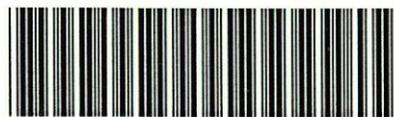


0120 - 21560

QC21  
U530  
1998  
v.6  
pte.2



1020124118



FONDO  
UNIVERSITARIO

## UNIDAD III FUERZAS

### INTRODUCCIÓN

En esta unidad se estudiarán las causas que producen los cambios en el movimiento de los cuerpos.

La parte de la Mecánica que estudia las causas de los cambios en el movimiento de los cuerpos se le denomina Dinámica. Para realizar su estudio, se abordarán algunos conceptos como masa, fuerza y su relación con las variables que describen el movimiento de los cuerpos: posición, velocidad y aceleración, restringiéndose al movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, en donde la fuerza aplicada es constante, es decir, que no cambia con el tiempo. Estas relaciones (la fuerza y la masa con las variables que describen el movimiento) se formularán utilizando las leyes de Newton del movimiento.

A partir de las leyes de Newton serán analizadas diferentes situaciones en donde los objetos se desplazan con aceleración constante, o bien, están en equilibrio (en reposo o en movimiento a velocidad constante).

### A. FUERZA

Al detenerse un cuerpo que se desliza sobre alguna superficie, al empujar una mesa, al lanzar una pelota, al tirar de un objeto mediante una cuerda o al presionar un resorte para comprimirlo, en todos estos casos se está aplicando una fuerza. De manera general, se define *la fuerza como todo aquello que es capaz de producir cambios en el movimiento de un cuerpo o bien que le produce alguna deformación*. La fuerza es una cantidad vectorial, ya que se debe de especificar, además de su magnitud, su dirección y sentido. Por ejemplo, si aplicamos una fuerza horizontalmente hacia la derecha, se produce un efecto diferente, al que resultaría, si esa misma fuerza es aplicada verticalmente hacia arriba, sobre el mismo objeto, como se muestra en la figura 1. De lo ante-

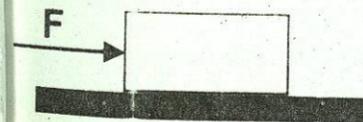


Fig. 1 Representación gráfica de una fuerza.

rior, concluimos que al aplicar una fuerza se debe de especificar su magnitud, dirección y sentido.

## 1. DIFERENTES TIPOS DE FUERZAS

Todas las fuerzas observadas en la naturaleza se pueden clasificar, según su origen y características, en tres grupos:

### a) FUERZAS GRAVITACIONALES

Los cuerpos ejercen entre sí una fuerza gravitatoria de atracción, cuyas causas están en función de sus masas y de la distancia entre ellos. Esta fuerza se presenta cuando la Tierra atrae a todos los cuerpos que se encuentran cerca de ella, produciendo la caída libre; en la atracción que se ejercen el Sol y los planetas, quedando confinados éstos últimos a moverse alrededor del Sol y describiendo una órbita elíptica; etc. Esta fuerza es siempre de atracción.

### b) FUERZAS ELECTROMAGNÉTICAS

Son fuerzas ejercidas entre partículas cargadas eléctricamente. Las partículas en reposo producen fuerzas electrostáticas, las partículas cargadas y en movimiento, producen fuerzas electromagnéticas. Estas fuerzas pueden ser de atracción o de repulsión, dependiendo del tipo de carga que posean las partículas (positiva o negativa).

La mayor parte de las fuerzas de contacto que observamos normalmente entre objetos macroscópicos, por ejemplo, la de rozamiento, la fuerza ejercida mediante una cuerda sobre un objeto, fuerzas de soporte y empuje, son el resultado de fuerzas moleculares ejercidas por las moléculas de un cuerpo sobre las moléculas de otro cuerpo; estas interacciones son fundamentalmente de tipo electromagnético.

### c) FUERZAS NUCLEARES

Se producen en el interior del núcleo del átomo, entre las partículas que lo forman, manteniéndolo unido. Esta fuerza es mayor que la repulsión eléctrica que se genera entre los protones (de carga positiva), que se encuentran en el interior del núcleo.

De acuerdo a la forma como actúan las fuerzas sobre un cuerpo, éstas se clasifican en:

- **Fuerzas de contacto.** Son aquellas ejercidas por objetos como cuerdas, superficies, etc., en contacto directo con el cuerpo.

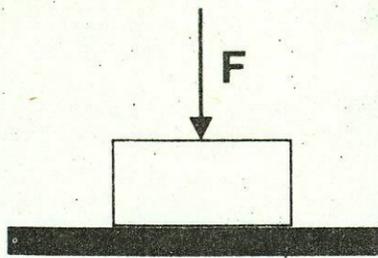


Fig. 2. Representación gráfica de una fuerza.

- **Fuerzas de acción a distancia (o de campo).** Son las que actúan a través del espacio que existe entre el cuerpo cuyo movimiento se analiza y el objeto que ejerce la fuerza, por ejemplo, la fuerza de gravedad que ejerce la Tierra sobre todos los objetos; esta fuerza es la más común en los problemas de Dinámica. Otro ejemplo de acción a distancia, es la fuerza de atracción o de repulsión entre las cargas eléctricas.

## B. LEYES DE NEWTON DEL MOVIMIENTO

### 1. PRIMERA LEY DE NEWTON

Sabemos por experiencia que si un objeto se encuentra estacionado, permanecerá en reposo, a menos que una fuerza externa actúe sobre él. Por otra parte, si empujamos un objeto para que se deslice sobre el piso y luego se deja de empujar, observamos que se detendrá en un tiempo determinado. De lo anterior se deduce lo que se ha dado en llamar la Primera Ley de Newton del movimiento:

*Un cuerpo permanecerá en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que una fuerza externa actúe sobre él.*

La fuerza externa puede ser la resultante de dos o más fuerzas aplicadas sobre el mismo objeto.

Cuando se tiene un objeto en reposo o en movimiento y se quiere efectuar un cambio en su estado, este presenta cierta resistencia. A la propiedad que presentan todos los cuerpos de oponerse al cambio en el movimiento, se le conoce como *inercia*. Así pues, si un objeto está en reposo tiende a permanecer en reposo al querer moverlo, y si está en movimiento, al tratar de detenerlo, experimentará una oposición al cambio del movimiento al reposo. Como ejemplo tenemos, que si un automóvil arranca, los pasajeros y los objetos en su interior, que estaban en reposo, tienden a permanecer en reposo, pero el asiento los empuja, poniéndolos en movimiento. Al frenar bruscamente, los pasajeros y las cosas sueltas tienden a permanecer en movimiento, por ello la sensación del impulso hacia adelante.

Como se puede apreciar, a mayor masa, la inercia del cuerpo (su oposición al cambio en el movimiento) es mayor, y viceversa, a menor masa es menor la oposición al cambio. Esto se puede observar, ya que no es lo mismo empujar un automóvil pequeño que uno grande. A su vez, se aprecia la diferencia al detener una pelota de hule suave o una pelota de basquetbol, ya que la masa más grande presenta una mayor resistencia al cambio. A partir de estos ejemplos se deduce que la masa es una medida cuantitativa de la inercia. Esta propiedad es característica de toda la materia.

En resumen, a partir de la Primera Ley de Newton del movimiento se establece que un cambio en el movimiento es la evidencia de una fuerza aplicada.

## 2. SEGUNDA LEY DE NEWTON

Como se podrá observar, a partir de la Primera Ley de Newton del movimiento, se concluye que si la fuerza resultante que actúa sobre un objeto es nula, su aceleración también será nula, pues éste permanecerá en reposo o se moverá en línea recta y a velocidad constante.

La Segunda Ley de Newton del movimiento se refiere a los cambios en la velocidad que sufre un cuerpo, cuando sobre él actúa una fuerza resultante, no nula, produciéndole una aceleración. La aceleración de un cuerpo se presenta no sólo en el cambio de la magnitud, sino también en el cambio de dirección que sufre la velocidad o ambos a la vez. La Segunda Ley de Newton del movimiento es un enunciado de cómo se relacionan la aceleración de un cuerpo con respecto a la fuerza aplicada y a su masa.

Experimentalmente se puede observar cómo varía la aceleración de un cuerpo al aplicarle una fuerza, si su masa permanece constante. Si aplicamos una fuerza ( $F$ ) a una masa ( $m$ ), ésta recibe una aceleración ( $a$ ); si se duplica la fuerza ( $2F$ ), se observa que la aceleración también se duplica ( $2a$ ); si se triplica la fuerza ( $3F$ ), la aceleración también se triplica ( $3a$ ); y así sucesivamente, como se muestra en la figura 3.

Analizando el experimento anterior, se puede concluir que si la masa no cambia, la aceleración producida es directamente proporcional a la fuerza resultante aplicada, es decir

$$a \propto F$$

A continuación, se considerará que la fuerza aplicada sobre un objeto es constante y la que varía es su masa. Si se duplica la masa ( $2m$ ) del objeto, se observa que, su aceleración tiene un valor igual a la mitad de su valor inicial ( $a/2$ ); si triplicamos su masa ( $3m$ ), la aceleración tiene un valor igual a la tercera parte de su valor inicial ( $a/3$ ); y así sucesivamente, como se muestra en la figura 4.

A partir de estos resultados experimentales se deduce que si la fuerza aplicada es constante, la aceleración producida es inversamente proporcional a la masa, es decir

$$a = \frac{1}{m}$$

Al observar estos resultados experimentales y cuantificar los efectos de la fuerza y la masa sobre la aceleración de los cuerpos, se llega al enunciado de la Segunda Ley de Newton del movimiento:

Toda fuerza resultante aplicada a un cuerpo, le produce una aceleración en la misma dirección en que actúa. La magnitud de dicha aceleración es directamente proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa del cuerpo.

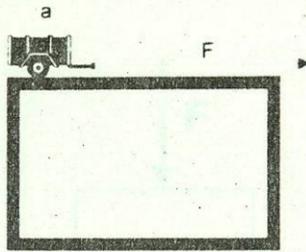


Fig. 3a. Si a la masa " $m$ " se le aplica una fuerza " $F$ ", se produce una aceleración " $a$ ".

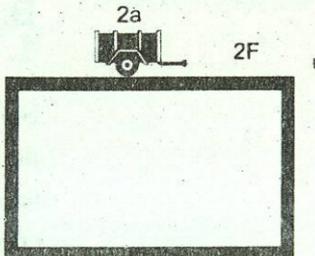


Fig. 3b. Si la fuerza se duplica " $2F$ ", la aceleración se duplica " $2a$ ".

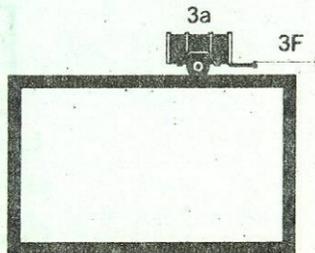


Fig. 3c. Si la fuerza se triplica " $3F$ ", la aceleración se triplica " $3a$ ".

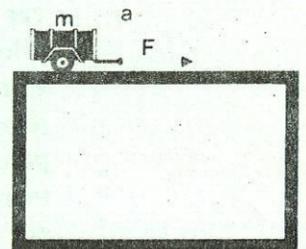


Fig. 4a. Si la fuerza " $F$ " es aplicada sobre una masa " $2m$ ", le producirá, una aceleración " $a/2$ ".

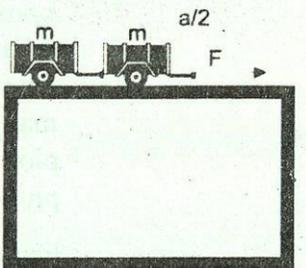


Fig. 4b. Si la masa se duplica " $2m$ ", manteniendo la fuerza aplicada " $F$ " constante, la aceleración es igual a la mitad de su valor original.

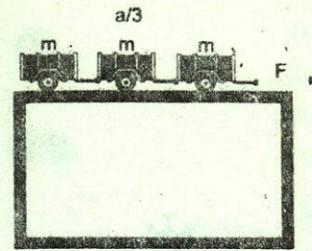


Fig. 4c. Si la masa se triplica " $3m$ ", manteniendo la fuerza aplicada constante, la aceleración es igual a un tercio de la aceleración original.

Conjuntando estos resultados en una expresión matemática adecuada, se llega a que

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

$$F = ma \quad \text{Despejando } F$$

Esta es la expresión clásica de la Segunda Ley de Newton.

Como un caso particular de la Segunda Ley de Newton:

Si la fuerza aplicada sobre la masa es igual a cero, entonces la aceleración también tiene un valor de cero y no hay cambio en el movimiento, es decir, si la masa está en reposo, permanecerá en reposo y si está en movimiento, lo hará a velocidad constante, como lo predice la Primera Ley de Newton del movimiento.

Las unidades de fuerza más frecuentes son:

- En el Sistema Internacional, la unidad es el Newton (N), el cual equivale a la fuerza que aplicada a una masa de 1 kg le produce una aceleración de  $1 \text{ m/s}^2$ , es decir

$$F = ma$$

$$F = (1 \text{ kg}) \left( 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$1 \text{ N} = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- En el cgs, la unidad es la dina, la cual equivale a la fuerza que aplicada a una masa de 1 g le produce una aceleración de  $1 \text{ cm/s}^2$ , es decir

$$F = ma$$

$$F = (1 \text{ g}) \left( 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \right)$$

$$1 \text{ dina} = \text{g} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- En el Sistema Inglés Absoluto, la unidad es el poundal, el cual equivale a la fuerza que aplicada a una masa de una libra, le produce una aceleración de  $1 \text{ ft/s}^2$ , es decir

$$F = ma$$

$$1 \text{ poundal} = (1 \text{ lb}) \left( 1 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} \right)$$

Sist. de Unidades	MASA	ACELERACIÓN	FUERZA
Internacional			
MKS	kg	m/s <sup>2</sup>	1 Newton = 1 kg m/s <sup>2</sup>
cgs	g	cm/s <sup>2</sup>	1 dina = 1 g cm/s <sup>2</sup>
T. Gravitacional	u.t.m.	m/s <sup>2</sup>	1 kilogramo fuerza = 1 u.t.m. m/s <sup>2</sup>
I. Absoluto	lb	ft/s <sup>2</sup>	1 poundal = 1 lb fr/s <sup>2</sup>
I. Técnico	slug	ft/s <sup>2</sup>	1 libra fuerza = 1 slug ft/s <sup>2</sup>

Algunas equivalencias de masa y fuerza más comunes entre el Sistema Internacional, el Técnico Gravitacional e Inglés Técnico.

1 u.t.m.	9.8 kg	1 lb fuerza	32 poundal
1 slug	32 lb	1 Newton	10 <sup>5</sup> dinas
1 kilogramo	2.2 libras masa	1 kg fuerza	9.8 N
1 slug	14.59 kg	1 lb fuerza	4.44 N

Es importante hacer notar que la fuerza en la Segunda Ley de Newton del movimiento representa una fuerza resultante. Si más de una fuerza actúa sobre un objeto, será necesario determinar la fuerza resultante a lo largo de la dirección del movimiento.

La aceleración de un objeto siempre tiene la dirección de la fuerza resultante aplicada. Si la fuerza se aplica en la dirección y sentido del movimiento, se aumentará la velocidad y la aceleración será positiva. Si se aplica en la misma dirección y en sentido contrario al movimiento, la velocidad disminuirá y la aceleración es negativa. Si la fuerza se aplica formando un ángulo con la dirección del movimiento, entonces se considerará sólo la componente de la fuerza que actúa en la dirección del movimiento.

Cabe aclarar que la aceleración de un objeto depende de la fuerza aplicada sobre él y de su masa, y no del tipo de fuerza de que se trate (gravitacional, eléctrica, magnética, etc.).

En la aplicación de la expresión clásica de la Segunda Ley de Newton se tienen ciertas limitaciones como en general lo establecimos para la Mecánica Clásica en la Unidad I, ya que dicha Ley no se cumple para el movimiento a velocidades comparables a la de la luz, ni en el estudio del comportamiento de las partículas y átomos.



Fig. 5a. Fuerzas de acción y reacción

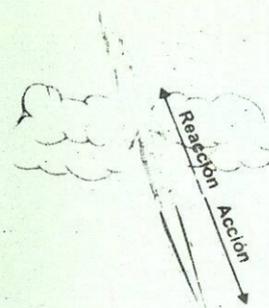


Fig. 5b. Fuerzas de acción y reacción

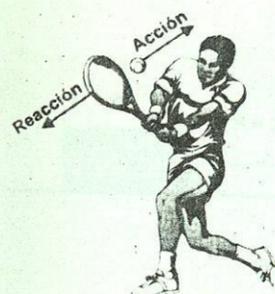


Fig. 5c. Fuerzas de acción y reacción

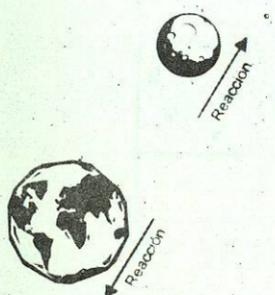


Fig. 5d. Fuerzas de acción y reacción

### 3. TERCERA LEY DE NEWTON

Al patear una pelota de fútbol aplicamos una fuerza sobre ésta, y a su vez, el balón de fútbol ejerce una fuerza sobre nuestro pie. La fuerza ejercida por nuestro pie sobre la pelota se llama fuerza de acción y la ejercida por la pelota sobre el pie se llama fuerza de reacción (figura 5 a).

Debido al escape de los gases por la abertura inferior de la cámara de combustión de un cohete, se produce el empuje necesario para su ascenso. El escape de los gases produce una fuerza de acción y el empuje hacia arriba es la fuerza de reacción (ver la figura 5 b).

A partir de estos ejemplos mostrados en la figura 4 se puede enunciar la Tercera Ley de Newton del movimiento:

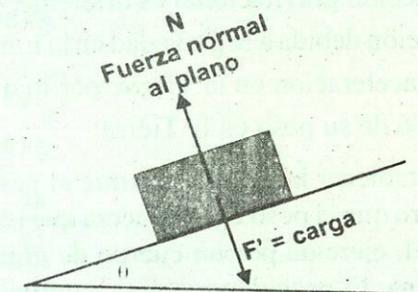
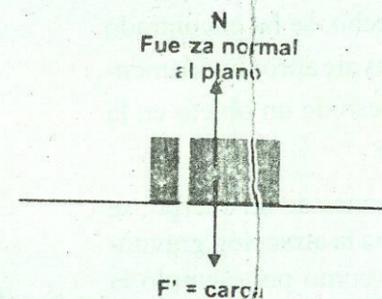
*A toda fuerza de acción le corresponde una fuerza de reacción igual en magnitud y en la misma dirección, pero en sentido contrario.*

En las figuras 5a a 5d se dan ejemplos en donde se muestra la aplicación de las fuerzas por pares (acción - reacción).

Se debe tener en cuenta que las fuerzas de acción y de reacción actúan sobre cuerpos diferentes. En esta ley se contempla la interacción entre dos cuerpos, por ejemplo, si una raqueta de tenis golpea una pelota (acción), ésta a su vez golpea la raqueta (reacción), con una fuerza igual pero en sentido contrario (figura 5c).

Un ejemplo representativo de la Tercera Ley de Newton es la atracción que ejerce la Tierra sobre la Luna (acción), obligándola a describir una órbita casi circular alrededor de ella, a su vez, la Luna ejerce una fuerza de atracción sobre la Tierra (reacción), originando las mareas (figura 5d).

Cuando un objeto se encuentra en reposo o se mueve sobre un plano, se observa que interactúan entre sí, de tal forma que el objeto ejerce una fuerza sobre el plano, al cargar sobre la superficie y a su vez, la superficie ejerce una fuerza sobre el objeto, a esta fuerza se le conoce como la fuerza normal al plano (N) como se observa en la figura 6.



Figs. 6a y 6b. Interacción entre el plano y el objeto que se desliza sobre él.