Física
Guía de Materia
Fuerza y movimiento
Módulo Común
II Medio

www.puntajenacional.cl

Nicolás Melgarejo, Verónica Saldaña
Licenciados en Ciencias Exactas, U. de Chile
Estudiantes de Licenciatura en Educación, U. de Chile

1. Fuerza y movimiento

Se considera la fuerza como una magnitud vectorial que ocasiona que un cuerpo se acelere. Llamamos fuerza neta sobre un cuerpo a la fuerza que resulta de la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre él. Si la fuerza neta ejercida sobre un objeto es cero, entonces su aceleración es cero y el cuerpo se encuentra en equilibrio. Un cuerpo está en equilibrio cuando está en reposo o cuando su velocidad es constante (M.R.U.).

Galileo Galilei fue el primero en plantear que la naturaleza de la materia es oponerse a los cambios en su movimiento, los cuales son provocados por fuerzas. En 1.586 Isaac Newton formaliza el enfoque de Galileo y establece las leyes que describen el movimiento a partir de las causas que lo originaron.

1.1. Leyes de Newton

1.1.1. Principio de inercia

La primera ley de Newton establece que, si sobre un cuerpo no actúan fuerzas o si de las que actúan resulta una fuerza neta nula, un cuerpo en reposo permanece en reposo o equivalentemente, un cuerpo con movimiento rectilíneo uniforme permanece con movimiento rectilíneo uniforme. Esta ley es válida en marcos de referencia inerciales, éstos son sistemas de referencia que no están acelerados.

✎ ***Ejemplo***

1. *Cuando un automóvil frena, los pasajeros son impulsados hacia adelante, como si sus cuerpos trataran de seguir el movimiento.*
2. *Un patinador, después de haber adquirido cierta velocidad, puede seguir avanzando sin hacer esfuerzo alguno.*
3. *En las curvas, los pasajeros de un vehículo son empujados hacia afuera, pues sus cuerpos tienden a seguir la dirección que traían.*

Un ciclista que frena repentinamente tiende a seguir en movimiento, debido a la primera ley de Newton.

1.1.2. Principio de masa

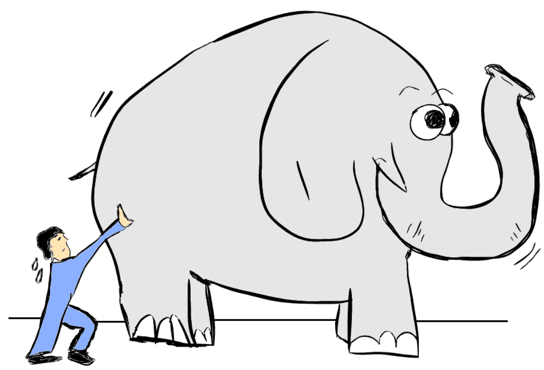
La segunda ley de Newton establece que la aceleración $\vec{a}$ que adquiere un cuerpo por efecto de una fuerza, $\vec{f}$, es directamente proporcional a ésta e inversamente proporcional a su masa m:

$$\vec{f} = m \cdot \vec{a} \tag{1}$$

Masa: es la característica de un cuerpo que determina su inercia.
Inercia: es la tendencia de un cuerpo a permanecer en equilibrio.

Desafío...

Si tiene dos automóviles hechos del mismo material, pero uno tiene el doble de masa que el otro, ¿cuál tendrá más inercia? Respuesta



A mayor masa se necesita una fuerza mayor para ejercer una misma aceleración.

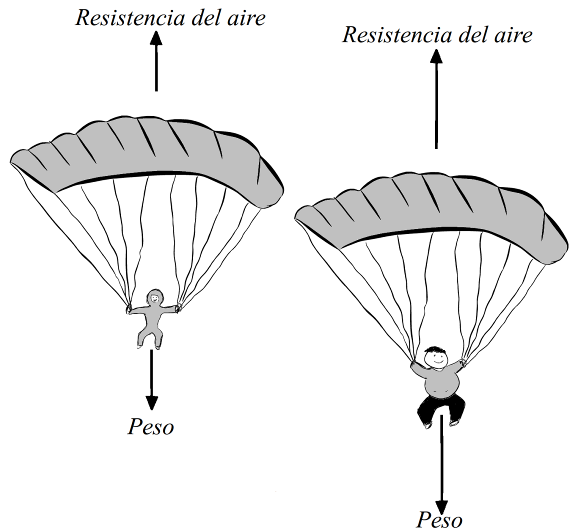
1.1.3. Principio de acción y reacción

La tercera ley de Newton establece que si dos cuerpos interactúan, la fuerza ejercida por el cuerpo 1 sobre el cuerpo 2 es igual en magnitud y dirección, pero opuesta en sentido a la fuerza ejercida por el cuerpo 2 sobre el cuerpo 1.

✎ ***Ejemplo***

1. Cuando se dispara un arma de fuego, ésta retrocede (“culatazo”).
2. Si un patinador hace fuerza contra una pared, retrocede como si la pared lo hubiera empujado a él.
3. Cuando un botero quiere alejarse de la orilla, apoya el remo en ella y hace fuerza hacia adelante. El bote retrocede como si lo hubieran empujado desde la orilla.
4. En un lanzamiento de paracaídas el cuerpo acelera hasta que el peso y la fuerza de resistencia del aire se igualan por el principio de acción y reacción.

Cuando un paracaidista ha alcanzado la velocidad límite, su peso y la resistencia del aire son de igual magnitud y dirección pero en sentidos opuestos. En esta situación la sensación de caida libre se pierde ya que el cuerpo baja con velocidad constante.



1.2. Algunas fuerzas importantes

La unidad de medida de esta magnitud vectorial, según el Sistema Internacional de Medidas, es el Newton $[N]$, donde:

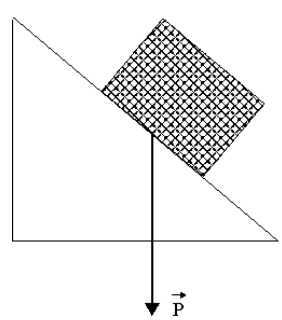
$$1[N] = 1[kg] \cdot \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

1.2.1. ⋆ Diagrama de cuerpo libre

La herramienta que utilizamos para determinar la fuerza neta que se ejerce sobre un cuerpo, es el *diagrama de cuerpo libre* o DCL, el cual se define como una representación vectorial de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, el cual se considera puntual respecto de un sistema de ejes coordenados. También nos permite descomponer vectorialmente las fuerzas en caso de ser necesario.

1.2.2. Fuerza de gravedad

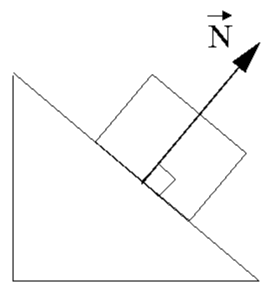
La fuerza de gravedad $\vec{P}$ es la fuerza producida por la aceleración de gravedad de la Tierra (o del cuerpo celeste que estemos estudiando) igual a 9,8 $\left[\frac{m}{s^2}\right]$ aproximadamente. El peso de un cuerpo es la magnitud de la fuerza de gravedad que actúa sobre él y el instrumento con el cual puede ser medida es el *dinamómetro.*



La fuerza de gravedad apunta siempre en dirección al centro terrestre independientemente de la superficie donde se encuentre el objeto.

1.2.3. Fuerza normal

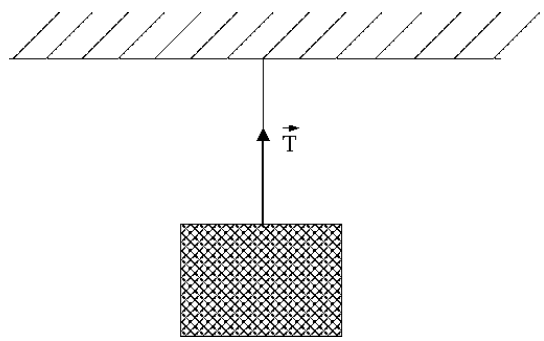
La fuerza normal $\vec{N}$ es la fuerza de reacción que ejerce una superficie sobre un cuerpo al apoyarse sobre ésta. Se presenta perpendicularmente a la superficie.



La normal es la fuerza de reacción a la componente perpendicular del peso respecto de la superficie de contacto.

1.2.4. Tensión

La tensión $\vec{T}$ es la fuerza transmitida a través de una cuerda inextensible y de masa despreciable, ejercida por un cuerpo atado a ella.



La tensión también es producto del principio de acción y reacción.

1.2.5. Fuerza de roce o de fricción

La fuerza de roce $\vec{f_r}$ corresponde a la oposición que presenta un medio al desplazamiento de un cuerpo debido a las irregularidades de la superficie de contacto. Existen dos tipos de fuerza de roce, la fuerza de roce estático $\vec{f_{re}}$ y la fuerza de roce cinético $\vec{f_{rc}}$.

La fuerza de roce estático actúa cuando el cuerpo no está en movimiento sobre una superficie y su magnitud está dada por:

$$f_{re} = \mu_e \cdot N \tag{2}$$

donde N es la magnitud de la normal y μ_e es el coeficiente de roce estático, magnitud adimensional que depende del material de la superficie. Por otro lado, la fuerza de roce cinético actúa cuando el cuerpo está moviéndose sobre una superficie, apuntando en sentido opuesto al movimiento y con magnitud dada por:

$$f_{rc} = \mu_c \cdot N \tag{3}$$

donde N es la magnitud de la normal y μ_c es el coeficiente de roce cinético, magnitud adimensional que depende del material de la superficie.

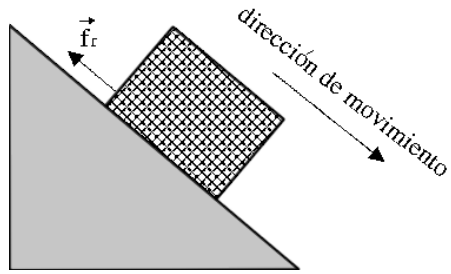


Figura 1: La fuerza de roce tiene siempre sentido opuesto al del movimiento.

Desafío...

Si un objeto se encuentra en reposo sobre un plano inclinado ¿Existe alguna fuerza de roce actuando? Respuesta

1.2.6. Fuerza elástica de un resorte

La fuerza elástica de un resorte $\vec{f_e}$ es la fuerza de reacción que presenta un resorte ante la modificación de su largo natural, es directamente proporcional al estiramiento o compresión sufrida y de signo contrario. Se puede obtener como sigue:

$$\vec{f_e} = -k \cdot \vec{x} \tag{4}$$

donde k es la constante de elasticidad que depende del material del que esté hecho el resorte y $\vec{x}$ es el desplazamiento dado por el estiramiento o compresión del resorte desde su posición de equilibrio.

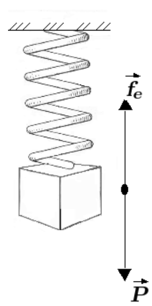


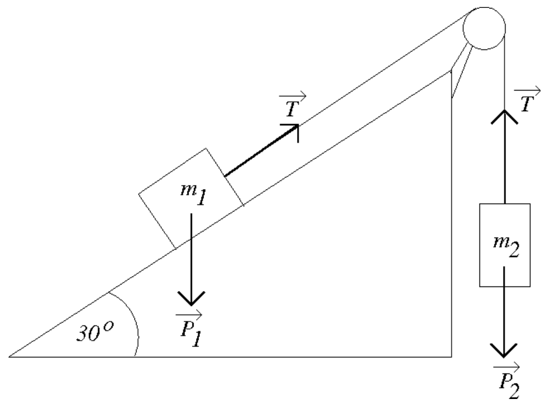
Figura 2: La fuerza elástica de un resorte es una fuerza de reacción al estiramiento o compresión sufrida.

Desafío...

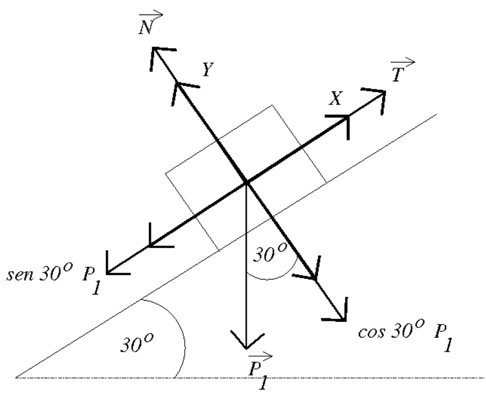
¿Qué resorte es más dificil de sacar de su punto de equilibrio, uno con coeficiente de elasticidad $k = 1$ o con coeficiente de elasticidad $k = 2$? Respuesta

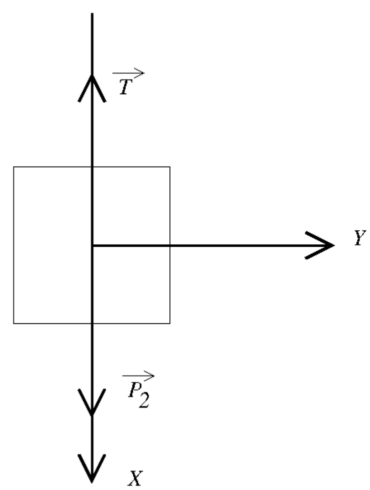
✎ ***Ejemplo***

Una masa m_1 cuyo peso p_1 es 500[N], se encuentra en un plano inclinado liso que forma un ángulo de 30º con la horizontal. Una cuerda inextensible atada a la masa, pasa por una polea sin roce y se une a una segunda masa, m_2, de peso p_2 desconocido, despreciando el peso de la cuerda. Calcule el peso de m_2 para que el sistema esté en reposo.



Solución: Dibujamos el DCL para m_1 y m_2, donde el eje X del sistema de referencia está dado por la dirección de movimiento de cada masa.





Como el movimiento se produce en el eje X aplicamos el *Principio de superposición de fuerzas* en X, es decir, sumamos las componentes X de las fuerzas sobre las masas según nuestro sistema de referencia. Esta suma de fuerzas es:

$$-\sin(30^{o}) \cdot p_1 + T - T + p_2 = (m_1 + m_2) \cdot a_x$$

Note que la magnitud de las tensiones son idénticas ya que estamos estudiando la misma cuerda en ambos DCL, mientras que a_x es la componente en X del vector aceleración del sistema.

Como queremos que el sistema se encuentre en reposo, la aceleración debe ser igual a cero, reemplazando $a_x = 0$ en la ecuación anterior queda:

$$-\sin(30^{o}) \cdot p_1 + p_2 = 0$$

Despejamos p_2:

$$p_2 = \sin(30^o) \cdot p_1 = \frac{1}{2} \cdot p_1 = 250[N]$$

1.3. Torque

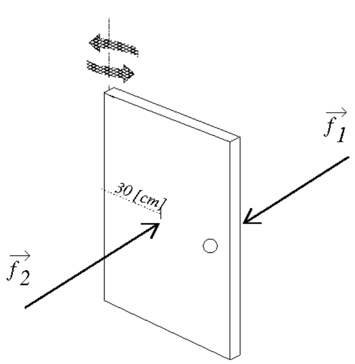
Es la medida cuantitativa de la tendencia de una fuerza para causar o alterar la rotación de un cuerpo respecto de un eje de giro. Este giro del cuerpo se facilita cuando la fuerza aplicada es grande y/o cuando aumenta la distancia del punto de aplicación de la fuerza respecto del eje de rotación. El torque es la contraparte rotacional de la fuerza. La fuerza tiende a cambiar el movimiento de las cosas, el toque tiende a torcer, o cambiar, el estado de rotación de las cosas.

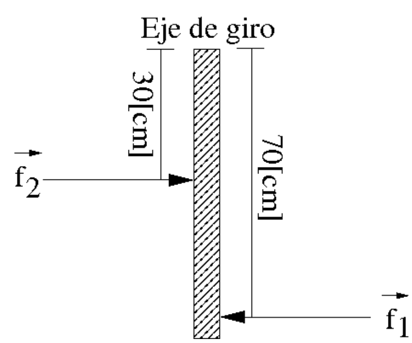
El torque es una magnitud vectorial que depende de la fuerza $\vec{f}$ aplicada, la distancia entre el punto de aplicación de la fuerza y el eje de giro, denominada brazo; y del ángulo que se forma entre la fuerza aplicada y la superficie. Para efectos de P.S.U. sólo estudiaremos el caso en donde este ángulo es 90°. De lo contrario es posible obtener el torque aplicando el producto cruz entre los vectores. La magnitud del torque τ está dada por:

$$\tau = f \cdot d \tag{5}$$

✎ ***Ejemplo***

Una puerta está siendo cerrada con una fuerza $\vec{f_1}$ de magnitud 10$[N]$ a 70$[cm]$ del eje de giro, mientras que del otro lado alguien intenta abrirla aplicando una fuerza $\vec{f_2}$ de magnitud 20$[N]$ a 30$[cm]$ del eje de giro, ambas fuerzas son perpendiculares a la superficie de la puerta. ¿Cuál es el sentido de rotación que la puerta adquiere?





Solución: Según la ecuación (5) la magnitud del torque producido por la fuerza $\vec{f_1}$ es:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= 10[N] \cdot 70[cm]\\ &= 10[N] \cdot 0,7[m]\\ &= 7[N \cdot m]\end{aligned}$$

Mientras que la magnitud del torque producido por $\vec{f_2}$ es:

$$\begin{aligned}\tau_2 &= 20[N] \cdot 30[cm] \\ &= 20[N] \cdot 0,3[m] \\ &= 6[N \cdot m]\end{aligned}$$

Los torques están en la misma dirección pero en sentidos opuestos, por lo tanto al igual que en las fuerzas, por ser una magnitud vectorial debemos hacer la resta de los torques. Como $\tau_1 > \tau_2$ la puerta gira en sentido de la fuerza $\vec{f_1}$, es decir, la puerta se cierra gracias a un torque final $\vec{\tau}_f$ con magnitud igual a

$$\begin{aligned}\tau_f &= \tau_1 - \tau_2 \\ &= 7[N \cdot m] - 6[N \cdot m] \\ &= 1[N \cdot m]\end{aligned}$$

✔ Diremos que un objeto está en *equilibrio mecánico* si la suma neta de fuerzas y de torques sobre el objeto es cero, es decir, $\sum \vec{f} = \sum \vec{\tau} = 0$.

1.4. Cantidad de movimiento e impulso

También llamado *momentum* o *momento*, la cantidad de movimiento lineal de un cuerpo es una magnitud vectorial, $\vec{p}$, que corresponde a la relación entre su masa m y su velocidad $\vec{v}$:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \tag{6}$$

De la segunda ley de Newton tenemos que

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

donde $\vec{F}$ es la fuerza neta sobre un cuerpo y $\vec{a}$ es la aceleración adquirida por el cuerpo. Pero como $\vec{a} = \dfrac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ la ecuación anterior puede ser escrita como:

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

de donde se deduce que:

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$$

Como $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$:

$$\begin{aligned}\vec{F} \cdot \Delta t &= m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1) \\ &= m \cdot \vec{v}_2 - m \cdot \vec{v}_1 \\ &= \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \\ \vec{F} \cdot \Delta t &= \Delta \vec{p}\end{aligned}$$

El producto entre la fuerza y el tiempo de aplicación de ésta, es igual a una variación del momentum del cuerpo.

Se llama *impulso* $\vec{I}$ al vector cuya magnitud se obtiene de multiplicar una fuerza $\vec{F}$ por el intervalo de tiempo, Δt, en el que actúa sobre un cuerpo:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t \tag{7}$$

También puede ser calculado con el producto de la masa m del objeto que está siendo impulsado y su variación de velocidad, lo que como vimos anteriormente es la variación de momentum:

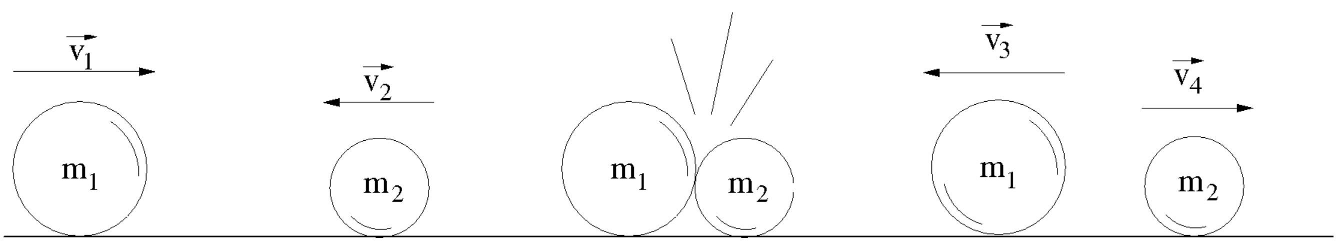
$$\vec{I} = m \cdot \Delta \vec{v} = \Delta p \tag{8}$$

✔ El momentum total de un sistema aislado de cuerpos en movimiento es igual a la suma de cada uno de sus momentos, el cual permanece constante en todo instante. Esto último se conoce como *Principio de conservación de la cantidad de movimiento lineal*.

Un ejemplo en donde podemos estudiar el *momentum* y su conservación es un choque. Se denomina choque al evento en el cual dos o más cuerpos colisionan entre sí, distinguiéndose 3 tipos: *elástico*, *inelástico* y *plástico*. Las características de estos son:

1.4.1. Choque elástico

Luego de la colisión los cuerpos se separan sin sufrir deformaciones.



Antes de la colisión el momentum total del sistema es la suma de los momentum individuales de cada cuerpo, así $\vec{p_i} = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2$. Después de la colisión el momentum total del sistema, dado que los cuerpos se separan, está dado por la suma individual de los momentum de cada cuerpo, es decir $\vec{p_f} = m_1 \cdot \vec{v}_3 + m_2 \cdot \vec{v}_4$. Por conservación del momentum lineal, el momentum total del sistema antes del choque, $\vec{p_i}$, es igual al momentum total del sistema después de la colisión, esto es

$$\vec{p_i} = \vec{p_f}$$
$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_3 + m_2 \cdot \vec{v}_4$$

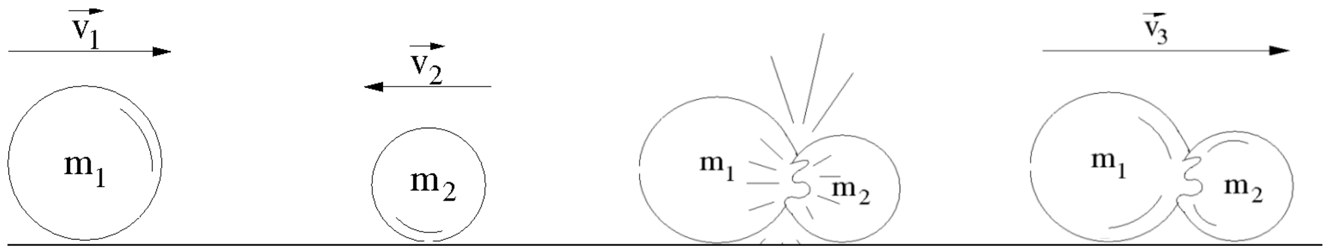
Note que las velocidades antes y después del choque no necesariamente son iguales.

1.4.2. Choque inelástico

Después del choque los cuerpos se separan, pero alguno de ellos queda con una deformación permanente. El análisis del momentum antes y después del choque es análogo al caso anterior, con la diferencia que la energía del sistema no se conserva.

1.4.3. Choque plástico

En el choque plástico o perfectamente inelástico, luego de la colisión los cuerpos quedan unidos, moviéndose como un solo cuerpo. El *momentum* es constante en todas las colisiones, pero la *energía cinética* es constante sólo en los choques elásticos, ya que en los choques inelástico y plástico se producen deformaciones, en las cuales se libera energía en forma de calor.



Antes de la colisión el momentum total del sistema es la suma de los momentum individuales de cada cuerpo, así $\vec{p}_i = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2$. Después de la colisión el momentum total del sistema, dado que los cuerpos quedan unidos, está dado por el momentum del nuevo objeto de masa $M = m_1 + m_2$, es decir $\vec{p}_f = (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}_3$. Por conservación del momentum lineal, el momentum total del sistema antes del choque, $\vec{p}_i$, es igual al momentum total del sistema después de la colisión, esto es:

$$\begin{aligned} \vec{p}_i &= \vec{p}_f \\ m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 &= (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}_3 \end{aligned}$$

✎ ***Ejemplo***

Una bola de boliche de $7[kg]$ *choca frontalmente con un pino de* $2[kg]$. *El pino vuela hacia adelante con rapidez de* $3\left[\frac{m}{s}\right]$. *Si la bola continúa hacia adelante con rapidez de* $1\left[\frac{m}{s}\right]$, *¿cuál fue la rapidez inicial de la bola?*

Solución: Sabemos que en todos los choques se cumple el *Principio de conservación del momentum*, es decir, el momentum antes del choque es igual al momentum después del choque. Utilizando la ecuación (6) la magnitud del momentum total antes de la colisión, p_i, es el de la bola de boliche:

$$p_i = 7[kg] \cdot v_i$$

donde v_i es la rapidez inicial que estamos buscando.

La magnitud del momentum total después del choque, p_f, es el de la bola más el del pino:

$$p_f = 7[kg] \cdot 1\left[\frac{m}{s}\right] + 2[kg] \cdot 3\left[\frac{m}{s}\right]$$

Por *Principio de conservación del momentum* igualamos el momentum inicial p_i y el momentum final p_f para despejar la rapidez inicial v_i:

$$\begin{aligned} p_i &= p_f \\ 7[kg] \cdot v_i &= 7[kg] \cdot 1\left[\frac{m}{s}\right] + 2[kg] \cdot 3\left[\frac{m}{s}\right] \\ 7[kg] \cdot v_i &= 13\left[kg \cdot \frac{m}{s}\right] \\ v_i &= \frac{13\left[kg \cdot \frac{m}{s}\right]}{7[kg]} \\ v_i &\simeq 1,9\left[\frac{m}{s}\right] \end{aligned}$$

Desafío...

Considere un cuerpo que se desplaza con movimiento rectilíneo uniforme. ¿El momentum del cuerpo va cambiando? Explique. Tomando en cuenta la respuesta anterior ¿qué se puede concluir acerca del impulso que actúa sobre el cuerpo? Respuesta

Desafío...

Un bus del Transantiago choca a gran rapidez con una polilla. El cambio repentino de cantidad de movimiento del insecto lo estampa en el parabrisas. El cambio de cantidad de movimiento del bus ¿es mayor, menor o igual que la de la pobre polilla? Respuesta

Desafíos resueltos

✓ Desafío I: El móvil con más masa es el que tiene más inercia, dado que cuesta más poner en movimiento a un cuerpo en reposo que tenga mayor cantidad de masa o cuesta más cambiar su velocidad si es que está en movimiento. Volver

✓ Desafío II: Sí, la fuerza de roce estático. Volver

✓ Desafío III: Es más dificil sacar de su punto de equilibrio a un resorte con coeficiente de elasticidad $k = 2$. Volver

✓ Desafío IV: Si un cuerpo se mueve con M.R.U. su velocidad se mantiene constante. Como el momentum depende de la masa y velocidad del cuerpo en movimiento, y ambas se mantienen invariantes, esto implica que su momentum lineal no cambia.

El impulso es igual a la variación de momentum, pero el momentum permanece constante, por lo que su variación es nula. Así, el impulso sobre el cuerpo es cero. Volver

✓ Desafío V: El cambio de cantidad de movimiento del bus y de la polilla son iguales, ya que la variación del momentum es impulso y el impulso es el producto de la fuerza que actuó sobre los cuerpos y el intervalo de tiempo que demoró la interacción. Por el principio de acción y reacción, la fuerza del bus sobre la polilla es la misma que la fuerza de la polilla sobre el bus, choque que se produjo en el mismo intervalo de tiempo, así sus impulsos son iguales, por lo tanto, la variación de cantidad de movimiento es igual para ambos cuerpos. Volver

Bibliografía

[1] Física 1° Educación Media, *Cuarta edición*, Santillana (2009)
Mario Toro Frederick, Rodrigo Marchant Ramirez, Mauricio Aguilar Baeza.

[2] Física Tomos I y II, *Tercera edición*, Mc Graw-Hill. México (1992)
Raymond A. Serway.

[3] Ciencias Plan Común, Física, Chile (2007)
Dirección académica CEPECH.

[4] Física General, Tercera edición, Harla. México (1981)
Beatríz Alvarenga, Antônio Máximo.

[5] Física Conceptual, *Novena edición*, Pearson Educación. México (2004)
Paul Hewitt.

[6] Introducción a la Física, *Séptima edición*, Editorial Kapelusz, Argentina (1958)
Alberto Maiztegui, Jorge Sabato.