recorrido, escalar, que numéricamente no coincidirán cuando Δt sea suficientemente grande) podemos escribir:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta s} \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta s} \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

aplicado en A, cuya dirección y sentido son los de la tangente a la trayectoria.

o sea ds/dt , que coincide con la definición elemental de velocidad.

A ds/dt lo llamamos **celeridad**. El producto de los dos límites nos da un vector, tangente a la trayectoria en A, sentido el del avance del movimiento sobre la misma y de módulo ds/dt .

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta s} \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \vec{\tau} \frac{ds}{dt} = |\vec{v}| \cdot \vec{\tau}, \text{ donde } |\vec{v}| = ds/dt. \vec{\tau} = \text{vector de módulo unidad}$$

Tanto la velocidad como su módulo, la celeridad, toman, en general, valores diferentes para cada punto, ya que ambas magnitudes son funciones temporales, por ello, en cada momento reciben el nombre de "instantáneos".

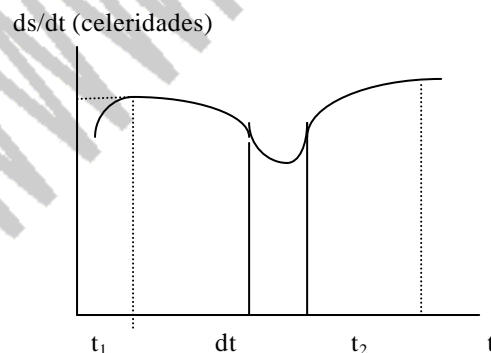
Si calculamos el valor del cociente incremental para dos intervalos de tiempo, obtenemos la velocidad media para el trayecto Δs (que puede ser el del total del movimiento).

Si se conoce la función $\vec{r} = f(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$, es posible determinar el vector velocidad y sus componentes cartesianas derivando respecto a al escalar tiempo, así:

$$\vec{V} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \cdot \vec{i} + \frac{dy}{dt} \cdot \vec{j} + \frac{dz}{dt} \cdot \vec{k} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k}$$

que representan las velocidades de los tres movimientos rectilíneos en que dijimos se podría descomponer al movimiento. Las unidades de velocidad son: $[s/t] = L \cdot T^{-1}$ y en el S.I. $m \cdot s^{-1}$

DIAGRAMA DE CELERIDADES



Si representamos en un sistema cartesiano, celeridades en ordenadas y tiempos en abscisas, obtenemos una curva como la de la figura, en la que el área elemental vale $c \cdot dt$, que por la definición de celeridad es igual al espacio elemental (ds), recorrido por el móvil en el tiempo (dt). Si queremos calcular el espacio total recorrido en el intervalo $t_2 - t_1$, basta hallar el área comprendida entre la curva y el eje de tiempos entre t_1 y t_2 , que se determinará sumando todos los posibles rectángulos en que podemos descomponer tal superficie. Como sabemos, esa es la definición de una integral definida:

$$s = \lim \sum_{t_1}^{t_2} c \cdot \Delta t = \int_{t_1}^{t_2} c \cdot dt$$

71.1.2. Movimientos de especial interés

A) MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORME (M.R.U.)

Es aquel en el que las componentes intrínsecas de las aceleraciones son nulas. Al ser $a_n = 0$, el movimiento es rectilíneo, y por ser $a_t = 0$, el módulo de v es cte.

Partiendo de la definición de celeridad : $|v| = ds/dt$, tendremos que $ds = |v| \cdot dt$, que puede integrarse fácilmente, y nos da

$s = \int |v| \cdot dt = |v| \cdot \int dt = s_0 + |v| \cdot t$, donde s_0 es la constante de integración y tiene el significado físico de ser el valor de s cuando $t = 0$, distancia a la que se encuentra el móvil, del origen de espacios, en el instante que tomamos como origen de tiempos.

B) MOVIMIENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE ACELERADO (M.R.U.A.)

Es aquel cuya aceleración normal (a_n) es nula (no cambia la dirección, que es una línea recta) y su aceleración tangencial (a_t) es cte, aumentando la velocidad de manera proporcional con el tiempo o.

Partiendo de que $a_t = \frac{d|v|}{dt} = cte = a$, tendremos que $d|v| = a \cdot dt$. Integrando la ecuación diferencial

tendremos que $|v| = \int a \cdot dt = v_0 + at$, donde v es la velocidad en el origen de los tiempos; como $ds = |v| \cdot dt$, substituyendo, nos queda $ds = v_0 \cdot dt + a \cdot t \cdot dt$, que una vez integrada nos da:

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 + s_0$$

donde s tiene el significado anterior. Si la aceleración tiene sentido contrario a la velocidad, el movimiento se dice que es uniformemente retardado y habría que expresarlo con signo menos

C) CAIDA DE GRAVES

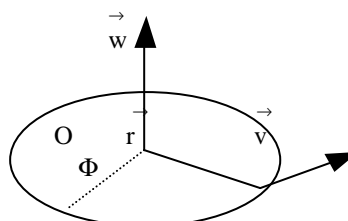
Es un caso particular del anterior. El movimiento que adquieren los cuerpos al caer libremente hacia la tierra por acción de la gravedad terrestre, o cuando se lanzan hacia arriba desde su superficie. La aceleración en ambos casos se considera constante en módulo de valor 9.8 m/s^2 , siendo positiva en la caída y negativa en la ascensión, ya que el sentido de la aceleración coincide o es contrario, respectivamente, al de la velocidad. Normalmente se representa por g al valor antes citado.

D) MOVIMIENTO CIRCULAR

Es aquel en el que la trayectoria descrita por el punto material es una circunferencia, y puede ser:

D₁) Movimiento circular uniforme

Cuando la aceleración tangencial $a_t = 0$, y la aceleración normal es constante en módulo. En consecuencia, la ecuación que da el espacio recorrido por el móvil a lo largo de la trayectoria es la misma que la del movimiento uniforme y rectilíneo, midiendo los espacios sobre la circunferencia.



A

s

En este movimiento interesa conocer el ángulo descrito por el vector $r = OA$, que une el centro (O), de la circunferencia con el punto móvil (ver dibujo). Recordando la relación que existe entre arco, radio y ángulo, se puede escribir $s = r \cdot \Phi$. Derivando la expresión respecto del tiempo nos queda:

$ds / dt = |v| = r \cdot d\Phi / dt$; $d\Phi / dt$ representa el ángulo descrito por el radio del vector en la unidad de tiempo, que por analogía se denomina velocidad angular, y se representa por w , y se cumple, pues $|v| = r \cdot w$. Las dimensiones de w son $[w] = T^{-1}$, ya que los ángulos carecen de dimensiones. Su unidad en todos los sistemas es $rad \cdot s^{-1}$, aunque también es corriente utilizar revoluciones por minuto (r.p.m.).

Por convenio, w se representa por un vector axial, normal al plano de la circunferencia y sentido el de la regla del sacacorchos. Con este convenio, la velocidad lineal del móvil puede expresarse vectorialmente por:

$\vec{v} = \vec{w} \wedge \vec{r}$, ó $\vec{v} = \vec{r} \wedge \vec{w} = \vec{OA} \wedge \vec{w}$ o lo que es lo mismo, v representa el momento de w respecto al punto A.

D₂) Movimiento circular no uniforme

La aceleración tangencial, a_t no es cero. La velocidad de la partícula no es constante, tampoco su velocidad angular (ya que se debe cumplir que $|v| = r \cdot w$). Derivando la ecuación de la velocidad de la partícula, queda:

$$\frac{dv}{dt} = r \cdot \frac{dw}{dt}$$

El primer miembro es el módulo de la aceleración tangencial y dw/dt es la variación de la velocidad angular con el tiempo, que por analogía recibe el nombre de aceleración angular, queda pues $|a_t| = r \cdot F$ cuyas dimensiones y unidades son T^{-2} y rad/s^2 .

71.2. Fuerzas, efectos sobre los cuerpos

Inicialmente, la noción de fuerza es la de una magnitud sensorial, que adquirimos a través de nuestros sentidos y la asociamos a la sensación de cansancio muscular. Hacemos una fuerza cuando movemos un cuerpo o lo paramos; cuando levantamos un cuerpo o lo sostenemos simplemente con la mano; cuando estiramos o comprimimos un muelle, tensamos un arco, y en otras múltiples operaciones de la vida diaria, como andar e, incluso, mantenernos de pie.

Hoy aceptamos que la fuerza es la magnitud que expresa el resultado de la interacción de los cuerpos, de la acción mutua que se ejerce cuando interaccionamos entre sí, sin necesidad de que se ejerza un contacto físico, como en el caso de las interacciones gravitatorias, eléctricas o magnéticas.

La fuerza se identifica y define por los efectos que produce en los cuerpos en los que se aplica, y que se pueden reducir a dos: deformar los cuerpos o cambiar su estado de movimiento (velocidad). Así pues, definimos fuerza: **toda causa que produce la deformación o la aceleración de los cuerpos.**

En el Sistema Internacional (S.I.), su unidad es el Newton (N), que definiremos más adelante. Las fuerzas son magnitudes vectoriales, porque para definir las no basta con dar un número y una unidad de medida, sino que se debe especificar también su dirección y sentido. Es por eso que las fuerzas se representan por vectores, lo mismo que otras magnitudes, como las ya vistas velocidad y aceleración.

La medida de las fuerzas se hace indirectamente, a través de medir alguno de los efectos que produce, y conocida la relación matemática causa efecto. Como hemos dicho, los efectos producidos por las fuerzas son dos: **deformaciones y aceleraciones.**

La medida de una aceleración puede resultar difícil, en cambio la medida de las deformaciones de los cuerpos elásticos puede servirnos para medirlas, pues tales deformaciones obedecen a la ley de Hooke, según la cual las deformaciones de los cuerpos elásticos son directamente proporcionales a las fuerzas aplicadas, dentro de cierto límite (de elasticidad). La ley es, formalmente

$$F = k \cdot x$$

siendo x = deformación en metros. Los aparatos, basados en la ley de Hooke, que usamos para medir las fuerzas son los dinamómetros. Como cuerpo elástico se usa, normalmente, un muelle o resorte, previamente calibrado. Calibrado significa determinar la constante de proporcionalidad entre las fuerzas aplicadas y las deformaciones producidas.

71.3. Composición de fuerzas

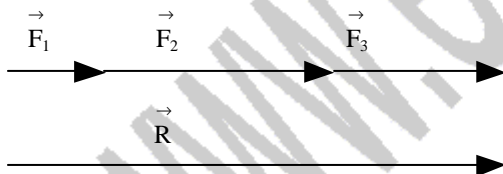
En un cuerpo, pueden estar aplicadas, a la vez, varias fuerzas. Cuando esto sucede, decimos que hay en él un sistema de fuerzas. Cada una de las fuerzas del sistema se denomina componente. Para saber la acción que el sistema de fuerzas tendrá sobre el cuerpo en el que está aplicado, se halla una fuerza que tenga la misma acción que todas las del sistema y que puede reemplazarlo. A esa fuerza única que sustituye al sistema se la llama **resultante**.

Se llama **componer fuerzas**, al procedimiento para hallar la resultante de un sistema cuyas componentes son conocidas. Al caso inverso se llama descomposición, y tiene por objeto hallar el sistema o conjunto de varias fuerzas, que cumplan con ciertas condiciones, y cuya resultante sea la fuerza propuesta.

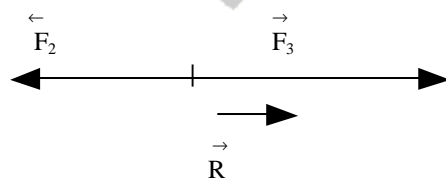
Los casos más importantes de composición de fuerzas son los siguientes:

71.3.1. Composición de fuerzas que tienen la misma dirección

Sobre la misma dirección pueden tener el mismo sentido o sentidos contrarios. "La resultante de dos o más fuerzas que tengan la misma dirección y el mismo sentido es igual a la suma de las componentes y también tiene la misma dirección".



"La resultante de dos fuerzas que tienen la misma dirección pero sentidos contrarios es igual a la diferencia de las componentes y tiene la misma dirección y sentido de la mayor".



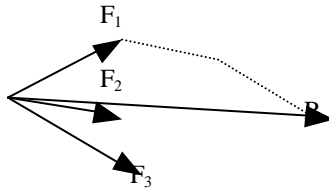
También es este caso el vector que representa la resultante es igual a la suma de los vectores que representan a las fuerzas componentes.

71.3.2. Composición de fuerzas concurrentes

Si tenemos varias fuerzas que concurren en un punto, la resultante es la suma vectorial de las fuerzas componentes, y se puede hallar gráficamente por la regla de la poligonal.

Para resolver el problema, numéricamente, es preciso referir estas fuerzas a un sistema de ejes coordenados ortogonales y conocer las componentes de cada fuerza. En este caso, se suman todas las componentes según cada eje. La resultante tendrá por componentes la suma de las componentes de las fuerzas, El módulo de la resultante se obtiene por el teorema de Pitágoras en el espacio. Así,

www.eltemario.com



$$R_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}; R_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y}; R_z = F_{1z} + F_{2z} + F_{3z} \quad R = (R^2_x + R^2_y + R^2_z)^{1/2}$$

Si sólo son dos las fuerzas, se construye el paralelogramo de vectores y, entonces:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$$

Momento de una fuerza con relación a un punto

Se llama momento de rotación de una fuerza, F, respecto a un punto (O), al producto de la fuerza por la distancia (d) a dicho punto.

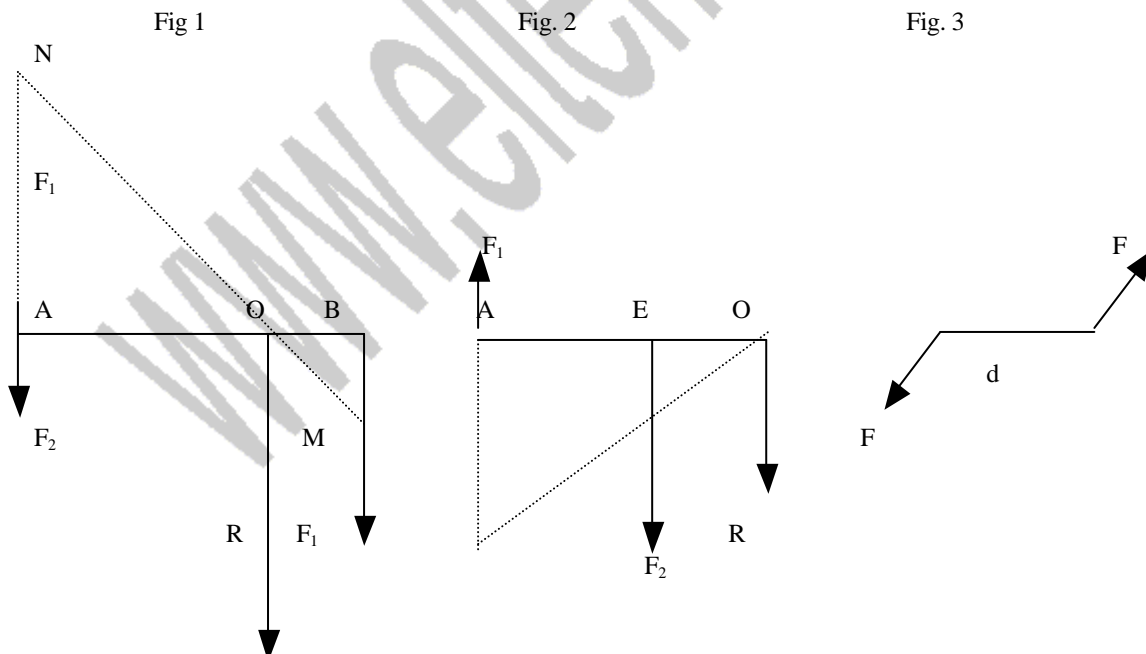
La distancia (d) se entiende en el sentido geométrico, como perpendicular trazada desde O a la línea de dirección del vector F. A esa distancia se le llama brazo del momento.

Si en vez de un punto es un eje de rotación, la definición vale lo mismo, siempre que la fuerza esté contenida en un plano perpendicular al eje, siendo O el punto de intersección del plano y el eje.

El momento de una fuerza es, también, magnitud vectorial, representada por un vector dirigido según el eje de rotación y sentido el de avance de un sacacorchos que rote como F alrededor de O.

En todo sistema de fuerzas coplanarias, es decir, que estén contenidas en el mismo plano, se cumple que, el momento de la resultante respecto a un punto cualquiera del plano, es igual, a la suma de los momentos de las fuerzas componentes respecto al mismo punto. Esta norma se conoce con el nombre de **teorema de Varignon** y sirve para resolver problemas de composición y descomposición de fuerzas.

71.3.3. Composición de fuerzas paralelas



Limitándonos al sistema formado por dos fuerzas solamente, podemos considerar dos casos: Fuerzas paralelas en el mismo sentido y en sentidos contrarios.

FUERZA PARALELAS EN EL MISMO SENTIDO (FIG 1)

La resultante de dos fuerzas paralelas dirigidas en el mismo sentido es paralela a las componentes, igual a la suma de las mismas y su punto de aplicación cumple con la propiedad de que los momentos de las dos fuerzas componentes respecto a él son iguales y de sentidos contrarios.

Para encontrar gráficamente el punto de aplicación se hace lo siguiente: se lleva la menor de las fuerzas sobre la mayor y se marca el punto M. Se lleva la mayor sobre la menor, en sentido contrario, y se marca el punto N. Se unen M y N con una recta, que corta al eje AB en un punto O, el de aplicación de la resultante R. Comparando los triángulos semejantes OAN y OBM, se llega a la conclusión de que:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{OB}{OA} \Rightarrow F_2 \cdot OA = F_1 \cdot OB$$

que expresa la igualdad de los momentos respecto a O, en valor absoluto. Son de sentido contrario porque a producir giros en sentido contrario, respecto de O.

FUERZA PARALELAS EN SENTIDO CONTRARIO (FIG 2 Y 3)

La resultante de dos fuerzas paralelas en sentido contrario es paralela a las componentes, igual a su diferencia, sentido el de la mayor y aplicada en un punto exterior al segmento que las une y cumple la misma propiedad de igualdad de momentos de las fuerzas respecto al punto de aplicación (Fig 2).

La construcción gráfica sigue las mismas normas que antes. Se puede comprobar en la figura que se cumple que

$$F_1 \cdot OA = F_2 \cdot OE$$

Un caso particular (Fig. 3) es que las dos fuerzas paralelas de sentidos contrarios sean iguales. La resultante sería cero, pero se produce un giro porque el momento no lo es. A este sistema se le llama **par de fuerzas**. Su momento se calcula mediante el producto de una de las dos fuerzas por la distancia que las separa (brazo del par).

$$M = F \cdot d$$

Un par de fuerzas solamente puede ser equilibrado por otro par, nunca por una sola fuerza. El momento del par es un vector perpendicular al plano del par cuya intensidad se calcula según la fórmula anterior, y cuyo sentido es el de giro de un sacacorchos según la rotación del par. Dicho momento se considera un vector libre ya que su punto de aplicación puede situarse en cualquiera de los puntos del plano que contiene las fuerzas del par.

71.4. Leyes de Newton

Los principios fundamentales de la Dinámica fueron establecidos por Newton en el siglo XVIII, por eso se le conoce, en su actual formulación, como leyes de Newton. Sin embargo, el primer principio fue descubierto por Galileo, como deducción de sus experimentos con planos inclinados.

La Dinámica es la parte de la Mecánica que analiza las relaciones entre las fuerzas y los diferentes tipos de movimientos que éstas producen.

71.4.1. Primer principio de la Dinámica o principio de inercia

Dice así: " Si un cuerpo no está sometido a ninguna fuerza o bien la resultante de las fuerzas externa aplicadas en él es nula, el cuerpo no puede tener aceleración. En consecuencia, estará en reposo o tendrá movimiento rectilíneo uniforme, que son los dos estados de la materia en los que no hay aceleración ".

Esto equivale a decir que un cuerpo, por sí mismo, no puede darse una aceleración, no puede modificar su propia velocidad. Esta incapacidad de la materia para modificar su velocidad es una propiedad que llamamos **inercia**, sólo depende de la cantidad de materia que tiene el cuerpo.

El recíproco del enunciado del primer principio también es cierto: "Si un cuerpo está en reposo o se mueve con movimiento rectilíneo uniforme es porque la resultante de las fuerzas exteriores que actúan sobre él es nula.

Los movimientos ordinarios están todos ellos sujetos a fuerzas de rozamiento, gravedad y otras, lo que les hace cumplir tan sólo por aproximación este primer principio.

71.4.2. Segundo principio de la Dinámica

Es consecuencia del primero, y dice así: " *Un cuerpo sometido a una resultante de fuerzas exteriores, F , adquiere una aceleración, a , directamente proporcional a esta resultante y se produce en la dirección de la recta sobre la que se aplica dicha fuerza* ".

Si sobre un cuerpo actúa una fuerza exterior F , éste adquiere una aceleración a . Si la fuerza aplicada es F' , mayor, el cuerpo toma una aceleración a' , también mayor, cumpliéndose que:

$$\frac{F}{a} = \frac{F'}{a'} = \frac{F''}{a''} = m$$

La relación constante entre las fuerzas aplicadas a un cuerpo y las aceleraciones que éste adquiere depende solamente de la cantidad de materia del cuerpo y recibe el nombre de masa inerte o simplemente **masa** del cuerpo.

La masa es una magnitud fundamental que mide cuantitativamente la inercia u oposición del cuerpo a los cambios de velocidad. De la relación anterior se deduce la ecuación fundamental de la dinámica:

$$F = m \cdot a \text{ En rigor, la ecuación es vectorial y debe escribirse: } \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

El segundo principio relaciona la fuerza que actúa sobre el cuerpo con la clase de movimiento que éste toma, pues de él se deduce:

1. Si la resultante es nula, el cuerpo estará en reposo o con movimiento uniforme.
2. Si la resultante es constante en módulo, dirección y sentido, el cuerpo adquiere movimiento uniformemente acelerado y rectilíneo.
3. Si la resultante es variable, la aceleración también lo será y el movimiento del cuerpo será acelerado, sin uniformidad.

A partir del 2º principio se deduce la unidad de fuerza en el Sistema Internacional. Un **newton** es la fuerza que aplicada a 1 Kg. de masa le confiere una aceleración de 1 m/s².

71.4.2. Tercer principio de la Dinámica

También se le conoce como principio de acción y reacción y dice así: " *Si un cuerpo A ejerce sobre otro B una fuerza, B responde sobre A con otra fuerza igual y de sentido contrario* ". A una de las fuerzas se la llama acción y a la otra reacción.

Es conveniente tener en cuenta que estas fuerzas se ejercen sobre cuerpos distintos, y por lo tanto, no tienen porque producir equilibrio, aunque sean iguales en módulo y de sentidos contrarios.

Este principio establece que en la Naturaleza, siempre, las fuerzas actúan por pares, que no es posible la existencia de una fuerza aislada. Cuando aparece una fuerza, la acción, siempre aparece la otra, la reacción.

A partir de los principios se define el concepto de **Impulso mecánico** de una fuerza. Es una fuerza igual al producto de la fuerza que actúa sobre el cuerpo, por el tiempo que actúa:

$$I = F \cdot t$$

Al terminar de actuar la fuerza, el cuerpo habrá adquirido una velocidad (v), tanto mayor cuanto más impulso haya recibido y cuanto menor sea su masa (m).

Al producto de la masa de un cuerpo por su velocidad se le llama **cantidad de movimiento**. La cantidad de movimiento que ha ganado un cuerpo cuando cesa la acción de la fuerza es igual al impulso recibido.

Según el 2º principio $F = m \cdot a$. Luego $F \cdot t = m \cdot a \cdot t$; si suponemos que F es constante, a también lo será, como

$$a = \frac{v_f - v_0}{t} \text{ sustituyendo, tenemos que: } F \cdot t = m \cdot \frac{v_f - v_0}{t} \cdot t = m \cdot v_f - m \cdot v_0$$

que nos dice que el impulso mecánico, $F \cdot t$, es equivalente al aumento de la cantidad de movimiento. Esta ecuación, derivada del 2º principio, es válida solamente en términos absolutos.

71.5. Estática de los cuerpos rígidos. Condiciones de equilibrio

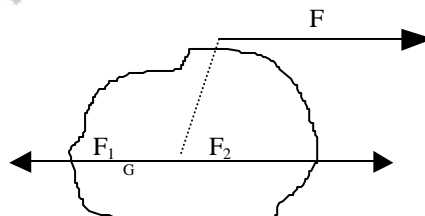
La Estática es la parte de la Física que estudia las fuerzas cuando producen equilibrio, es decir, cuando el cuerpo sobre el que se aplican permanece en reposo respecto a la Tierra.

La Estática se basa en tres principios fundamentales:

1. Una única fuerza aplicada sobre un cuerpo nunca produce equilibrio.
2. Dos fuerzas iguales, de la misma dirección y sentidos contrarios, aplicadas sobre un mismo cuerpo producen equilibrio.
3. Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, el segundo responde sobre el primero con una fuerza igual y de sentido contrario llamada reacción.

De estos tres principios se deducen dos consecuencias:

- a) En todo cuerpo se puede introducir o suprimir dos fuerzas iguales, de la misma dirección y sentidos contrarios sin que se modifique el equilibrio del cuerpo.
- b) El punto de aplicación de una fuerza aplicada a un cuerpo rígido puede trasladarse a cualquier punto de su recta de posición.



Consideremos un sólido, como el de la figura, en el que se mantienen aplicadas varias fuerzas, aplicadas en puntos distintos. Consideremos una de ellas, F . Tracemos por el centro de la masa, G ; del cuerpo dos fuerzas iguales (F_1 y F_2) de sentido contrario, e iguales a F . Si nos fijamos, veremos que F y F_1 forman un par de fuerzas que tienden a producir un **movimiento de rotación**, quedando la fuerza F_2 , equipolente a F , aplicada en G que tiende a comunicarle un **movimiento de traslación**.

Lo mismo podemos decir respecto de las restantes fuerzas aplicadas (F' , F'' , ...) que forman el sistema. tendremos, por una parte, un sistema de pares de fuerzas que dará un par resultante, bajo cuya acción el cuerpo tomará movimiento de rotación. Por otra parte, tendremos un sistema de fuerzas aplicado en el centro de masas (G), cuya resultante (R), producirá un movimiento de traslación. Podrían ocurrir estos caso:

1º Tanto R como el par resultante son no nulos. Entonces el cuerpo avanza y gira.

2º R es no nula y el par resultante es nulo. El cuerpo avanza sin girar.

3º R es nula y el par es no nulo. El cuerpo gira sin trasladarse.

4º R y el par son nulos. El cuerpo permanece en reposo.

Se deduce pues, que la condición general de equilibrio de un cuerpo es que: " la resultante de las fuerzas aplicadas y el par resultante aplicados en un cuerpo sean ambos nulos".

71.6. Estática de los fluidos.

Llamamos fluidos a la materia que está en estado líquido o gaseoso, porque en ambos estados la materia puede fluir a través de tubos u orificios. Aunque llamemos conjuntamente fluidos a gases y líquidos, debemos recordar que los líquidos son prácticamente incompresibles y sus densidades son mucho mayores que las de los gases.

Cuando un líquido está contenido en una vasija y no se mueve, es decir, está en equilibrio, no significa que sobre él no haya aplicadas fuerzas. Los líquidos tienen masa y, por lo tanto pesan. Si no se mueven es porque la reacción de la vasija compensa a la fuerza del peso.

Podemos hallar la presión que un líquido ejerce sobre el fondo de la vasija que lo contiene dividiendo el peso del líquido entre la superficie del fondo de la vasija, recordando que el peso:

$$P = m \cdot g, \text{ y que } \text{Presión} = \frac{\text{Peso}}{\text{Superficie}} = \frac{m \cdot g}{S}, \text{ y si } \text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \Rightarrow m = d \cdot V, \text{ y como}$$

Volumen = Superficie x altura ($S \cdot h$); si suponemos que la vasija sea cilíndrica o prismática, queda:

$$P = \frac{S \cdot h \cdot d \cdot g}{S} = h \cdot d \cdot g$$

La presión sobre el fondo de una vasija que contiene líquido de una altura (h) y densidad (d), se halla multiplicando la altura, por la densidad y por la gravedad.

La expresión es válida sea cual sea la forma de la vasija y como consecuencia se tiene la paradoja hidrostática. La presión no depende de la forma del recipiente ni de la cantidad de líquido que contenga, sólo de la densidad del líquido y de su altura.

Esta expresión nos da la **presión hidrostática** a una profundidad (h), es decir, la presión debida al peso del líquido. Si queremos obtener la presión total, tendremos que añadir la presión atmosférica (P_a). La presión total en el interior de un líquido a una profundidad (h), es:

$$P = P_a + h \cdot d \cdot g \text{ Para dos puntos A y B a distintas profundidades tendríamos:}$$

$$P_A = P_a + h_A \cdot d \cdot g \Rightarrow P_B = P_a + h_B \cdot d \cdot g \text{ Restando tenemos que}$$

$$P_A - P_B = (h_A - h_B) \cdot d \cdot g, \text{ que nos da el teorema fundamental de la hidrostática:}$$

" La diferencia de presiones entre dos puntos de una masa líquida es igual a la diferencia de profundidades multiplicada por la densidad del líquido y por la gravedad, o sea, el peso de una columna líquida que tuviese por base la unidad de superficie y por altura la diferencia de profundidades entre los dos puntos ".

La presión hidrostática se debe al peso del líquido, por ello actúa hacia abajo. Como el líquido está en equilibrio, resulta que esta presión debe ser equilibrada en cada punto de la masa líquida por otra presión igual y de sentido contrario, dirigida hacia arriba.

La unidad de presión en el S. I. es el **pascal** (P_a), definido como la presión uniforme que una fuerza de un newton ejerce sobre la superficie de un m^2 , cuando ésta es plana y la fuerza es perpendicular a ella.

Presión atmosférica = $760 \text{ mm} \times 13,6 \text{ gr/cc} \times 980 \text{ cm/s}^2 = 1,013 \cdot 10^6 \text{ barias} = 1 \text{ bar} \text{ ó } 1013 \text{ milibares}$

El físico y filósofo francés Blaise Pascal enunció un principio que lleva su nombre, según el cual la presión ejercida sobre un determinado punto de un líquido se transmite en todas direcciones con la misma intensidad y siempre en dirección perpendicular a la superficie en la que se encuentra el punto de aplicación.

71.6.1. Principio de Arquímedes

Todo cuerpo sumergido en un fluido se halla sometido a una fuerza que genera un impulso hacia arriba igual al peso del fluido desalojado.

Dicha fuerza se ha dado en llamar **empuje** (E) y se expresa por $E = d \cdot V$, siendo d = densidad del líquido y V = su volumen.

Una de las principales aplicaciones de este principio es la determinación de la **gravedad específica** de los cuerpos de forma irregular.

$$g_{esp} = \frac{P}{P - P'}$$

P = peso del cuerpo en el aire y P' = peso en el agua

La determinación de densidades es otra de las aplicaciones inmediatas del principio: midiendo el peso de un cuerpo de masa (m) sumergido en un líquido de densidad conocida (agua) y posteriormente introducido en el líquido del que se desea conocer la densidad, se obtienen las siguientes relaciones:

$$(m - m') \cdot g = d' \cdot V \cdot g \quad \text{y} \quad (m - m'') \cdot g = d'' \cdot V \cdot g; \quad m' = \text{peso aparente del agua}; \quad d' = \text{densidad del agua};$$

m'' = peso aparente del líquido problema; V = volumen del cuerpo

$$\frac{d}{d'} = \frac{m - m''}{m - m'}$$

Las densidades también pueden determinarse mediante la medición de la profundidad que alcanza un cuerpo flotante, sistema empleado en la graduación de densímetros (por ejemplo los "pesaleches"), que presentan el inconveniente de resultar menos precisos que el método citado.

71.6.2. Vasos comunicantes

Cuando dos vasijas se comunican y contienen el mismo líquido, las alturas alcanzadas en ambas son iguales porque la presión sobre una superficie horizontal, por ejemplo sobre el fondo, ha de ser la misma, pues de lo contrario el líquido se movería desde donde hay más presión a donde hay menos. Si el líquido está en equilibrio, esto no sucede y la presión debe ser la misma. Como la presión sólo depende de la altura y la densidad del líquido, si el líquido es el mismo en las dos vasijas, las alturas también han de serlo.

Una aplicación de los vasos comunicantes es la distribución de agua en las poblaciones. El depósito general debe estar en la parte más alta de la ciudad, con objeto de que pueda llegar a los pisos más elevados de todas las casas. Se suelen introducir, como elementos impulsores y reguladores, bombas, prensas y válvulas, pero que mantienen básicamente la relación de proporcionalidad entre alturas y densidades.

Otra aplicación es el **sifón**, que se usa para trasegar líquidos. Consiste en unir dos vasos comunicantes, pero en vez de hacerlo por debajo, se hace por arriba mediante un tubo, que es el sifón. Cebado el sifón, es decir, lleno de líquido, éste fluye desde el depósito que está al nivel más alto al que está al nivel más bajo, a causa de la diferencia de presión debida a la diferencia de niveles. Cuando se igualan los niveles caerá el flujo de líquido.

Si en un sistema de dos vasos comunicantes se introducen dos líquidos no miscibles de densidades distintas, el principio de los vasos comunicantes no se cumple y, por consiguiente, el nivel alcanzado por los líquidos en cada uno de los recipientes es diferente. En este caso las alturas (h y h'), medidas desde el mismo punto de referencia, cumplen la relación:

$$d \cdot h = d' \cdot h'$$

Según la expresión, el líquido de menor densidad alcanza una altura superior, para que las presiones, aun en planos distintos, resulten equiparables.