UNIDAD VI
EL IMPULSO Y LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO LINEAL

Si analizamos el movimiento de dos cuerpos, de masas diferentes y que se desplazan a la misma velocidad, es obvio que para detenerlos en un mismo intervalo de tiempo (Δt), se necesitará aplicar una fuerza mayor para el cuerpo de mayor masa. Por otra parte, si las masas de los cuerpos son iguales y estos se mueven a diferente velocidad, para detenerlos en el mismo intervalo de tiempo (Δt), se requiere aplicar una fuerza mayor al cuerpo que se mueve a mayor velocidad. De estos ejemplos podemos inferir que tanto la masa como la velocidad de un cuerpo determinan, de alguna manera, la fuerza necesaria para producir un cambio en el movimiento del objeto.

Para iniciar el presente análisis del movimiento, se considerará un cuerpo de masa (m), el cual describe un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, es decir, que sobre él actúa una fuerza constante (F). Si inicialmente el cuerpo tiene una velocidad v_o y después de un cierto intervalo de tiempo (Δt), su velocidad final es (v)de las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado, se tiene que

$$v = v_o + \Delta t$$

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

2ª Ley de Newton.

$$v = v_o + \frac{F}{m}\Delta t$$

$$mv = mv_o + F\Delta t$$

Multiplicando esta expresión por la masa (m).

$$F \Delta T = mv_o - mv_c \quad (1)$$

Reagrupando los términos de esta expresión

A la expresión del lado izquierdo de la igualdad se le conoce como el impulso producido por la fuerza (F) durante el intervalo de tiempo (Δt), el cual se representa como I.

El impulso producido por una fuerza se define como el producto de la fuerza por el tiempo que dure aplicada.

En el lado derecho de la ecuación, aparece el producto de la masa del cuerpo por su velocidad en los puntos final e inicial, respectivamente.

Al producto de la masa por la velocidad de un objeto se le conoce como su cantidad de movimiento y se representa con la letra p.

De acuerdo a lo anterior, la ecuación (1) se puede expresar como

$$F \Delta t = p - p_o$$

$$F \Delta t = \Delta p \quad (2)$$

$$I = \Delta p \quad (3)$$

Impulso = Cambio en la cantidad de movimiento

En la igualdad anterior, se observa que las unidades del impulso y la cantidad de movimiento son las mismas. En el Sistema Internacional (SI) se expresan en N-s o kg m/s. En el c g s la unidad correspondiente es la dina-s o g cm/s, y en el Sistema Inglés la unidad es la lb s o slug ft/s.

Como la fuerza y la velocidad son cantidades vectoriales, entonces, el impulso (I) y la cantidad de movimiento (p) tienen una representación vectorial. En general, la fuerza que interviene en el impulso no es constante, sino que varía, como por ejemplo, cuando un bateador golpea una pelota de beisbol de masa (m) su velocidad cambia de v_o a v, y la fuerza que se considera para el cálculo es una fuerza promedio ($\overline{F}$) ejercida por el bate sobre la pelota. Para calcular el cambio en la cantidad de movimiento se utiliza la ecuación (2), sólo que la fuerza que aparece en la expresión es la fuerza media o promedio ($\overline{F}$).

Si se considera el intervalo de tiempo (Δt) que dura aplicada la fuerza media ($\overline{F}$) para detener un objeto en movimiento, la cantidad de movimiento final $mv = 0$, de tal forma que de la ecuación (1), resulta

$$\overline{F} \Delta t = -mv_o$$

en donde el signo menos (-) se debe a que $\overline{F}$ está aplicada en sentido contrario al movimiento.

Ejemplo 1.

Un automóvil de 800 kilogramos que se desplaza en línea recta, reduce su rapidez de 25 m/s a 15 m/s en un tiempo de 4segundos. ¿Cuál es la fuerza promedio que produce este cambio en su velocidad?

Datos: $m = 1800\,kg$; $v_o = 25\dfrac{m}{s}$; $v = 15\dfrac{m}{s}$; $\Delta t = 4\,s$

Para resolver este ejemplo utilizaremos la ecuación (1)

$$\overline{F} \Delta t = mv - mv_o$$

$$\overline{F} = \frac{m(v - v_o)}{\Delta t}$$

$$\overline{F} = \frac{1800\,kg\left(15\dfrac{m}{s} - 25\dfrac{m}{s}\right)}{4\,s}$$

$$\overline{F} = \frac{1800\,kg\left(-10\dfrac{m}{s}\right)}{4\,s}$$

$$\overline{F} = -4{,}500\,kg\,\frac{m}{s^2}$$

$$\overline{F} = -4500\,N$$

La fuerza promedio aplicada, tiene signo negativo, porque se opone al movimiento.

Cuando un jugador de beisbol recibe una pelota con una velocidad considerable v_o lo que normalmente hace, es amortiguar el golpe moviendo su mano hacia atrás y en dirección del movimiento de la pelota. Con este movimiento, aumenta el intervalo de tiempo y hace que la fuerza media aplicada disminuya, es decir

$$F \Delta t = \Delta p$$

En cambio, un jugador novato lo que hace es recibir la pelota con el brazo rígido, con lo cual, el tiempo de contacto es muy pequeño, aumentando por ello la magnitud de la fuerza promedio, de tal forma que

$$F \Delta t = \Delta p$$

Físicamente podemos explicar estas dos situaciones a partir de la ecuación (2).

$$F \Delta t = \Delta p$$

en donde se observa que para que el cambio en la cantidad de movimiento sea el mismo, como en los dos casos anteriores, en el primero se aumentó el intervalo de tiempo (Δt), disminuyendo con ello la fuerza promedio aplicada ($\bar{F}$) y en el segundo, se disminuyó el intervalo de tiempo (Δt), aumentando así la fuerza promedio ($\bar{F}$) aplicada.

Otro ejemplo, en el cual se puede apreciar la variación entre la fuerza media aplicada ($\bar{F}$) y el intervalo de tiempo (Δt), que dura ésta, es el de una persona que salta desde una cierta altura hasta el suelo. Si al hacer contacto los pies con el suelo se flexionan las piernas, lo que se hace es aumentar el intervalo de tiempo (Δt), para amortiguar la fuerza media aplicada ($\bar{F}$) sobre los huesos. En cambio si el contacto se hace con las piernas rígidas, se disminuye el intervalo de tiempo (Δt), aumentando considerablemente la fuerza media aplicada sobre los huesos.

CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO LINEAL

Consideremos un sistema de dos cuerpos interactuando exclusivamente entre ellos, es decir, no hay ninguna fuerza externa actuando sobre este sistema, sino sólo las ejercidas mutuamente entre los cuerpos. De acuerdo a la Tercera Ley de Newton, las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo son iguales en magnitud pero en sentido contrario, entonces, al considerar un intervalo de tiempo (Δt) durante el cual actúa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre el otro, los impulsos producidos por cada una de estas fuerzas, también serán iguales pero opuestos. Lo anterior se puede visualizar considerando la figura 1, en la cual $\bar{F}_1 = -\bar{F}_2$

Multiplicando ambos miembros por Δt, resulta.

$$\bar{F}_1 \Delta t = -\bar{F}_2 \Delta t$$

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_2$$

Dado que la raya pequeña sobre I_1 e I_2 indican su carácter vectorial.

$$\bar{I}_1 = \Delta \bar{p}_1$$
$$\bar{I}_2 = \Delta \bar{p}_2$$

$$\bar{I}_1 = \bar{p}_1 - \bar{p}_{1.0}$$
$$\bar{I}_2 = \bar{p}_2 - \bar{p}_{2.0}$$

$$\bar{p} = m_1 \bar{v}_1$$

Cantidad de movimiento final de la masa 1.

$$\bar{p}_{1.0} = m_1 \bar{u}_1$$

Cantidad de movimiento inicial de la masa 1.

$$\bar{p}_2 = m_2 \bar{v}_2$$

Cantidad de movimiento final de la masa 2.

$$\bar{p}_{2.0} = m_2 \bar{u}_2$$

Cantidad de movimiento inicial de la masa 2.

en las cuales $\bar{u}_1$ y $\bar{u}_2$ representan las velocidades iniciales de las masas y, $\bar{v}_1$ y $\bar{v}_2$ representan sus velocidades finales.

$$\bar{I}_1 = m_1 \bar{v}_1 - m_1 \bar{u}_1$$
$$\bar{I}_2 = m_2 \bar{v}_2 - m_2 \bar{u}_2$$

$$\bar{I}_1 = -\bar{I}_2$$
$$m_1 \bar{v}_1 - m_1 \bar{u}_1 = -(m_2 \bar{v}_2 - m_2 \bar{u}_2)$$

$$m_1 \bar{u}_1 + m_2 \bar{u}_2 = m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2$$

El lado izquierdo de la igualdad anterior, representa la cantidad de movimiento total inicial del sistema y el lado derecho, representa la cantidad de movimiento total final del sistema. Esto nos conduce al enunciado de la Ley de la Conservación de la Cantidad de Movimiento:

Si la fuerza externa resultante que actúa sobre un sistema es nula, la cantidad de movimiento total del sistema se conserva.

Esta ley es muy importante, ya que se satiface independientemente del tipo de fuerzas que intervienen en el sistema, con la condición de que sean internas al mismo.

Una de las aplicaciones de dicha ley, es la que se refiere a choques frontales entre dos masas, como se ilustra en la figura 2.