

Otra implicación importante de esta ley es que las fuerzas aparecen siempre en parejas, ya que si un objeto A ejerce una fuerza (acción) sobre un objeto B, éste a su vez ejerce una fuerza (reacción) sobre A, igual en magnitud pero en sentido opuesto.

Las fuerzas de acción y de reacción nunca se neutralizan porque actúan sobre cuerpos diferentes.

MASA Y PESO DE UN CUERPO

La masa depende de la cantidad de materia que posee un cuerpo y a su vez se considera como una medida cuantitativa de la inercia, la cual representa su resistencia al cambio en su estado de movimiento.

Si una masa se deja caer libremente, bajo la acción de la gravedad, su aceleración será 9.8 m/s^2 como se observa en la unidad anterior. De acuerdo con la Segunda Ley de Newton del movimiento, sobre este cuerpo actúa una fuerza, la cual produce su movimiento acelerado, es decir

$$F = ma$$

$$F = mg \quad (\text{hacia abajo})$$

Esta fuerza se debe a la atracción que ejerce la Tierra sobre la masa. En general, el peso de un objeto se define como la fuerza de atracción gravitacional ejercida sobre él por un cuerpo de gran masa, como la Tierra o la Luna. Esta fuerza gravitacional es siempre hacia el centro del cuerpo de gran masa. Si w representa al peso del objeto en la Tierra, entonces

$$w = mg$$

Como el peso de un objeto depende de la atracción gravitacional que actúa sobre él, y puesto que dicha atracción gravitacional disminuye al aumentar la altura, en este caso, el peso disminuye, y viceversa, al disminuir la altura, el peso del objeto aumenta. Esto es debido a que la aceleración de la gravedad disminuye con la altura.

El peso de un mismo objeto es diferente en la Luna que en la Tierra, ya que la fuerza de atracción gravitacional es diferente, y de hecho, se ha encontrado que la aceleración debida a la gravedad en la Luna, equivale aproximadamente a $1/6$ de la aceleración en la Tierra, por lo que el peso de un objeto en la Luna, es de $1/6$ de su peso en la Tierra.

Si se desea establecer la diferencia entre el peso y la masa de un cuerpo, se debe tener claro que el peso es una fuerza que representa la atracción gravitacional sobre él, ejercida por un cuerpo de gran masa como por ejemplo la Tierra o la Luna. El peso de un objeto cambia, dependiendo de su posición con respecto al cuerpo de gran masa, mientras que su masa es la misma en la Tierra, en la Luna o en cualquier otro lugar del espacio. El peso de un objeto

es una cantidad vectorial (el cual tiene una dirección hacia el centro del cuerpo de gran masa), y la masa es una cantidad escalar.

Es frecuente el mal uso de las unidades de peso y masa. Por ejemplo, al pedir 1 kg de azúcar, nos referimos a un 1 kg masa, sin embargo, la balanza que se utiliza mide fuerzas, en este caso, el peso (w) de la masa, de tal forma que

$$w = mg$$

$$w = (1 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$w = 9.8 \text{ N}$$

Este es el peso que se nos da, de manera que cuando pedimos 1 kilogramo de azúcar, la balanza ya está calibrada para marcar 1 kg peso, el cual es igual a 9.8 N.

Los problemas de fuerzas se resuelven haciendo un dibujo de la situación de acuerdo a la reacción; más en esta ocasión vamos a establecer lo que es un diagrama de cuerpo libre. *El diagrama del cuerpo libre consiste en la representación gráfica de todas las fuerzas que actúan sobre el objeto, en un sistema de coordenadas, a partir del cual se escribirán las ecuaciones de la sumatoria de fuerzas para cada eje coordenado, y resolviendo éstas, se determinará el valor de la variable indicada.*

Ejemplo 1.

Se aplica una fuerza horizontal de 24 N sobre una masa de 16 kg colocada sobre un plano horizontal. Despreciando la fuerza de fricción, calcular su aceleración.

Datos: $F = 24 \text{ N}$; $m = 16 \text{ kg}$

Establecer la ecuaciones a partir del diagrama de cuerpo libre:

$$\Sigma F_x = F \cos 0^\circ + N \cos 90^\circ + w \cos 270^\circ = ma_x$$

$$\Sigma F_y = F \sin 0^\circ + N \sin 90^\circ + w \sin 270^\circ = ma_y$$

$$\Sigma F_x = 24 \text{ N} \cdot 1 + N \cdot 0 + w \cdot 0 = 16 \text{ kg } a_x$$

$$\Sigma F_y = 24 \text{ N} \cdot 0 + N \cdot 1 + w \cdot (-1) = 0$$

$$F = ma$$

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

$$a = \frac{24 \text{ N}}{16 \text{ kg}}$$

$$a = \frac{24 \text{ kg } \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{16 \text{ kg}}$$

$$a = 1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Observa que ni la fuerza normal (N) ni el peso (w) intervienen en el movimiento del objeto, ya que son perpendiculares al mismo.

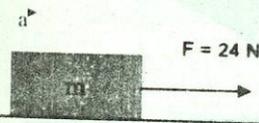


Fig. 7a. Descripción del problema

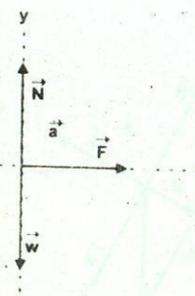


Fig. 7b. Diagrama de cuerpo libre.

Ejemplo 2.

Una fuerza de 24 N que forma un ángulo de 60° con la horizontal, se aplica sobre una masa de 16 kg colocada sobre una superficie horizontal. Despreciando la fuerza de fricción, calcular la aceleración producida

Datos: $F = 24 \text{ N}$; $\theta = 60^\circ$; $m = 16 \text{ kg}$

Establecer las ecuaciones a partir del diagrama de cuerpo libre:

$$\Sigma F_x = F \times \cos 60^\circ + N \times \cos 90^\circ + w \times \cos 270^\circ = ma_x$$

$$\Sigma F_y = F \times \sin 60^\circ + N \times \sin 90^\circ + w \times \sin 270^\circ = ma_y$$

$$\Sigma F_x = 24 \text{ N} \times 0.5 + N \times 0 + w \times 0 = 16 \text{ kg} a_x$$

$$\Sigma F_y = 24 \text{ N} \times 0.866 + N \times 1 + w \times (-1) = 0$$

$$a_x = \frac{12 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}}{16 \text{ kg}} = 0.75 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_x = 0.75 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

En este ejemplo ni la fuerza normal (N) ni el peso (w) del objeto intervienen en el movimiento, ya que son perpendiculares al mismo.

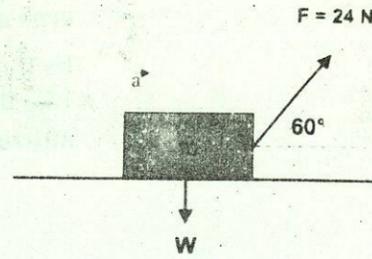


Fig. 8a. Descripción del problema

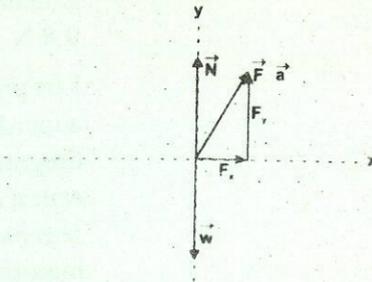


Fig. 8b. Diagrama de cuerpo libre

Ejemplo 3.

Se sube una masa de 4 kg sobre un plano inclinado 30° con la horizontal, mediante la aplicación de una fuerza paralela al plano. Si el movimiento es a velocidad constante y se desprecia la fuerza de fricción, calcular la fuerza aplicada sobre la masa y la fuerza normal al plano.

Datos: $m = 4 \text{ kg}$; $\theta = 30^\circ$; $a = 0$

Establecer las ecuaciones a partir del diagrama de cuerpo libre.

$$\Sigma F_x = F \times \cos 0^\circ + N \times \cos 90^\circ + w \times \cos 240^\circ = 4 \text{ kg} \times 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = F \times \sin 0^\circ + N \times \sin 90^\circ + w \times \sin 240^\circ = 4 \text{ kg} \times 0 \quad (2)$$

$$F + 0 - 4 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.5 = 0$$

$$0 + N + - 4 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times (-0.866) = 0$$

$$F = (4 \text{ kg}) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (0.500)$$

$$F = 19.6 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 19.6 \text{ N}$$

$$N = (4 \text{ kg}) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (0.866)$$

$$F = 33.94 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 33.94 \text{ N}$$

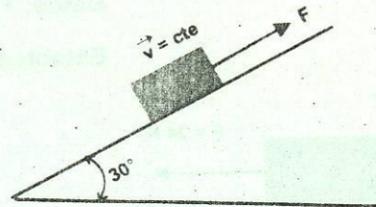
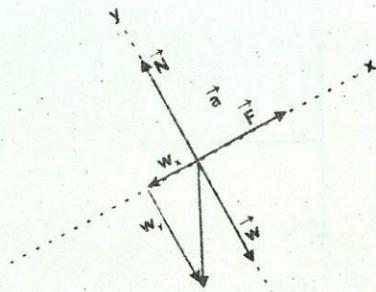


Fig. 9a. Descripción del problema



Ejemplo 4.

Un elevador y su carga pesan 5,200 N. Calcular la tensión en el cable que lo sostiene, si se mueve:

- a) Hacia arriba con una aceleración de 0.6 m/s^2
- b) Hacia abajo con la misma aceleración.

Datos: $w = 5,200 \text{ N}$; $a = 0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

- a) Se mueve hacia arriba con $a = 0.6 \text{ m/s}^2$

Si el movimiento es hacia arriba, se tiene que establecer la ecuación:

$$\Sigma F_y = T \times \sin 90^\circ + 5,200 \times \sin 270^\circ = \frac{5,200 \text{ N}}{9.8} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$T - 5,200 \text{ N} = 318.36 \text{ N}$$

$$T = 5,518.36 \text{ N}$$

- b) Si el movimiento es hacia abajo se tiene que

$$\Sigma F_y = w \times \sin 270^\circ - T \times \sin 90^\circ = \frac{5,200 \text{ kg}}{9.8} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$T - 5,200 \text{ N} = 318.36 \text{ N}$$

$$T = 4,881.64 \text{ N}$$

FRICCIÓN

La fuerza de fricción se debe a una resistencia natural constante al movimiento entre materiales en contacto o dentro de un medio. Esta fuerza se presenta en los diferentes medios: sólido, líquido y gaseoso. Por ejemplo, los automóviles se construyen tomando en cuenta el efecto de la fricción del aire, de ahí sus formas aerodinámicas; un buzo al nadar se impulsa utilizando pies y brazos, y además la fricción de éstos con el agua; al caminar nos impulsamos hacia adelante gracias a la fuerza de fricción entre el piso y nuestros pies.

¿Qué pasaría si no existieran las fuerzas de fricción? Difícilmente caminaríamos, los automóviles derraparían y los aviones probablemente no existirían, ya que éstos basan su movimiento, en buena medida, en el efecto de la fricción del aire. Un efecto negativo de la fuerza de fricción es el desgaste que sufren los anillos, las bielas, los pistones, etc., en un motor de combustión interna. Para disminuir el desgaste de estas partes del motor se utiliza el aceite lubricante. Otra forma de evitar este desgaste es mediante el pulido de las superficies de las piezas en contacto. Lo anteriormente expuesto nos da una idea de la importancia de tomar en cuenta los efectos de la fuerza de fricción, la cual estudiaremos enseguida, considerando solamente la fuerza de fricción o rozamiento entre dos superficies sólidas en contacto.

La fuerza de fricción (f) se opone al movimiento de deslizamiento entre las superficies en contacto y sigue una dirección paralela a ellas.

El origen físico de la fuerza de fricción es la irregularidad en las superficies en contacto. Las asperezas de la superficie de un material hacen contacto con las asperezas de la superficie del otro material, de tal forma que para efectuar un movimiento entre las superficies en contacto, habrá que aplicar una fuerza que venza esta fuerza de fricción que se genera al estar en contacto las superficies (ver figura 6).

Cuando un cuerpo (en reposo o en movimiento) se encuentra colocado sobre una superficie plana, ejerce sobre ésta una cierta carga. Esta carga es la fuerza aplicada por el cuerpo sobre la superficie y actúa perpendicularmente a las superficies en contacto, manteniéndolas unidas.

Por otra parte, la fuerza normal (N) es la fuerza que ejerce la superficie sobre el cuerpo que se desliza o está en reposo sobre ella. Como ya lo he-



Fig. 6. La rugosidad de las superficies en contacto genera la fuerza de fricción que se opone al movimiento relativo entre ellas.

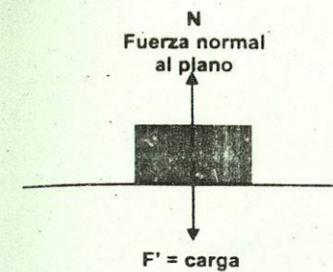


Fig. 11a

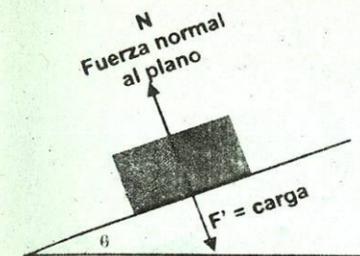


Fig. 11b

mos visto, esta fuerza es perpendicular a la superficie. La carga que ejerce un cuerpo sobre una superficie, en la cual se encuentra colocado, y la normal ella (N) son las fuerzas de acción y reacción en la interacción entre la superficie y el cuerpo (figura 11).

La fuerza normal (N) al plano es igual al peso (w) del objeto, cuando éste se desliza sobre un plano horizontal (ver figura 11a). Para un objeto en un plano inclinado, la fuerza normal es igual a la componente del peso perpendicular al plano (w_{\perp}), ver figura 11 b.

NOTA: Es frecuente decir, que la fuerza normal (N) y el peso (w) de un cuerpo son fuerzas de acción y reacción, sin reparar en el hecho de que ambas actúan sobre un mismo cuerpo, contradiciendo esto, a lo previsto por la Tercera Ley de Newton, la cual establece que las fuerzas de acción y reacción actúan sobre cuerpos diferentes.

La fuerza que ejerce el objeto sobre el plano (la carga), es la fuerza que presiona para que estas superficies estén en contacto, y es igual en magnitud a la fuerza normal (N) que ejerce el plano sobre el objeto. Experimentalmente se tiene que si la carga que ejerce el cuerpo aumenta, la fuerza de fricción también aumenta, y viceversa, si la carga del objeto disminuye, la fuerza de fricción también disminuye. De lo anterior se tiene que

$$f \text{ proporcional (carga)}$$

en donde se utiliza la normal (N), ya que ésta siempre es numéricamente igual a la carga del objeto. Introduciendo una constante de proporcionalidad en la expresión, resulta que

$$f = \mu N$$

siendo μ el coeficiente de fricción, el cual carece de unidades (es adimensional). Este coeficiente es característico de los materiales en contacto. La fuerza de fricción no sólo aparece cuando hay movimiento, sino que también existe cuando un cuerpo tiende a deslizarse sobre otro. Esta fuerza depende de la naturaleza de las superficies en contacto (rugosidad y tipo de material) y de la carga que las mantiene unidas.

COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICA (μ_s)

Si a un objeto se le aplica una fuerza (F) y éste no se mueve, se debe a la fuerza de fricción estática (f_s) que se opone al movimiento ($f_s = F$), ver la figura 9. Si se aumenta la fuerza (F) aplicada y el cuerpo no se mueve, es porque también aumenta la fuerza de fricción estática (f_s). El objeto se moverá cuando la fuerza aplicada (F) sea ligeramente mayor que la fuerza máxima de fricción estática (f_s). Esta fuerza máxima de fricción estática viene dada por

$$f_s = \mu_s N$$

en donde μ_s se conoce como el coeficiente de fricción estática. Como ya se explicó, si al aumentar la fuerza aplicada, el objeto no se mueve, es porque la fuerza de fricción estática se opone. Al aumentar la fuerza aplicada, aumenta la fricción estática, así, hasta que se inicia el movimiento. En nuestro estudio, consideraremos a la fuerza de fricción estática (f_s) como el máximo valor que puede tomar sin que se dé inicio al movimiento.

COEFICIENTE DE FRICCIÓN CINÉTICA (μ_k)

Cuando la fuerza (F) aplicada a un objeto es superior a la fuerza de fricción estática máxima (f_s), el objeto se mueve y entonces la fuerza que se opone al movimiento es llamada la fuerza de fricción cinética (f_k).

Experimentalmente se ha demostrado que la fuerza de fricción cinética (f_k) es proporcional a la carga, la cual es igual en magnitud a la fuerza normal (N) ejercida por el plano sobre el objeto que se desliza sobre él, por lo que

$$f_k = \mu_k N$$

en donde μ_k se conoce como el coeficiente de fricción cinética.

A continuación, se va a analizar el deslizamiento de un cuerpo, para apreciar como se calculan experimentalmente los valores de μ_s y μ_k .

Supóngase que se tiene una masa (m) sobre un plano inclinado a un ángulo (θ) con la horizontal, y que la masa se desliza uniformemente sobre el plano. Considerando el eje de la x en la dirección del movimiento y el eje de la

y perpendicular al plano, se tiene que la ecuación del movimiento en el eje de la x es

$$w_x - f_k = ma_x$$

puesto que la velocidad es constante ($a_x = 0$)

$$w_x = f_k$$

$$w_x = w \text{ sen } \theta$$

$$f_k = \mu_k N$$

$$w \text{ sen } \theta = \mu_k N \quad (1)$$

La ecuación del movimiento en el eje de la y es

$$N - w_y = ma_y$$

como no hay movimiento en el eje de la y se tiene que $a_y = 0$ por lo tanto

$$N - w_y = 0$$

$$N = w_y$$

$$w_y = w \text{ cos } \theta$$

$$N = w \text{ cos } \theta \quad (2)$$

$$w \text{ sen } \theta = \mu_k N$$

$$w \text{ sen } \theta = \mu_k \text{ cos } \theta$$

$$\text{sen } \theta = \mu_k \text{ cos } \theta$$

$$\mu_k = \frac{\text{sen } \theta}{\text{cos } \theta}$$

$$\mu_k = \tan \theta$$

El coeficiente de fricción cinética (μ_k) se puede calcular experimentalmente mediante la tangente del ángulo (θ) del plano inclinado, para el cual la masa que se desliza sobre él, lo hace a velocidad constante o uniforme.