

CANTIDAD DE MOVIMIENTO LINEAL

CANTIDAD DE MOVIMIENTO

La **cantidad de movimiento lineal** también se la conoce como **momentum lineal** que se deriva de la palabra latina **momenta** que significa “movimiento” o “energía en movimiento”.

Siempre que observamos un objeto en movimiento, debemos considerar su masa y su velocidad.

Si analizamos la masa de un objeto podemos tener por ejemplo la diferencia de ser golpeado por una bicicleta que se mueve a 10 m/s y ser golpeado por el trolebús que viaja a la misma velocidad.

Si consideramos la velocidad, pensemos la diferencia de ser golpeado por una pelota de fútbol pateada por un niño o por un jugador de la primera división del fútbol ecuatoriano.

La cantidad de movimiento lineal (\vec{p}) que es una magnitud vectorial, se define como el producto de la masa (m) que es una magnitud escalar y la velocidad (\vec{v}) que es una magnitud vectorial.

La ecuación es: Vectorial: $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
Escalar: $p = m \cdot v$

La dirección y sentido de la cantidad de movimiento es la misma que de la velocidad.

$$(\vec{u}_p = \vec{u}_v)$$

La unidad es: (SI) $[p] = [\text{kg} \cdot \text{m/s}]$
(cgs) $[p] = [\text{g} \cdot \text{cm/s}]$

Las dimensiones son: $p = [M \cdot L \cdot T^{-1}]$

EJERCICIOS RESUELTOS

1. Una partícula de 2 kg, en caída libre, parte del reposo y llega al suelo 9 s. La cantidad de movimiento inicial y final es:

La cantidad de movimiento inicial este dado por:

$$\vec{v}_0 = 0 \text{ m/s}$$

Entonces:

$$\vec{p}_0 = m \vec{v}_0$$

$$\vec{p}_0 = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

La cantidad de movimiento final está dada por:

$$\vec{v}_0 = 0 \text{ m/s}$$

$$t = 9 \text{ s}$$

$$\vec{v}_f = \vec{v}_0 + \vec{g} t$$

$$\vec{v}_f = 0 + (-9,8 \text{ j}) \cdot 9 = (-88,2 \text{ j}) \text{ m/s}$$

Entonces:

$$\vec{p}_f = m \vec{v}_f$$

$$\vec{p}_f = 2(-88,2 \text{ j})$$

$$\vec{p}_f = (-176,4 \text{ j}) \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

EJERCICIOS PARA LA TAREA

1. Determine el vector momentum lineal, luego de 10 s, de una partícula de 14 kg disparada en un ángulo de 40° a 100 m/s.
2. Determinar el vector velocidad lineal de un cuerpo de 14 kg si su momentum lineal está dado por la expresión:

$$\vec{p} = (380 \text{ i} + 410 \text{ j} - 450 \text{ k}) \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

IMPULSO

Si la cantidad de movimiento de un objeto cambia, entonces puede cambiar su masa, su velocidad o los dos a la vez.

Pero si la masa permanece constante la velocidad puede cambiar presentándose una aceleración. Esta aceleración es producto de una fuerza. Cuando mayor sea la fuerza que actúa sobre un objeto, mayor será el cambio de la velocidad y en consecuencia mayor será el cambio en la cantidad de movimiento.

Pero también debemos considerar el tiempo que actúa la fuerza sobre el objeto. Es así que si aplicamos una fuerza durante corto tiempo a un automóvil parado se le producirá un cambio pequeño de su cantidad de movimiento o si aplicamos la misma fuerza sostenida durante largo tiempo resultará un mayor cambio en la cantidad de movimiento.

Para cambiar la cantidad de movimiento de un objeto es importante la magnitud de la fuerza como el tiempo durante el cual actúa la fuerza.

Se llama **impulso** (I) al producto de la fuerza (F) con el intervalo de tiempo (t)

La ecuación es: Vectorial: $\vec{I} = \vec{F} \cdot t$
 Escalar: $I = F \cdot t$

El impulso es una magnitud vectorial que tiene la misma dirección de la fuerza.

$$(\vec{u}_I = \vec{u}_F)$$

La unidad es: (SI) $[I] = [\text{kg} \cdot \text{m/s}] = [\text{N} \cdot \text{s}]$
 (cgs) $[I] = [\text{g} \cdot \text{cm/s}] = [\text{erg} \cdot \text{s}]$

Las dimensiones son: $I = [M.L.T^{-1}]$

EL IMPULSO CAMBIA LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Cuanto menor sea el impulso que se ejerce sobre un objeto, menor será el cambio en la cantidad de movimiento. Esta relación se puede expresar de la siguiente manera:

Impulso = Cambio en la cantidad de movimiento

$$I = \Delta p$$

$$F \cdot t = p_f - p_o$$

$$F \cdot t = m \cdot v_f - m \cdot v_o$$

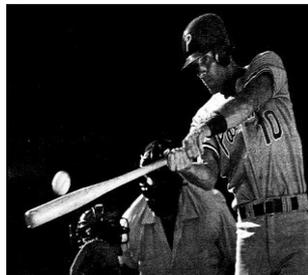
$$F \cdot t = m(v_f - v_o) ; F = \frac{m(v_f - v_o)}{t} ; F = m \cdot a$$

Con lo que verificamos que el impulso y la cantidad de movimiento están relacionadas con la segunda ley de Newton.

La relación entre **impulso y cantidad de movimiento** ayuda analizar muchos ejemplos en los que las fuerzas actúan y cambian el movimiento o el cambio de la cantidad de movimiento es la causa de un impulso. Así tenemos las siguientes posibilidades:

Posibilidad 1: aumento de la cantidad de movimiento.

Si se quiere aumentar la cantidad de movimiento sobre un objeto, se debe aplicar toda la fuerza posible durante el mayor tiempo que se pueda. Un beisbolista



que intenta dar un *home run*, un golfista que da el golpe inicial o cuando el arquero da un golpe a la pelota con su pierna en el saque de arco son ejemplos de este caso.

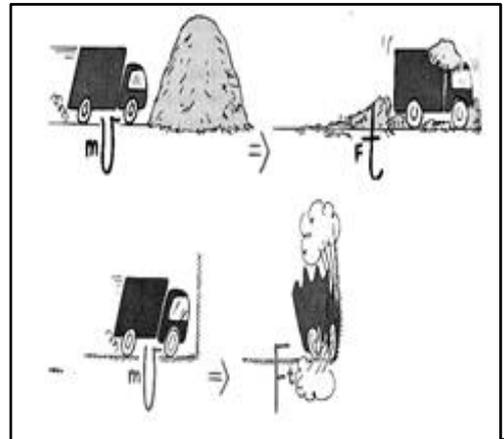
Posibilidad 2: disminución de la cantidad de movimiento.

Si queremos que la fuerza sea pequeña, aumentamos el tiempo de contacto y por tanto la cantidad de movimiento puede disminuir.

Ejemplos de esta posibilidad son los tableros acojinados y bolsas de aire en los volantes de los automóviles.

En el caso de chocar con un muro o contra un pajar para detener un vehículo requieren el mismo impulso para disminuir la cantidad de movimiento a cero. El mismo impulso significa igual producto de fuerza y tiempo, no la misma fuerza ni el mismo tiempo.

Un boxeador se flexiona o cabecea el golpe, para reducir la fuerza del impacto.



Posibilidad 3: disminución de la cantidad de movimiento durante corto tiempo.

Cuando el tiempo de impacto es corto las fuerzas de impacto son grandes, también puede producir una cantidad de movimiento a cero.



Esto explica como un experto en karate puede romper una pila de ladrillos con el golpe de su mano desnuda, el impulso es la fuerza de la mano contra los ladrillos, multiplicada por el tiempo de contacto que es muy breve y en consecuencia la fuerza de impacto es enorme.

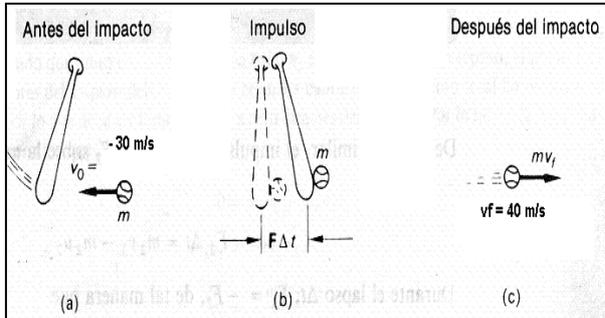
Si el karateca hace que la mano rebote en el impacto, la fuerza será todavía mayor.

EJERCICIOS RESUELTOS.

1. Una pelota de beisbol de 0,15 kg se mueve hacia el bateador a una velocidad de 30 m/s y al ser golpeada sale en dirección contraria con una velocidad de 40 m/s. La pelota está en contacto con el bate durante 0,0020 s.

Calcular:

- A) El impulso ejercido sobre la pelota.
B) La fuerza media ejercida sobre la pelota.



A) Como la velocidad es una magnitud vectorial consideramos que la velocidad inicial que está dirigida hacia la izquierda es negativa y la final dirigida hacia la derecha es positiva. Aplicamos la ecuación:

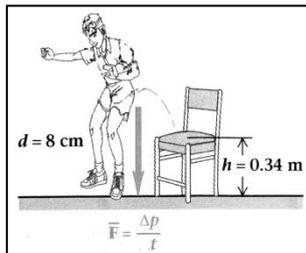
$$\begin{aligned} I &= \Delta p \\ I &= p_f - p_o \\ I &= m \cdot v_f - m \cdot v_o \\ I &= m(v_f - v_o) \\ I &= 0,15 \text{ kg} [40 \text{ m/s} - (-30 \text{ m/s})] \\ I &= 10,50 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \end{aligned}$$

B) La fuerza media será:

$$I = F \cdot t ; F = \frac{I}{t} ; F = \frac{10,50 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{0,0020 \text{ s}}$$

$$F = 5\,250,0 \text{ N}$$

2. Un estudiante de 51 kg salta de una silla de 0,34 m al suelo.



Si flexiona ligeramente sus rodillas al aterrizar, agachándose solo 8 cm. Calcular la fuerza con la que sus pies golpean el suelo.

La velocidad v_f del estudiante justo antes de que golpee el piso la podemos obtener:

$$\begin{aligned} v_f^2 &= v_o^2 + 2gh ; \text{ como } v_o = 0 \text{ m/s} \\ v_{f1} &= \sqrt{2gh} \end{aligned}$$

Después que el estudiante topa el piso y flexiona 8cm, y asumimos que la desaceleración es constante podemos calcular el tiempo durante el cual el estudiante flexionan las rodillas. También debemos considerar que la velocidad inicial cuando sus pies hacen contacto con el piso es $v_o = v_{f1}$ y la velocidad final es cero, así:

$$d = \frac{(v_o + v_f)}{2} \cdot t ; t = \frac{2d}{v_o} ; t = ; t = \frac{2d}{v_{f1}}$$

$$t = \frac{2d}{\sqrt{2gh}}$$

La cantidad de movimiento del estudiante cuando flexiona las rodillas esta dado por:

$$\begin{aligned} I &= \Delta p \\ F \cdot t &= p_f - p_o \\ F \cdot t &= m \cdot v_f - m \cdot v_o \\ F \cdot t &= -m v_o ; F = \frac{-m \cdot v_o}{t} ; F = \frac{-m \cdot v_{f1}}{t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{-m \cdot \sqrt{2gh}}{\frac{2d}{\sqrt{2gh}}} ; F = \frac{-m \cdot g \cdot h}{d} \\ F &= \frac{-(51 \text{ kg}) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (0,34 \text{ m})}{0,08 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$F = -2\,124,15 \text{ N}$$

Si el estudiante cayera sin flexionar las rodillas, la fuerza puede ser tan grande que es posible sufra una o más fracturas de los huesos.

3. Una pelota de tenis de 120 g se deja caer desde una altura de 3 m sobre el piso, luego de rebotar, esta alcanza una altura máxima de 2,6 m. Determinar:

A) La velocidad con la que la pelota llega al piso y la velocidad con que rebota en éste.

B) La cantidad de movimiento lineal de la pelota de tenis al chocar con el piso y al rebote.

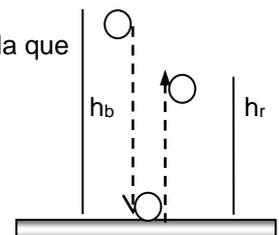
C) El impulso de las fuerzas actuantes sobre la pelota en el choque.

A) Se sabe que :

v_f : velocidad con la que llega al piso.

$$v_o = 0 \text{ m/s}$$

$$h_b = 2 \text{ m}$$



En el primer tramo la pelota cae con caída libre entonces:

$$v_f^2 = v_o^2 + 2gh_b , v_f = \sqrt{2gh_b}$$

$$v_f = \sqrt{2 \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (3 \text{ m})};$$

$$v_f = 7,67 \text{ m/s}; \vec{v}_f = (-7,67 \text{ j}) \text{ m/s}$$

Se conoce que la pelota rebota y sube con:

v_r : velocidad de rebote
 $v_f = 0 \text{ m/s}$; $h_r = 2,6 \text{ m}$

$$v_f^2 = v_r^2 - 2 g h_r, \quad V_r = \sqrt{2 g h_r}$$

$$v_r = \sqrt{2 \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (2,6 \text{ m})};$$

$$v_r = 7,14 \text{ m/s}; \quad v_r = (7,14 \text{ j}) \text{ m/s}$$

B) La cantidad de movimiento al chocar con el piso es:

$$\vec{p}_i = m \cdot \vec{v}_i; \quad \vec{p}_i = (0,12 \text{ kg}) (-7,67 \text{ j}) \text{ m/s}$$

$$\vec{p}_i = (-0,92 \text{ j}) \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

La cantidad de movimiento al rebotar en el piso se tiene

$$\vec{p}_r = m \cdot \vec{v}_r; \quad \vec{p}_r = (0,12 \text{ kg}) (7,14 \text{ j}) \text{ m/s}$$

$$\vec{p}_r = (0,86 \text{ j}) \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

C) El impulso que tiene la pelota es:

$$I = \Delta \vec{p}$$

$$I = \vec{p}_r - \vec{p}_i$$

$$I = [(0,86 \text{ j}) \text{ kg} \cdot \text{m/s} - (-0,92 \text{ j}) \text{ kg} \cdot \text{m/s}]$$

$$I = (1,78 \text{ j}) \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

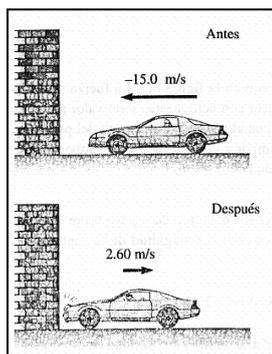
EJERCICIOS PARA LA TAREA.

1. Un martillo grande de 3 kg tiene una velocidad de $(14 \text{ i}) \text{ m/s}$ en el momento de golpear un perno de acero y es detenido en 0,02 s. Calcular:

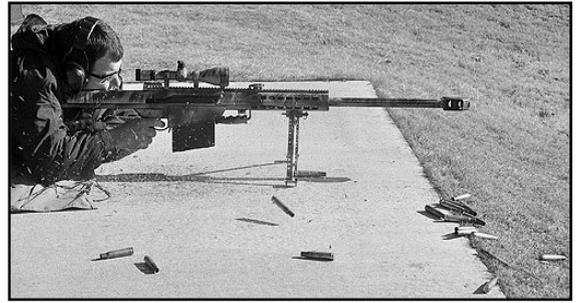
- La fuerza media que actúa sobre el perno.
- El impulso realizado sobre este.

2. En una cierta prueba de impacto, un automóvil de 1 500 kg choca con un muro. Las velocidades inicial y final del vehículo son $v_o = -15 \text{ m/s}$ y $v_f = +2,60 \text{ m/s}$ respectivamente. Si la colisión dura 0,150 s. Calcular:

- El impulso debido al choque
- La fuerza media ejercida sobre el automóvil.



3. Una bala de 0,003 kg se mueve a 600 m/s en una dirección a 30° sobre la horizontal. Calcular la componente horizontal y vertical de la cantidad de movimiento lineal.



4. Un libro de física de 1,73 kg vuela por el aire con una cantidad de movimiento de $18,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$. Determinar la velocidad del libro y la energía cinética que posee.

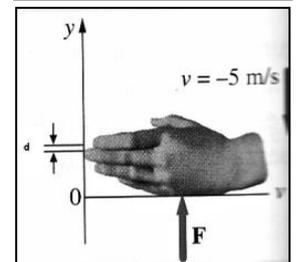
5. Un mazo de croquet libera un impulso de $8,83 \text{ N} \cdot \text{s}$ a una bola de 0,44 kg inicialmente en reposo. Calcular la velocidad de la bola inmediatamente después de haber sido golpeado.

6. Un jugador de fútbol de 68 kg patea una bola de 0,425 kg dándole una rapidez de 13,7 m/s. El pie del jugador está en contacto con la pelota durante 0,097 s. Calcular:

- La fuerza media sobre la pelota.
- La fuerza media sobre el pie del jugador.

7. Con un golpe el karateca rompe un bloque de hormigón. Su puño tiene una masa de 0,70 kg, se mueve a 5,0 m/s al chocar contra el bloque y se detiene a 6 mm del punto de contacto. Calcular:

- El impulso ejercido por el bloque sobre el puño del karateca.
- El tiempo de colisión aproximado.
- La fuerza media que el bloque ejerce sobre el puño.



8. En el Planetario Hayden de Nueva York se exhibe un meteorito de 30,8 ton (1 ton=1000kg). Se calculó que la energía cinética del meteorito cuando chocó con el suelo fue de 617 000 J y en 0,03 s su energía cinética se había reducido a la mitad. Calcular:

- El impulso experimentado por el meteorito.
- La fuerza media ejercida sobre el meteorito.

LEY DE LA CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO LINEAL.

Al analizar la segunda ley Newton sabemos que si deseamos acelerar un objeto se debe aplicar una fuerza externa mientras que para cambiar la cantidad de movimiento lineal de un objeto debemos aplicar un impulso externo ya que las fuerzas y los impulsos internos no lo harán.

Si consideramos un rifle que es disparado, la fuerza sobre la bala dentro del rifle es igual y opuesta a la fuerza que causa que el rifle de un golpe en el hombro de la persona que dispara (culatazo). Puestos que estas fuerzas actúan al mismo tiempo, los impulsos también son iguales y opuestos de acuerdo con la tercera ley de Newton. Estos impulsos son internos al sistema que abarca la bala y el rifle, de manera que no cambian la cantidad de movimiento del sistema bala-rifle.

Es así que la bala del rifle gana cantidad de movimiento cuando sale disparada y el rifle que retrocede gana cantidad de movimiento en la dirección opuesta, no hay ganancia en el sistema rifle-bala. Las cantidades de movimiento de la bala y el rifle son iguales en magnitud y opuestas en dirección. Por lo tanto, estas cantidades de movimiento se anulan para dar cero en el sistema como un todo.

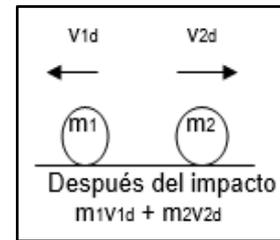
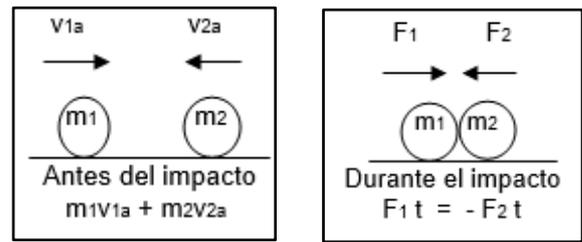
Cuando ninguna fuerza externa neta actúa sobre el sistema, no hay impulso neto sobre éste y no hay cambio neto en la cantidad de movimiento constituye una ley fundamental de la mecánica, llamada la **ley de la conservación de la cantidad de movimiento**, la que establece:

Cuando ninguna fuerza externa actúa sobre un sistema compuesto de dos objetos que se impactan uno contra otro, la cantidad de movimiento total del sistema antes del impacto es igual a la cantidad de movimiento total del sistema después del impacto.

Otros sistemas donde todas las fuerzas son internas como, por ejemplo, las bolas de billar y vehículos que chocan, núcleos atómicos que experimentan decaimiento radiactivo o estrellas que estallan, la cantidad de movimiento neta del sistema es la misma antes y después del evento.

Si consideramos la colisión de frente de las masas m_1 y m_2 antes del impacto con velocidades v_{1a} y v_{2a} y después del choque con v_{1d} y v_{2d} . El impulso de la fuerza F_1 que actúa sobre la masa de la derecha es:

$$F_1 t = m_1 v_{1d} - m_1 v_{1a}$$



El impulso de la fuerza F_2 sobre la masa de la izquierda es:

$$F_2 t = m_2 v_{2d} - m_2 v_{2a}$$

Durante el lapso de tiempo t se tiene que:

$$F_1 t = -F_2 t$$

$$m_1 v_{1d} - m_1 v_{1a} = - (m_2 v_{2d} - m_2 v_{2a})$$

después de ordenar tenemos:

$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d}$$

EJERCICIOS RESUELTOS.

- Si se conoce las masas m_1 y m_2 de las esferas anteriores que son 8 y 6 kg respectivamente y que la velocidad inicial de m_1 es de 5 m/s a la derecha y choca con m_2 que tiene una velocidad de 6 m/s a la izquierda. Calcular la cantidad de movimiento antes y después del impacto.

Sabemos que para las velocidades la dirección a la derecha es positiva y a la izquierda es negativa.

Por tanto, la cantidad de movimiento antes del impacto esta dado por:

$$p_a = m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a}$$

$$p_a = (8 \text{ kg})(5 \text{ m/s}) + (6 \text{ kg})(-6 \text{ m/s})$$

$$p_a = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

La cantidad de movimiento después del impacto de acuerdo con la ley de la conservación tenemos:

$$p_a = p_d$$

$$p_d = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

2. Un fusil de 30 lb dispara una bala de 0,02lb con una velocidad de salida de 2 700 pies/s. Calcular la velocidad de retroceso del fusil si está suspendido libremente.

Sabemos que:

$$m_1 = 30 \text{ lb} = 13,64 \text{ kg} ; m_2 = 0,02 \text{ lb} = 0,01 \text{ kg}$$

$$v_{1a} = v_{2a} = 0 \text{ m/s} ;$$

$$v_{2d} = 2\,700 \text{ pies/s} = 822,96 \text{ m/s}$$

Como m_1 y m_2 están en reposo antes del disparo entonces $p_a = 0$; aplicando la ley de conservación se tiene:

$$p_a = p_d$$

$$0 = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d}$$

$$v_{1d} = - \frac{m_2 v_{2d}}{m_1}$$

$$v_{1d} = - \frac{(0,01 \text{ kg})(822,96 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{13,64 \text{ kg}} ;$$

$$v_{1d} = -0,60 \text{ m/s} ; \vec{v}_{1d} = (-0,60 \text{ i}) \text{ m/s}$$

3. Una pelota de 0,4 kg se mueve hacia la derecha con una rapidez de 18 m/s, choca frontalmente con otra pelota de 0,6 kg que está en reposo. Después del choque se mueven juntas. Calcular:

A) La velocidad de las pelotas.

B) La energía cinética de las dos pelotas juntas.

Sabemos que:

$$m_1 = 0,4 \text{ kg} ; m_2 = 0,6 \text{ kg}$$

$$v_{1a} = 18 \text{ m/s} ; v_{2a} = 0 \text{ m/s}$$

$v_{1d} = v_{2d} = v_d$ ya que se mueven juntas.

A) $p_a = p_d$

$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d}$$

$$m_1 v_{1a} = v_d (m_1 + m_2)$$

$$v_d = \frac{m_1 v_{1a}}{m_1 + m_2}$$

$$v_d = \frac{(0,4 \text{ kg})(18 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{0,4 \text{ kg} + 0,6 \text{ kg}} ;$$

$$v_d = 7,20 \text{ m/s} ; \vec{v}_d = (7,20 \text{ i}) \text{ m/s}$$

B) $E_c = \frac{1}{2} m_T \cdot v_d^2 ;$

$$E_c = \frac{1}{2} (0,4 \text{ kg} + 0,6 \text{ kg}) (7,20 \text{ m/s})^2$$

$$E_c = 25,92 \text{ J}$$

4. Una granada de 12 kg está en reposo. Explota en tres fragmentos de masas $m_1 = 6 \text{ kg}$; $m_2 = 4 \text{ kg}$ y $m_3 = 2 \text{ kg}$. Luego de la explosión m_2 y m_3 se mueven con las velocidades $\vec{v}_2 = (60\text{j} - 100\text{k}) \text{ m/s}$ y $\vec{v}_3 = (-50\text{i} + 100\text{j} - 40\text{k}) \text{ m/s}$. Determinar la velocidad de m_1 .

De acuerdo con el principio de la conservación de la cantidad de movimiento lineal, antes de la explosión el momento lineal total del sistema es cero ya que la granada está en reposo, por lo tanto, la cantidad de movimiento lineal después de la explosión también debe ser igual a cero, entonces:

$$\Sigma \vec{p}_0 = 0$$

$$p_1 + p_2 + p_3 = 0$$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 + m_3 \cdot v_3 = 0$$

$$6 v_1 + 4 v_2 + 2 v_3 = 0$$

$$6 v_1 + 4(60\text{j} - 100\text{k}) + 2(-50\text{i} + 100\text{j} - 40\text{k}) = 0$$

$$6 v_1 + 240\text{j} - 400\text{k} - 100\text{i} + 200\text{j} - 80\text{k} = 0$$

$$6 v_1 = -240\text{j} + 400\text{k} + 100\text{i} - 200\text{j} + 80\text{k}$$

$$6 v_1 = 100\text{i} - 440\text{j} + 480\text{k}$$

$$v_1 = (16,67\text{i} - 73,33\text{j} + 80\text{k}) \text{ m/s}$$

EJERCICIOS PARA LA TAREA

1. Durante la reparación del telescopio espacial Hubble, una astronauta reemplaza dos paneles solares cuyos marcos se han curvado. Al empujar los paneles deteriorados hacia atrás en el espacio exterior, ella experimenta un impulso en sentido opuesto. La masa de la astronauta es de 132 lb y la del panel 176 lb. La astronauta y el panel solar están inicialmente en reposo. Después del impulso el panel se mueve

con una velocidad de 0,98 pies/s respecto a la nave. Calcular:

A) La velocidad la de la astronauta respecto a la nave.

B) La energía cinética final de la astronauta.



2. Un cazador con una escopeta de 6 kg dispara una bala de 0,055 kg con una rapidez de 320 m/s. Calcular:

A) La velocidad de retroceso de la escopeta.

B) La fuerza media que soporta el cazador debido al retroceso de la escopeta, si este es amortiguado en 0,15 s.

3. Un astronauta de 85 kg de masa en reposo en el espacio enciende un pequeño cohete que expelle 35 g de gas caliente a 800 m/s. Calcular:

A) La velocidad del astronauta después de encender el cohete.

B) La energía cinética del astronauta debido al cohete.

4. Entre dos carritos que se encuentran sobre una superficie lisa sin rozamiento, unidos por un hilo se encuentra un resorte comprimido. Después de quemar el hilo, el carrito 1,5 kg se mueve con una velocidad de $(-27 \text{ i}) \text{ m/s}$. Determinar la velocidad del carrito de 4,5 kg.

5. Una chica de 600 N está de pie en medio de la pista de patinaje sobre hielo en el CCI de 5 m de radio. La chica no puede cruzar al otro lado a causa de la falta de fricción entre sus zapatos y el hielo. A fin de superar esta dificultad, la chica lanza su libro de física de 1,2 kg en dirección horizontal hacia la orilla este, con una rapidez de 5 m/s. Calcular el tiempo que tardará en alcanzar la orilla oeste.

CHOQUES

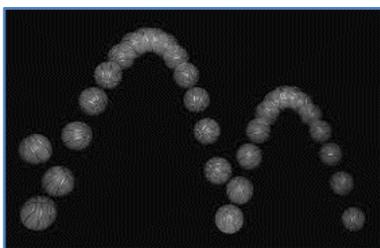
Para cualquier tipo de colisión, la cantidad de movimiento total del sistema un momento antes del choque es igual a la cantidad de movimiento total inmediatamente después del impacto. Se puede afirmar que la cantidad de movimiento total siempre se conserva en cualquier tipo de choque. Sin embargo, la energía cinética total no se conserva en una colisión ya que una parte de esa energía se transforma en energía térmica y en energía potencial elástica interna cuando los objetos se deforman.

De acuerdo con estas características podemos clasificar a los choques en:

1. CHOQUE INELASTICO.

Es un tipo de choque en el que **la cantidad de movimiento se conserva, pero la energía cinética no.**

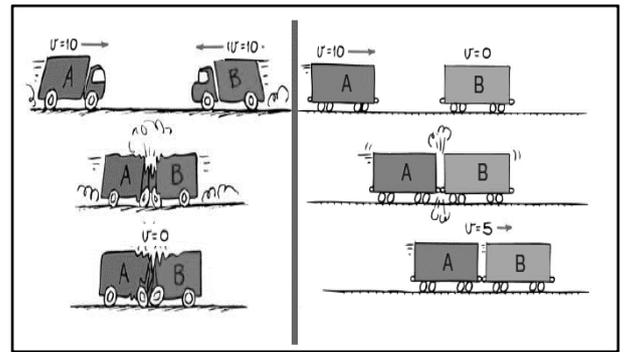
El choque de una pelota de caucho con una superficie dura es inelástico, ya que una parte de la energía cinética se pierde cuando la pelota se deforma en contacto con la superficie.



2. CHOQUE PERFECTAMENTE INELASTICO.

Cuando dos objetos se chocan y permanecen unidos, la colisión inelástica recibe el nombre de perfectamente inelástica. Las velocidades finales son iguales y la cantidad de movimiento del sistema se conserva.

Ejemplos de este tipo de colisión son: Dos trozos de plastilina o masilla que chocan y permanecen unidos y se desplazan con cierta velocidad común después de la colisión. Si un meteorito choca de frente con la Tierra y queda enterrado en ella. Una bala que se incrusta en un bloque de madera o cuando dos camiones chocan.



Cuando dos objetos de m_1 y m_2 que chocan y quedan unidos forman una sola masa así:

$$m_T = m_1 + m_2$$

Entonces la ecuación de la ley de la conservación de la cantidad de movimiento queda:

$$p_a = p_d$$

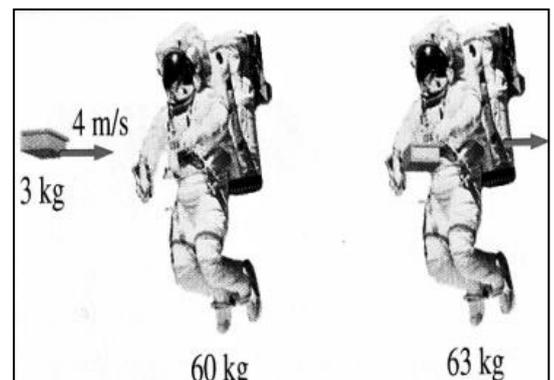
$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d}$$

$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = (m_1 + m_2) v_d$$

EJERCICIOS RESUELTOS.

1. Un astronauta de masa 60 kg da un paseo espacial para reparar un satélite de comunicaciones. De pronto necesita una llave de presión para aflojar los pernos. Un compañero de equipo se lo lanza con una velocidad de 4 m/s. Él se encuentra en reposo justo antes de atrapar la llave de masa 3 kg. Calcular:

- A) La velocidad del astronauta justo después de atrapar la llave.
- B) La energía mecánica inicial y final del sistema llave-astronauta.
- C) El impulso ejercido por la llave sobre el astronauta.



- A) Cuando atrapa la llave el astronauta la velocidad de los dos es la misma así:

$$v_{llave} = v_{astronauta} = v_d$$

La velocidad del astronauta antes del impacto es: $v_{\text{astronauta (a)}} = 0 \text{ m/s}$
 Para poder determinar la velocidad v_d utilizamos:

$$m_{\text{llave}} \cdot v_{\text{llave (a)}} + m_{\text{astron.}} \cdot v_{\text{astron(a)}} = (m_{\text{lla}} + m_{\text{astr}}) \cdot v_d$$

$$v_d = \frac{m_{\text{llave}} \cdot v_{\text{llave (a)}}}{m_{\text{llave}} + m_{\text{astronauta}}};$$

$$v_d = \frac{(3 \text{ kg}) \left(4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{60 \text{ kg} + 3 \text{ kg}}; v_d = 0,19 \text{ m/s}$$

B) La energía mecánica inicial del sistema es la energía cinética de la llave:

$$E_{c0} = \frac{1}{2} m_{\text{llave}} v_{\text{llave}}^2$$

$$E_{c0} = \frac{1}{2} (3 \text{ kg}) (4 \text{ m/s})^2$$

$$E_{c0} = 24 \text{ J}$$

La energía mecánica final del sistema es la energía cinética de la llave y el astronauta.

$$E_{cf} = \frac{1}{2} (m_{\text{llave}} + m_{\text{astronauta}}) v_d^2$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2} (3 \text{ kg} + 60 \text{ kg}) (0,19 \text{ m/s})^2$$

$$E_{cf} = 1,24 \text{ J}$$

C) El impulso ejercido por la llave al astronauta es igual al cambio de momento lineal del astronauta.

$$I = \Delta p$$

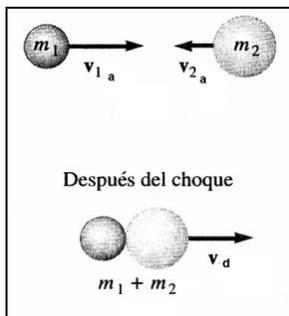
$$I = m_{\text{astronauta}} \cdot \Delta v$$

$$I = (60 \text{ kg}) (0,19 \text{ m/s} - 0)$$

$$I = 11,4 \text{ N} \cdot \text{s}$$

2. Dos bolas de plastilina chocan de frente en una colisión perfectamente inelástica. Si $m_1 = 0,500 \text{ kg}$, $m_2 = 0,250 \text{ kg}$, $v_{1a} = (4 \text{ i}) \text{ m/s}$, $v_{2a} = (-3 \text{ i}) \text{ m/s}$. Determinar:

- A) La velocidad de la bola de plastilina combinada después de la colisión.
 B) La energía cinética perdida en el choque.



Sabemos que:

$$\vec{v}_{1a} = (4 \text{ i}) \text{ m/s}, v_{1a} = 4 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_{2a} = (-3 \text{ i}) \text{ m/s}; v_{2a} = -3 \text{ m/s.}$$

A) Aplicamos la ecuación:

$$p_a = p_d$$

$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d}$$

$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = (m_1 + m_2) v_d$$

$$v_d = \frac{m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a}}{m_1 + m_2}$$

$$v_d = \frac{(0,500 \text{ kg}) \left(4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) + (0,250 \text{ kg}) (-3 \text{ m/s})}{0,500 \text{ kg} + 0,250 \text{ kg}}$$

$$v_d = +1,67 \text{ m/s}; \vec{v}_d = (+1,67 \text{ i}) \text{ m/s}$$

B) la energía cinética antes del choque es:

$$E_{ca} = E_{c1} + E_{c2}$$

$$E_{ca} = \frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2a}^2$$

$$E_{ca} = \frac{1}{2} (0,500 \text{ kg}) (4 \text{ m/s})^2 + \frac{1}{2} (0,250 \text{ kg}) (-3 \text{ m/s})^2$$

$$E_{ca} = 5,13 \text{ J}$$

La energía cinética del sistema después de la colisión es:

$$E_{cd} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_d^2$$

$$E_{cd} = \frac{1}{2} (0,500 \text{ kg} + 0,250 \text{ kg}) (1,67 \text{ m/s})^2$$

$$E_{cd} = 1,05 \text{ J}$$

La pérdida de energía cinética es :

$$\text{Perdida} = E_{ca} - E_{cd}$$

$$\text{Perdida} = 5,13 \text{ J} - 1,05 \text{ J}$$

Esta energía perdida se convierte en energía térmica y en energía potencial elástica interna.

Una aplicación directa del choque inelástico es el PENDULO BALISTICO, dispositivo inventado por Benjamín Robins en 1742 para medir la velocidad de una bala. Se dispara la bala dentro de un bloque de madera (o de otro material) suspendido por dos cuerdas ligeras o de alambres. La bala es detenida por el bloque haciendo un choque perfectamente inelástico. Entonces el bloque que contiene la bala oscila hasta que alcanza la altura h . La velocidad inicial de la bala se puede determinar a partir de la masa de la bala, la masa del bloque y la altura de oscilación.

3. Una bala de 12 g se dispara contra un bloque de madera de 2,5 kg que cuelga de un hilo. El impacto de la bala hace que el bloque oscile hasta una altura de 9 cm sobre su nivel original. Calcular la velocidad con la que la bala impacta en el bloque.

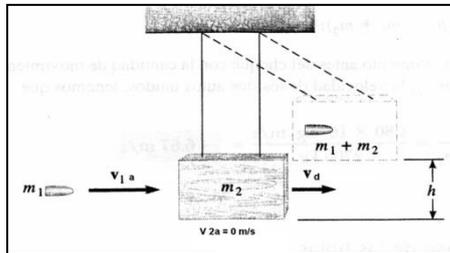
La energía cinética del bloque y de la bala inmediatamente después del impacto se convierte en energía potencial a medida que se elevan hasta la altura h . Así, si v_o es la velocidad inicial del bloque y la bala, se tiene:

$$E_c = E_{p_g}$$

$$\frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_0^2 = (m_1 + m_2) g h$$

$v_0 = \sqrt{2 g h}$; la velocidad de la bala y bloque combinada después del impacto es:

$$v_0 = \sqrt{2 \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) (0,09 \text{ m})} ; v_0 = 1,33 \text{ m/s}$$



Ahora consideramos $v_{2a} = 0 \text{ m/s}$ y que $v_0 = v_d$; ya que es la velocidad justamente después del impacto de la bala en el bloque. Aplicamos la ley de la conservación de la cantidad de movimiento:

$$p_a = p_d$$

$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_d + m_2 v_d$$

$$m_1 v_{1a} = v_d (m_1 + m_2)$$

$$v_{1a} = \frac{v_d (m_1 + m_2)}{m_1}$$

$$v_{1a} = \frac{\left(1,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0,012 \text{ kg} + 2,5 \text{ kg})}{0,012 \text{ kg}} ;$$

$$v_{1a} = 278,41 \text{ m/s} ; \vec{v}_d = (278,41 \text{ i}) \text{ m/s}$$

Otras aplicaciones que se dan en el choque inelástico son: El choque entre bolas de billar, choque entre autos o entre moléculas de aire que se mueven en la misma dirección después del impacto por lo que es necesario que consideremos dos dimensiones.

El principio de la conservación de la cantidad de movimiento debe aplicarse para cada componente vectorial tanto para x como para y, así:

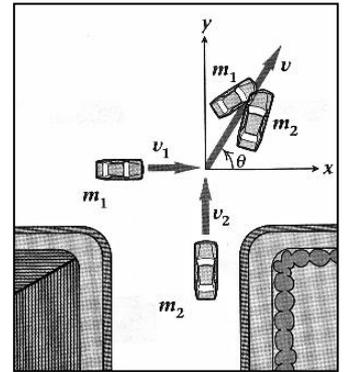
Componente de x:

$$m_1 v_{1ax} + m_2 v_{2ax} = (m_1 + m_2) v_{dx}$$

Componente de y:

$$m_1 v_{1ay} + m_2 v_{2ay} = (m_1 + m_2) v_{dy}$$

4. Dos vehículos se aproximan entre sí a lo largo de calles que se encuentran en ángulo recto y chocan en la intersección. Después del choque permanecen juntos. Si uno tiene una masa de 1450 kg y una velocidad inicial de $(11,5 \text{ i}) \text{ m/s}$ y el otro tiene una masa de 1750 kg y una velocidad inicial de $(15,5 \text{ j}) \text{ m/s}$. Calcular su velocidad y dirección inmediatamente después del impacto.



$$\text{Sabemos que: } \vec{v}_{1a} = (11,5 \text{ i} + 0 \text{ j}) \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_{2a} = (0 \text{ i} + 15,5 \text{ j}) \text{ m/s}$$

Aplicamos el principio de la conservación de la cantidad de movimiento:

$$m_1 \vec{v}_{1a} + m_2 \vec{v}_{2a} = (m_1 + m_2) \vec{v}_d$$

Si separamos esta ecuación vectorial en componentes tenemos:

Componente de x:

$$m_1 v_{1ax} + m_2 v_{2ax} = (m_1 + m_2) v_{dx}$$

$$v_{dx} = \frac{m_1 v_{1ax} + m_2 v_{2ax}}{m_1 + m_2}$$

$$v_{dx} = \frac{(1450 \text{ kg}) \left(11,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) + (1750 \text{ kg}) \left(0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{1450 \text{ kg} + 1750 \text{ kg}}$$

$$v_{dx} = 5,21 \text{ m/s}$$

Componente de y:

$$m_1 v_{1ay} + m_2 v_{2ay} = (m_1 + m_2) v_{dy}$$

$$v_{dy} = \frac{m_1 v_{1ay} + m_2 v_{2ay}}{m_1 + m_2}$$

$$v_{dy} = \frac{(1450 \text{ kg}) \left(0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) + (1750 \text{ kg}) \left(15,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{1450 \text{ kg} + 1750 \text{ kg}}$$

$$v_{dy} = 8,48 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_d = (5,21 \text{ i} + 8,48 \text{ j}) \text{ m/s}$$

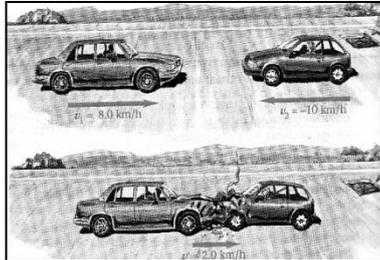
$$v_d = \sqrt{(v_{dx}^2 + v_{dy}^2)} ; v_d = 9,95 \text{ m/s}$$

$$\Theta = \tan^{-1} \frac{v_{dy}}{v_{dx}} ; \Theta = 58,4^\circ$$

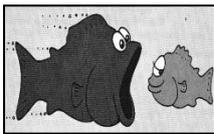
$$\vec{v}_d = (9,95 \text{ m/s} , 58,4^\circ)$$

EJERCICIOS PARA LA TAREA

1. Dos coches de prueba se impactan. Un Buick Park Avenue con una masa de 1 660 kg y una velocidad inicial de (8 i) km/h, choca contra un Geo Metro de 830 kg con una velocidad de (- 10 km/h) hacia el primer automóvil. Calcular la velocidad de la combinación inmediatamente después de la colisión.



2. Un camión vacío de 3 toneladas rueda libremente a 5 pies/s sobre una carretera horizontal y choca contra un camión cargado de 6 toneladas que está en reposo pero en libertad de moverse. Si los dos camiones se enganchan entre sí durante el choque. Calcular:
 - a) La velocidad después del impacto.
 - b) Compare la energía cinética antes y después del impacto.
3. Un pez que nada hacia otro más pequeño, que está en reposo, y se lo almuerza. Si el pez mayor tiene 5 kg de masa y nada a 1 m/s hacia el otro, cuya masa es de 1 kg. Calcular la velocidad del pez mayor inmediatamente después de su bocado.



4. En una prueba pública de puntería, una persona dispara una bala (m_1) sobre un bloque de madera (m_2) suspendido. El bloque, con el proyectil en su interior, oscila como un péndulo hacia arriba. A partir de la altura (h) que alcanzada este péndulo, se informa inmediatamente al público de la velocidad de la bala. Comprobar que para dar el resultado se utilizó la siguiente ecuación.

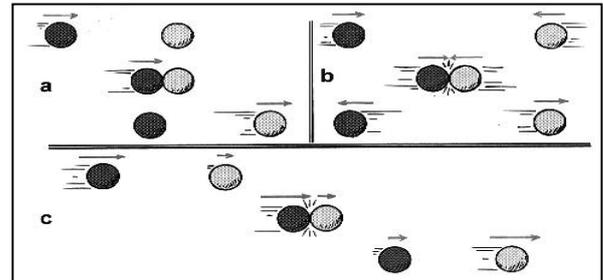
$$v_b = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \sqrt{2gh}$$

5. Un Mazda y un Nissan que viajan en ángulo recto chocan y permanecen juntos. El Mazda tiene una masa de 1 100 kg y una velocidad de 30 km/h en dirección positiva x antes del choque. El Nissan tiene una masa de 1 400 kg y viajaba en la dirección positiva y. Después del choque, los dos se mueven a un ángulo de 63° al eje de las x. Calcular la velocidad del Nissan antes del choque.

3. CHOQUE PERFECTAMENTE ELASTICO.

Un choque perfectamente elástico es aquel en el que se conservan tanto la cantidad de movimiento como la energía cinética (caso ideal). Los choques de bolas de billar y los de las moléculas de aire con las paredes de un recipiente a temperatura ordinarias son muy elásticos.

Las colisiones perfectamente elásticas e inelásticas son casos *limite*; la mayor parte de los choques reales pertenecen a una categoría intermedia entre ambas.



En el gráfico observamos:

A) Una bola oscura choca con una bola clara que está en reposo. B) Un choque de frente. C) Un choque entre dos bolas que tienen la misma dirección. En todos los casos se transfiere cantidad de movimiento de una bola a la otra.

En una colisión perfectamente elástica entre dos masas m_1 y m_2 , podemos decir que tanto la energía como el momento permanecen sin cambio, por tanto podemos usar dos ecuaciones:

Energía:

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2a}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1d}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2d}^2$$

Cantidad de movimiento

$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d}$$

se pueden simplificar para obtener:

$$m_1 (v_{1a}^2 - v_{1d}^2) = m_2 (v_{2a}^2 - v_{2d}^2)$$

$$m_1 (v_{1a} - v_{1d}) = m_2 (v_{2a} - v_{2d})$$

Al dividir la primera ecuación con la segunda tenemos:

$$\frac{v_{1a}^2 - v_{1d}^2}{v_{1a} - v_{1d}} = \frac{v_{2a}^2 - v_{2d}^2}{v_{2a} - v_{2d}}$$

Al factorar los numeradores tenemos:

$$v_{1a} + v_{1d} = v_{2a} + v_{2d}$$

Ordenando queda:

$$v_{1a} - v_{2a} = v_{2d} - v_{1d} (*)$$

$$v_{1a} - v_{2a} = -(v_{1d} - v_{2d})$$

Esta ecuación se la utiliza para resolver problemas relacionados con choques frontales perfectamente elásticos.

COEFICIENTE DE RESTITUCIÓN

Un medio de medir la elasticidad de un choque, se obtiene por la relación negativa de la velocidad relativa después del choque entre la velocidad relativa antes del mismo.

Esta relación recibe el nombre de **coeficiente de restitución elástico (e)**

$$e = - \frac{v_{1d} - v_{2d}}{v_{1a} - v_{2a}} \quad \text{o} \quad e = \frac{v_{2d} - v_{1d}}{v_{1a} - v_{2a}}$$

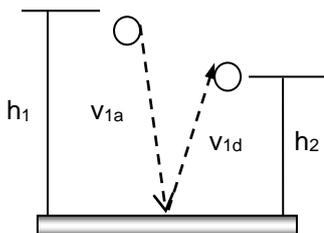
Si la colisión es perfectamente elástica, $e = 1$
 Si la colisión es perfectamente inelástica, $e = 0$

El coeficiente de restitución siempre tiene un valor entre 0 y 1

CALCULO DEL COEFICIENTE DE RESTITUCIÓN.

Una esfera de material que se va a medir se lo deja caer sobre una placa fija desde una altura h_1 . Se mide entonces su altura de rebote h_2 . En este caso, la masa de la placa es tan grande que v_{2a} tiende a ser igual a cero, por lo que queda:

$$e = \frac{v_{2d} - v_{1d}}{v_{1a} - v_{2a}} ; \quad e = - \frac{v_{1d}}{v_{1a}}$$



La v_{1a} es la velocidad final que adquiere la esfera al caer desde su altura h_1 , que la calculamos con:

$$v_{1a} = \sqrt{2 g h_1} ;$$

Cuando la esfera rebota hasta h_2 su velocidad de rebote v_{1d} , está dado por:

$$v_{1d} = - \sqrt{2 g h_2} ; \quad \text{el signo menos indica el cambio en la dirección.}$$

$$\text{Si: } e = - \frac{v_{1d}}{v_{1a}} ; \quad e = - \frac{-\sqrt{2 g h_2}}{\sqrt{2 g h_1}}$$

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

Este coeficiente es una propiedad conjunta de la esfera y de la superficie de rebote.

Para una superficie muy elástica, e tiene un valor de 0,95 o más grande como el acero o el vidrio.

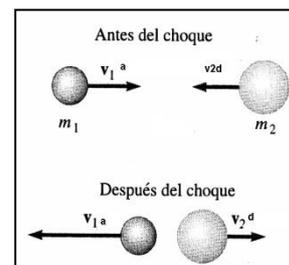
Para superficies menos elásticas e puede ser mucho menor.

Una esfera de acero o vidrio rebota mucho más alto que una pelota de hule.

La altura del rebote es una función del vigor con el que se restablece la deformación causada por el impacto.

EJERCICIOS RESUELTOS.

1. Dos bolas de billar se mueven una hacia la otra. Las bolas tienen idéntica masa, las velocidades iniciales de las bolas son $+ 0,30 \text{ m/s}$ y $- 0,20 \text{ m/s}$, si el choque es elástico, calcular la velocidad de cada bola después de la colisión.



Aplicamos la ley de la conservación de la cantidad de movimiento y como $m_1 = m_2$ tenemos:

$$v_{1a} + v_{2a} = v_{1d} + v_{2d}$$

$$(+ 0,30 \text{ m/s}) + (-0,20 \text{ m/s}) = v_{1d} + v_{2d}$$

$$0,10 \text{ m/s} = v_{1d} + v_{2d}$$

Como la energía cinética también se conserva podemos aplicar la ecuación (*)

$$v_{1a} - v_{2a} = v_{2d} - v_{1d}$$

$$(+ 0,30 \text{ m/s}) + (-0,20 \text{ m/s}) = v_{2d} - v_{1d}$$

$$0,10 = v_{2d} - v_{1d}$$

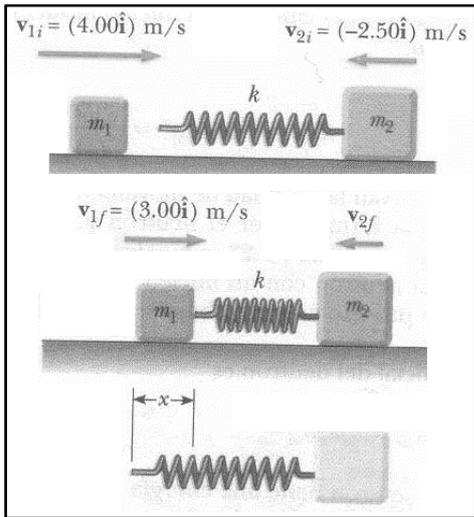
Al resolver estas dos ecuaciones simultáneamente tenemos.

$$v_{1d} = - 0,20 \text{ m/s} ; \quad v_{2d} = + 0,30 \text{ m/s}$$

Estas respuestas permiten señalar que en este tipo de choque elástico las velocidades se intercambian.

2. Un bloque de masa $m_1 = 1,60 \text{ kg}$, con velocidad (4 i) m/s sobre un carril horizontal sin fricción, choca con un resorte sujeto a un segundo bloque, de masa $m_2 = 2,10 \text{ kg}$ con velocidad (- 2,5 i) m/s. La constante de la fuerza del resorte es de 600 N/m . Después del impacto en el que m_1 se desplaza con una rapidez de (3 i) m/s, calcular:

- A) La velocidad de m_2
 B) La distancia x que el resorte se comprime.



- A) Sabemos que:
 $v_{1a} = 4 \text{ m/s}$, $v_{2a} = -2,5 \text{ m/s}$
 $v_{1d} = 3 \text{ m/s}$
 Como la cantidad de movimiento del sistema es constante tenemos:

$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d}$$

$$(1,6 \text{ kg}) (4 \text{ m/s}) + (2,1 \text{ kg}) (-2,5 \text{ m/s}) = (1,6 \text{ kg}) (3 \text{ m/s}) + (2,1 \text{ kg}) v_{2d}$$

Al resolver tenemos:

$$v_{2d} = -1,74 \text{ m/s} \text{ La } m_2 \text{ todavía se mueve hacia la izquierda.}$$

- B) Para determinar el valor de x aplicamos el principio de conservación de la energía ya que ninguna fuerza de fricción actúa sobre el sistema así:

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1a}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2a}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1d}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2d}^2 + \frac{1}{2} k x^2$$

Al sustituir los valores dados en el ejercicio y el obtenido en el literal anterior tenemos:

$$x = 0,17 \text{ m}$$

3. Una pelota de 2 kg que viaja hacia la izquierda a 24 m/s choca de frente con otra pelota de 4 kg que viaja hacia la derecha a 16 m/s. Calcular las velocidades finales de las esferas si el choque es elástico y el coeficiente de restitución es igual a 0,80

Después del choque las pelotas rebotan con velocidades diferentes por lo que podemos utilizar la ecuación:

$$e = \frac{v_{2d} - v_{1d}}{v_{1a} - v_{2a}} ; 0,80 = \frac{v_{2d} - v_{1d}}{-24 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$0,80 (-40 \text{ m/s}) = v_{2d} - v_{1d}$$

$$v_{2d} - v_{1d} = -32 \text{ m/s}$$

Se necesita otra ecuación la cual obtenemos de la ley de la conservación de la cantidad de movimiento.

$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1d} + m_2 v_{2d}$$

$$(2 \text{ kg})(-24 \text{ m/s}) + (4 \text{ kg})(16 \text{ m/s}) = (2 \text{ kg})v_{1d} + (4 \text{ kg})v_{2d}$$

$$16 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = (2 \text{ kg})v_{1d} + (4 \text{ kg})v_{2d}$$

$$2v_{1d} + 4v_{2d} = 16 \text{ m/s}$$

$$v_{1d} + 2v_{2d} = 8 \text{ m/s}$$

Obtenemos un sistema de ecuaciones con dos variables:

$$v_{2d} - v_{1d} = -32 \text{ m/s} ; v_{1d} + 2v_{2d} = 8 \text{ m/s}$$

Al resolver el sistema tenemos:

$$v_{1d} = 24 \text{ m/s} \text{ y } v_{2d} = -8 \text{ m/s}$$

Después de la colisión se determina que las direcciones de las pelotas se invierten.

EJERCICIOS PARA LA TAREA

- Una partícula atómica de $20 \times 10^{-29} \text{ kg}$ se mueve con una velocidad de $4 \times 10^6 \text{ m/s}$ y choca de frente con otra partícula de masa $12 \times 10^{-28} \text{ kg}$ que está en reposo. Suponiendo que el choque es perfectamente elástico ($e = 1$), calcular:
 - La velocidad de cada partícula después del choque.
 - La fracción de energía cinética inicial que se transfiere a la partícula de $12 \times 10^{-28} \text{ kg}$.
- Un carrito de 25 g que se desplaza a $(20 \text{ i}) \text{ m/s}$ alcanza a otro carrito de 10 g que se mueve en la misma dirección a $(15 \text{ i}) \text{ m/s}$ y choca con él. Calcular la velocidad de cada objeto después del choque.
- Una canica de 10 g que se desplaza hacia la derecha a 0,20 m/s experimenta un choque frontal elástico con otra canica de 15 g que se mueve en dirección opuesta a 0,30 m/s. Calcular la velocidad después del impacto de las canicas.
- Un cuerpo de 60 g tiene una velocidad inicial de $(2 \text{ i}) \text{ m/s}$ y otro cuerpo de 150 g tiene una velocidad inicial de $(-0,30 \text{ i}) \text{ m/s}$. Si el coeficiente de restitución es de 0,80. Calcular sus respectivas velocidades y direcciones después del choque.