

TEN EN CUENTA QUE:

Aunque es cierto que Galileo recurría muy habitualmente a la experimentación, parece ser que su famosa demostración de cuerpos de distintas masas cayendo desde lo alto de la torre de Pisa es más bien una leyenda.

No obstante, afirmar que todos los cuerpos caen con la misma aceleración, independientemente de su masa, le granjeó gran número de enemigos entre la comunidad científica de la época, partidarios acérrimos todos ellos de las ideas aristotélicas.



■ Fig. 1.

I. LA NATURALEZA DE LAS FUERZAS

La fuerza es una magnitud física que resulta más fácil definir considerando los efectos que produce que por sus propiedades. En este apartado, pues, la definiremos de un modo preciso y estudiaremos sus características y sus tipos.

1.1. El concepto de fuerza a lo largo de la historia

En orden cronológico, los hitos más importantes en la historia que han contribuido a nuestra comprensión del concepto de fuerza son los siguientes:

- **Aristóteles (384 a. C.-322 a. C.)** pensó que las fuerzas eran la causa directa del movimiento, por lo que un cuerpo se detendría en caso de no existir aquellas, debido a que su estado natural es el reposo. Postuló también que la velocidad de caída de los cuerpos era directamente proporcional a su peso. Estas ideas erróneas permanecieron inalteradas durante 1800 años.
- **Galileo (1564-1642)** estableció el concepto de fuerza como causa de la modificación de los movimientos. Mediante la realización de experimentos con bolas y planos inclinados, introdujo la noción de inercia como tendencia natural de los objetos a permanecer en reposo o moviéndose indefinidamente, a no ser que actúe alguna fuerza sobre ellos.
- **Isaac Newton (1642-1727)** sentó las bases de la mecánica. Parte de las ideas de Galileo y Descartes, de modo que en sus *Principia* definió los conceptos fundamentales (masa, tiempo, fuerza...) de modo preciso y estableció las tres leyes que explican el movimiento de cualquier objeto del universo.

1.2. Masa y fuerza

La dinámica se sustenta en los conceptos de masa y fuerza. La masa es la medida de la cantidad de materia de un objeto, o de modo más preciso:

La **masa** es una propiedad general de los cuerpos que representa su resistencia a alterar su estado de reposo o de movimiento.

El **centro de gravedad** de un objeto es el punto de aplicación de su peso en el que se suponemos, si no estamos interesados en el movimiento relativo de las partes, se encuentra concentrada toda su masa.

Por otra parte, cuando empujamos un mueble para ponerlo en movimiento, paramos un balón o moldeamos un trozo de arcilla, ejercemos una fuerza.

Una **fuerza** es toda causa capaz de alterar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo, o de producir en él una deformación.

Recuerda que la unidad de masa en el Sistema Internacional es el **kilogramo (kg)**, y que la unidad de fuerza es el **newton (N)**.



1.3. Características de las fuerzas

La fuerza es una **magnitud vectorial** que se representa mediante el vector F , cuyos elementos son: **módulo F** (valor de la intensidad de la fuerza y su unidad, se representa mediante la longitud de vector), **dirección** (recta que contiene el vector, también llamada línea de acción), **sentido** (orientación de la fuerza que se representa mediante la punta de una flecha) y **punto de aplicación** (punto en el que se aplica la fuerza).

Las fuerzas siempre **actúan por parejas** e implican la existencia, al menos, de dos objetos: uno de ellos ejerce la fuerza que se aplica sobre el segundo y el otro, simultáneamente, ejerce una fuerza sobre el primero del mismo valor pero de sentido contrario. Por esta razón, también se les llama **interacciones**.

1.4. Tipos de fuerzas

Dependiendo de si las fuerzas requieren contacto directo o no para manifestarse, podemos clasificarlas en dos grandes tipos:

- **Fuerzas de contacto.** Aquellas que requieren del contacto directo entre ambos objetos para producirse.
- **Fuerzas a distancia.** Aquellas que no necesitan del contacto entre los cuerpos para manifestarse.

Esta clasificación debe ser matizada, ya que los objetos están formados por partículas (átomos, moléculas o iones) separadas entre sí. Así, todas las fuerzas entre cuerpos se ejercen, en realidad, entre las partículas que los forman (fuerzas microscópicas), de modo que dos objetos estrictamente nunca estarán en contacto: estas fuerzas ejercen sus efectos a lo largo del espacio.

Todas las fuerzas de la naturaleza se agrupan en las siguientes interacciones fundamentales o son una combinación de ellas:

- **Interacción nuclear fuerte.** Es la más intensa de las cuatro. Es atractiva y de alcance muy pequeño. Mantiene a los protones unidos en el núcleo a pesar de la repulsión electrostática.
- **Interacción electromagnética.** Es cien veces menor que la nuclear fuerte. Es atractiva o repulsiva, y de largo alcance. Es responsable de la impenetrabilidad de los objetos y de la estructura de átomos y moléculas, así como de todas las reacciones químicas y procesos biológicos.
- **Interacción nuclear débil.** Es 105 veces menor que la nuclear fuerte. Es responsable de la desintegración de algunos núcleos y de la producción de radiación calorífica de las estrellas.
- **Interacción gravitatoria.** Es 1039 veces menor que la nuclear fuerte. Se considera la más débil de todas. Es atractiva y de largo alcance, y responsable de la estructura del universo, de las mareas, del movimiento de los satélites artificiales...

Ejemplo 1

Veamos ejemplos de los distintos tipos de fuerzas que encontramos en el día a día:

- **Fuerzas de contacto.** La **fuerza de rozamiento** entre dos superficies, la **fuerza elástica** en un muelle...
- **Fuerzas a distancia.** La **interacción gravitatoria** (atractiva) entre la Tierra y la Luna. La **fuerza eléctrica** repulsiva entre dos cargas del mismo signo. La **fuerza magnética** con que un imán atrae a un clip metálico.

La **interacción electromagnética** debida a la repulsión eléctrica entre los electrones de los átomos de la puerta y los de nuestra mano que la empuja. La desintegración del núcleo radiactivo debida a la **interacción nuclear débil** del Co-60, empleado en el tratamiento contra el cáncer.



Y TAMBIÉN:

El símbolo $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i$ lo leemos: sumatoria desde $i = 1$ hasta n de \vec{F}_i , e indica que se suman n vectores de fuerza.

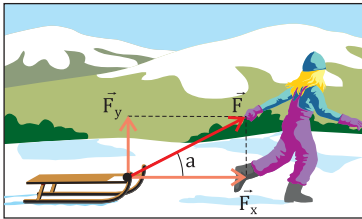


Fig. 2.

Descomposición de fuerzas.

Descomposición en dos componentes, de la fuerza exterior, con la que la mujer jala el trineo.

2. COMPOSICIÓN Y DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS

En el juego en que dos equipos halan de una cuerda, tratando de desplazar al equipo contrario, cada persona ejerce una fuerza que se suma a las de sus compañeros y que se opone a las del equipo contrario. Decimos que:

Componer fuerzas es hallar una fuerza, llamada fuerza neta o resultante, \vec{F}_{neto} , que produce el mismo efecto que todas las fuerzas (o componentes) que actúan simultáneamente sobre un cuerpo.

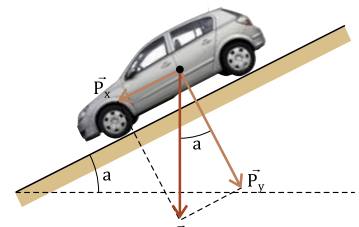
2.1. Fuerza resultante de un sistema de fuerzas

La definición anterior es consecuencia del principio de superposición, que establece que los efectos de todas las fuerzas que se ejercen sobre un cuerpo se superponen, sin modificar el efecto que cada una de ellas produciría inde-

pendientemente de las demás: $\vec{F}_{\text{neto}} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$

2.2. Descomposición de fuerzas

En la figura de la parte derecha, se muestra un auto situado sobre una superficie inclinada. Como sabes, el peso P de un objeto es una fuerza que va dirigida desde su centro de gravedad hacia el centro de la Tierra.



Observa en la figura que el peso puede descomponerse en otras dos fuerzas, llamadas componentes, \vec{P}_x y \vec{P}_y . La primera provoca que el auto se deslice hacia abajo mientras que la otra empuja el vehículo sobre la superficie, impidiendo que se separe de ella.

Además, \vec{P}_y y P forman el mismo ángulo que la pendiente. Al ser \vec{P}_y el cateto contiguo del triángulo rectángulo que tiene por hipotenusa P , tenemos que $\vec{P}_y = P \cdot \cos \alpha$, mientras que la longitud de \vec{P}_x se corresponde con el cateto opuesto, de modo que $\vec{P}_x = P \cdot \sin \alpha$.

Descomponer una fuerza consiste en obtener dos fuerzas, llamadas componentes, cuyo efecto conjunto sobre un cuerpo es el mismo que el de la fuerza inicial.

Ejemplo 2

Durante las vacaciones Álex participa en una carrera de trineos. Tira de su trineo con la ayuda de una cuerda con una fuerza de 500 N que forma un ángulo de 30° con la horizontal. **Calcula** las componentes horizontal y vertical de dicha fuerza.

COMPRESIÓN. Cada componente de la fuerza causa un efecto distinto sobre el trineo: F_x provoca su avance y F_y tiende a separarlo del suelo.

DATOS. $F = 500 \text{ N}$; $\alpha = 30^\circ$

RESOLUCIÓN.

Las dos componentes, a las que designamos como F_x y F_y de la fuerza $F = 500 \text{ N}$ ejercida. Calculamos sus valores haciendo uso de las razones trigonométricas seno y coseno:

$$F_y = F \cdot \sin 30^\circ = 500 \text{ N} \cdot \sin 30^\circ = 250 \text{ N}$$

$$F_x = F \cdot \cos 30^\circ = 500 \text{ N} \cdot \cos 30^\circ = 433 \text{ N}$$

COMPROBACIÓN. Observa que la componente vertical, F_y , tiende a separar el trineo del suelo, pues está dirigida hacia arriba. La componente horizontal, F_x , es la que permite que este avance sobre el suelo.

Además, se cumple que $500 = \sqrt{250^2 + 433^2}$

Prohibida su reproducción

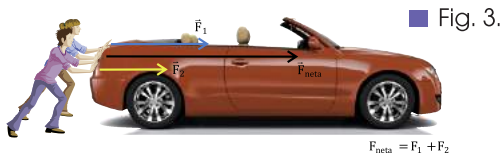
2.3. Composición de fuerzas concurrentes

Son múltiples las situaciones en que sobre un objeto actúan, simultáneamente, varias fuerzas. Así, por ejemplo, si empujamos una caja por el suelo sobre ella actúan su peso, la fuerza con que empujamos, la fuerza que ejerce el suelo sobre ella y la fuerza de rozamiento. Observa que, en tal caso, las direcciones de todas ellas pasan por el mismo punto, que es el objeto sobre el que actúan.

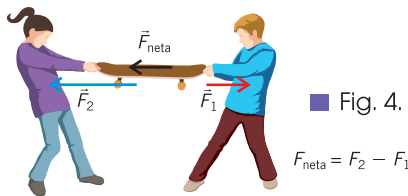
Llamamos **fuerzas concurrentes** a aquellas cuyas líneas de acción pasan por el mismo punto.

Resultantes de varias fuerzas concurrentes de la misma dirección

Misma dirección y mismo sentido. La resultante es otra fuerza cuyo módulo es la suma de los módulos de las fuerzas componentes, de la misma dirección y el mismo sentido que ellas.

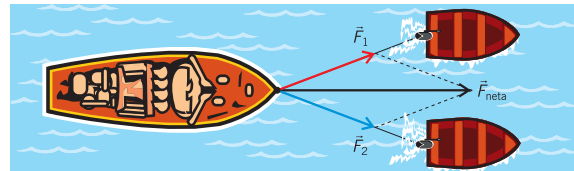


Misma dirección y sentido contrario. La resultante es otra fuerza cuyo módulo es la diferencia, en valor absoluto, de los módulos de las fuerzas componentes, de la misma dirección y el mismo sentido que la fuerza de mayor módulo.

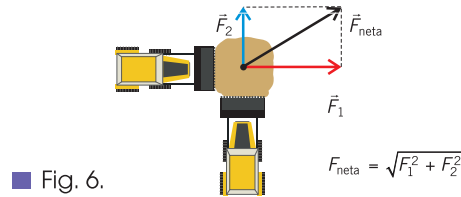


Resultante de dos fuerzas concurrentes de distinta dirección

Forman un ángulo distinto de 0° o de 180°. La resultante es otra fuerza cuyo módulo y dirección son los de la diagonal del paralelogramo que forman las fuerzas concurrentes.



Si son **perpendiculares**, su módulo podrá calcularse aplicando el teorema de Pitágoras.



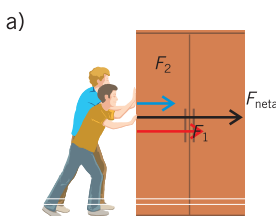
■ Tabla 1.

Ejemplo 3

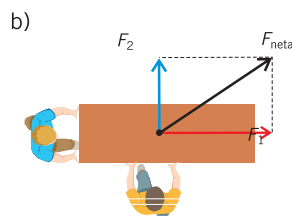
Supón que debes ayudar a tu padre a mover el armario de tu habitación. Empleas fuerzas de 300 y 400 N, respectivamente. Lo intentas de dos modos distintos: a) empujando los dos en la misma dirección y el mismo sentido; b) empujando en direcciones perpendiculares. ¿Cuál de las dos maneras es óptima para desplazar el armario?

COMPENSIÓN. En los dos casos las fuerzas con que empujas son concurrentes, pues las líneas de acción (o dirección) de ambas pasan por el mismo punto, que es el mueble.

DATOS. $F_1 = 300 \text{ N}$; $F_2 = 400 \text{ N}$



■ Fig. 7.



■ Fig. 8.

RESOLUCIÓN. Arriba aparecen dibujadas las dos situaciones descritas. La fuerza neta o resultante, F_{neto} , se calculará en cada caso de la siguiente manera:

a. Cuando las fuerzas ejercidas tengan la misma dirección y el mismo sentido, la fuerza resultante tendrá el mismo sentido de ambas, y su valor se calculará sumando sus módulos:

$$F_{\text{neto}} = F_1 + F_2 = 300 \text{ N} + 400 \text{ N} = 700 \text{ N}$$

b. Si las dos fuerzas son perpendiculares, la magnitud de la fuerza neta o resultante, F_{neto} , estará dirigida a lo largo de la diagonal del paralelogramo que forman, y su valor se calculará aplicando el teorema de Pitágoras:

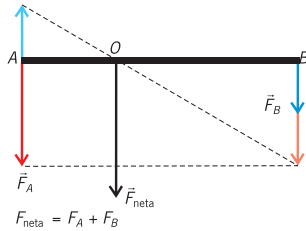
$$F_{\text{neto}}^2 = F_1^2 + F_2^2$$

$$F_{\text{neto}} = \sqrt{300^2 + 400^2}$$

$$F_{\text{neto}} = 500 \text{ N}$$

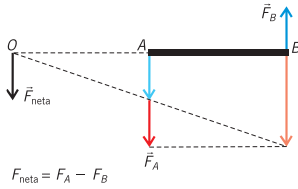
2.4. Composición de fuerzas paralelas

Considera dos personas que transportan, en una mudanza, un sofá agarrándolo por sus extremos. Ambas ejercen fuerzas de direcciones paralelas entre sí, y su resultante deberá igualar al peso del sofá para poder desplazarlo. Para calcular la resultante de dos fuerzas paralelas, seguiremos estos pasos:



■ Fig. 9.

- Resultante de dos fuerzas paralelas y del mismo sentido.



■ Fig. 10.

- Resultante de dos fuerzas paralelas y de sentidos contrarios.

- La resultante de dos **fuerzas paralelas**, \vec{F}_A y \vec{F}_B , y del **mismo sentido** es otra fuerza, F_{neto} , paralela a ellas y del mismo sentido, cuyo módulo es la suma de los módulos y cuya **línea de acción** (o dirección) está situada entre ambas.

Se calcula gráficamente como se indica en la figura de la izquierda:

- Se lleva la fuerza mayor donde se encuentra la menor, y la menor, cambiándola de signo, donde se halla la mayor.
- Se unen los extremos de estos vectores mediante una línea. En el punto donde se corta esta con la línea que une los puntos A y B, colocamos el punto de aplicación de la resultante. Para calcular analíticamente el punto de aplicación (O) de la fuerza resultante, tendremos en cuenta que:

$$\vec{F}_A OA = \vec{F}_B OB$$

donde A y B son los puntos de aplicación de las dos fuerzas.

- La resultante de dos **fuerzas paralelas**, \vec{F}_A y \vec{F}_B , y de **sentidos contrarios** es otra fuerza, F_{neto} , **paralela** a ellas, cuyo **sentido** es el de la mayor, su **módulo** es la **diferencia** de los **módulos** y su **punto de aplicación** está fuera del segmento que las une y del lado de la mayor.

Se calcula gráficamente como se indica en la figura de la izquierda, siguiendo los mismos pasos que en el caso anterior. Para calcular analíticamente el punto de aplicación (O) de la fuerza resultante, tendremos en cuenta que: $\vec{F}_A OA = \vec{F}_B OB$ donde A y B son los puntos de aplicación de las dos fuerzas.

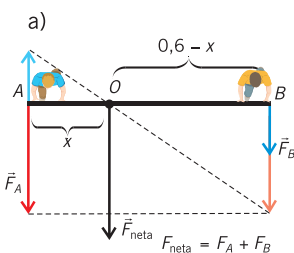
Ejemplo 4

Dos niños ejercen fuerzas paralelas de 30 N y 10 N en los extremos de una varilla de madera de 60 cm. **Calcula** la fuerza resultante, considerando que ambas fuerzas tienen: a. el mismo sentido y b. sentido contrario.

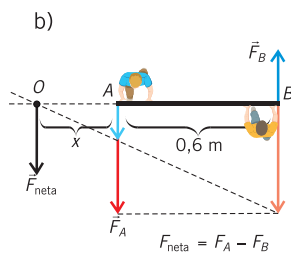
COMPRENSIÓN. Nos piden determinar el valor, la dirección y el sentido y el punto de aplicación de la resultante de dos fuerzas, en el caso de que estas tengan el mismo sentido y en el caso en que sean de sentido contrario.

Representamos gráficamente ambos casos.

DATOS. $F_A = 30 \text{ N}$; $F_B = 10 \text{ N}$; $AB = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$



■ Fig. 11.



■ Fig. 12.

RESOLUCIÓN.

- Si las fuerzas tienen el mismo sentido, el módulo de la fuerza resultante será: $30 \text{ N} + 10 \text{ N} = 40 \text{ N}$.

Si llamamos x a la distancia entre la fuerza de 30 N y el punto de aplicación, entonces la posición de este se calcula de la siguiente manera:

$$\vec{F}_A OA = \vec{F}_B OB \Rightarrow 30 \cdot x = 10 \cdot (0,6 - x)$$

Resolvemos la ecuación: $x = 0,15 \text{ m} = 15 \text{ cm}$.

- Si las fuerzas tienen sentidos contrarios, el módulo de la fuerza resultante será: $30 \text{ N} - 10 \text{ N} = 20 \text{ N}$. Su punto de aplicación se determina de la siguiente manera:

$$F_A OA = F_B OB \Rightarrow 30 \cdot x = 10 \cdot (0,6 + x)$$

Resolvemos la ecuación: $x = 0,30 \text{ m} = 30 \text{ cm}$.

COMPROBACIÓN. Cuando ambas fuerzas tienen el mismo sentido, el punto de aplicación de la resultante está entre los puntos de aplicación de ambas y a 15 cm de la fuerza de 30 N.

Cuando los sentidos son opuestos, el punto de aplicación estará a 30 cm de la fuerza de 30 N y a 90 cm de la fuerza de 10 N.